



PROGRAMA DE RESCATE INTEGRAL DEL RÍO MAGDALENA EN MÉXICO D.F.

ANÁLISIS DE TECNOLOGÍAS
SOSTENIBLES DEL CICLO DEL AGUA

Por: Bibiana Monsivais Montoliu
Director: Francesc Magrinyà

Máster en Sostenibilidad – Instituto de Sostenibilidad - Universidad Politécnica de Cataluña
Barcelona, 2014

Contenido

1. Resumen	iv
2. Introducción	1
3. Definición de objetivos	2
3.1 Objetivo general	2
3.2 Objetivos específicos	2
4. Estado del arte	3
4.1 Los ríos como parte de un sistema	3
4.1.1 Clasificación de ríos.....	4
4.1.2 Geomorfología fluvial.....	7
4.1.3 Biodiversidad en sistemas fluviales	8
4.1.4 Ecología del paisaje.....	8
4.3 Principales causas de degradación de los sistemas fluviales	10
4.3.1 Degradación y contaminación de ríos en contextos naturales	13
4.3.2 Degradación y contaminación de ríos en contextos urbanos	15
4.4 Técnicas de mitigación y recuperación de sistemas fluviales	19
4.4.1 Técnicas de mitigación y recuperación de ríos en contextos naturales	19
4.4.2 Técnicas de mitigación y rehabilitación de ríos en contextos urbanos	22
4.5 Desarrollo de Proyectos de Recuperación de Ríos	27
4.5.1 Criterios para el desarrollo de proyectos de recuperación de ríos	31
4.5.2 Formulación de objetivos en proyectos de recuperación de ríos	32
4.5.3 Selección de estrategias en proyectos de recuperación de ríos	33
5. Metodología	35
6. Recuperación del Río Magdalena de la Ciudad de México	36
6.1 Antecedentes. La Cuenca del Valle de México	36
6.2 Características generales del río Magdalena y su microcuenca	43
7. Análisis del Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable del Río Magdalena. México, Distrito Federal.	46
7.1 Proceso de planificación e implementación	46
7.1.1 Estructura del programa	46
7.1.2 Formulación de Objetivos y Estrategias	48
8. Análisis de las técnicas de recuperación implementadas para el río Magdalena .	54
8.1 Medidas en el área natural de la microcuenca	54
8.1.1 Aplicación del método de clasificación diseñado por D.L. Rosgen, (1994).	54
8.1.2 Técnicas del programa original y consideraciones. Área natural	64
8.2.1 Técnicas del programa original y consideraciones. Área Urbana	68
9. Conclusiones	73
10. Referencias	79

Tabla de figuras

Figura 1: Ejemplo idealizado de un sistema fluvial. El agua y los sedimentos se recogen en la cuenca de drenaje y se entregan a la red de drenaje. Fuente: Lord et al., (2009); modificado de Schumm (1977).	3
Figura 2: Nivel más amplio de clasificación de corrientes mostrando pendientes, secciones trasversales y vistas en planta de los principales tipos de flujo (Rosgen, 1994, 1997).	5
Figura 3: Relación de niveles de detalle y objetivos.	6
Figura 4: Signos vitales de un sistema fluvial. Fuente: Lord et al. (2009).	10
Figura 5: Escala, fuentes y ejemplos de factores que pueden afectar procesos fluviales y su geomorfología. Fuente: Lord et al. (2009).	11
Figura 6: Factores degradativos en ríos urbanos. Fuente: WDF, (2004).	12
Figura 7: Factores que influyen en la degradación de los ríos en Lituania.	12
Figura 8: Mapa conceptual de los impactos en ríos urbanos. Fuente: URBEM (2004).	15
Figura 9: Modelo de la relación del área impermeable de una cuenca con la salud del río. Fuente: Schueler, T. R., et al. (2009).	18
Figura 10: Funciones de Vegetación ribereña. Connin (1991), adaptado de Swanson et al., (1982).	21
Figura 11: Procedimiento para re-naturalizar el cauce de un río. Fuente: URBEM (2004).	22
Figura 12: Técnicas a aplicar a nivel cuenca. Fuente: URBEM (2004).	23
Figura 13: Técnicas para aplicar directamente en el cauce. Fuente: URBEM (2004).	23
Figura 14: Síntomas, causas y técnicas de mitigación para ríos urbanos. Fuente: Wenger et al. (2009).	24
Figura 15: Resultados más comunes por el mejoramiento de vegetación ribereña. Fuente: Connin (1991).	25
Figura 16: Esquema conceptual del marco teórico para proyectos de recuperación	28
Figura 17: Cinco dimensiones a considerar en el desarrollo de proyectos de recuperación de ríos. Fuente: Boon (1998).	30
Figura 18: Esquema global de los criterios para valorar proyectos de recuperación de ríos	31
Figura 19: Esquema de equivalencia entre los procesos que se pretenden recuperar, con los ejes de intervención que deberán abordar los objetivos a formular. Fuente: Elaboración propia.	32
Figura 20: Estrategias de gestión para cuencas, según su estado de degradación.	33
Figura 21: Lecciones aprendidas de proyectos de recuperación de ríos	34
Figura 22: Localización de la Cuenca de México. Fuente: Elaboración propia.	36
Figura 23: Imagen comparativa: A la derecha: México-Tenochtitlan siglo XVI, y a la izquierda la Ciudad de México en la actualidad.	37
Figura 24: Cuenca del Valle de México, zona lacustre del siglo XVI.	38
Figura 25: Proceso de desecación	39
Figura 26: Cuenca del Valle de México, Situación actual.	39
Figura 27: Balance hídrico de la Cuenca del Valle de México.	42
Figura 28: Plano de la microcuenca del río Magdalena. Indica estructuras de regulación. Fuente: Elaboración propia.	44
Figura 29: Sección transversal del cauce superior del Río Magdalena. Fuente: Modificado de UNAM (2008).	45
Figura 30: Etapas de desarrollo del Plan de Rescate.	47
Figura 31: Clasificación de aspectos positivos y negativos detectados. Fuente: UNAM (2008).	49
Figura 32: Río Magdalena en su cauce medio, zona urbana. Fuente: Google Street View	49
Figura 33: Objetivos del Programa de Rescate del Río Magdalena,	50

Figura 34: Estrategia 1. Plan Maestro Río Magdalena. Fuente: Modificado de UNAM (2008).	51
Figura 35: Estrategia 2. Plan Maestro Río Magdalena. Fuente: Modificado de UNAM (2008).	51
Figura 36: Estrategia 3. Plan Maestro Río Magdalena. Fuente: Modificado de UNAM (2008).	52
Figura 37: Estrategia 4. Plan Maestro Río Magdalena. Fuente: Modificado de UNAM (2008).	52
Figura 38: Estrategia 5. Plan Maestro Río Magdalena. Fuente: Modificado de UNAM (2008).	52
Figura 39: Aproximación inicial del cauce del río Magdalena en la clasificación.	55
Figuras 40 y 41: Cauce de río Magdalena a la altura del 3er y 2do Dinamos.	55
Figura 42: Topografía de la microcuenca del río Magdalena. Fuente: Modificado de UNAM et al., (2008).	56
Figura 43: Tipo de valle; descripción morfológica y asociación con el tipo de corriente. Fuente: Rosgen (1994).	57
Figura 44: Secciones transversales del cauce medio del Río Magdalena. Fuente: UNAM et al., (2008).	57
Figuras 45 y 46: Valles de la cuenca del río Magdalena en su contexto natural.	58
Figura 47: Esquema de la relación zona inundable/banca llena.	58
Figura 48: Clasificación tipo de material del lecho del río en relación a sus dimensiones	59
Figura 50: Clave para la clasificación de Rosgen (1994) sobre los ríos naturales. Como una función del continuo de variables físicas dentro de un tramo dado de la corriente, valores de	60
Figura 49: Sección transversal Parque La Cañada, entre 2do y 3er dinamo. Fuente: Modificado de UNAM et al., (2008)	60
Figura 51: Descripción general por tipo de río en relación a los criterios generales de la clasificación. Fuente: Rosgen (1994).	61
Figura 52: Interpretaciones para la gestión de varios tipos de río. Fuente: Rosgen (1994, 1997).	62
Figura 53: Resumen de las características de los tipos de flujo por las condiciones de las cuencas hidrográficas. Fuente: Rosgen (1994, 1997).	63
Figura 54: Corte Transversal propuesta corredor fluvial en área urbana. Fuente: UNAM (2008).	72
Figura 55: Corredor fluvial en área urbana (escasas zonas verdes). Fuente: Elaboración propia a partir de GoogleMaps	72

1. Resumen

Actualmente se desarrollan muchos proyectos a nivel mundial para la recuperación de ríos tanto en contextos naturales como en contextos urbanos. Desde hace siglos, el hombre ha sabido adaptar los sistemas fluviales a sus necesidades, provocando cambios y alteraciones a nivel cuenca hidrográfica que en ocasiones pueden resultar irreversibles.

El caso de la Ciudad de México es de gran interés dentro de éste tópico, ya que resulta difícil creer que dentro de una metrópoli considerada como una de las más pobladas del mundo, aun haya ríos vivos que satisfagan necesidades de la población. Sus antecedentes históricos como ciudad lacustre no han desaparecido completamente y aún quedan escurrimientos superficiales dignos de ser recuperados, y no quitarles la oportunidad de incorporarse a la red urbana.

En el año 2008 por primera vez se impulsa en la ciudad un proyecto de recuperación para los ríos Magdalena y Eslava. Si bien la iniciativa surgió de una entidad pública de gobierno, el desarrollo del proyecto fue encargado a instituciones académicas que supieron formar un grupo de trabajo interdisciplinar, y en el que se puso como prioridad la participación en conjunto la comunidad. Resulta entonces de gran importancia que se valoren y analicen las estrategias y objetivos que se han planteado en el programa, de tal manera que pueda ser actualizado y/o mejorado para que se lleve a cabo con éxito. Es ésta una característica importante, que lo describe como un programa flexible.

El río fluye en un contexto diverso. Por un lado se encuentra en contacto con el medio natural, manteniendo en gran medida procesos físico-químicos y biológicos fundamentales para su equilibrio; y por el otro se enfrenta a impactos y malas prácticas que se han seguido llevando a cabo en río urbano. Este contraste hace que el programa se enfrente a varios retos, que en éste estudio deberán tomarse en cuenta para entender los factores que han influido en la toma de decisiones sobre el sistema fluvial, así como para entender su estructura y función con el entorno.

2. Introducción

Los ríos juegan un papel fundamental dentro del ciclo hidrológico natural, y aunque representan tan sólo una pequeña cantidad del agua que se encuentra almacenada en la hidrosfera, son de gran importancia física, química y biológica en nuestro planeta (Allan y Flecker, 1993). Es gracias al largo recorrido que hace el agua de un sistema natural a otro que el ser humano la obtiene en su estado más adecuado para su consumo. Así, el flujo continuo de minerales y nutrientes que transportan, proporciona a la humanidad agua para beber, fuente de alimentos, animales, rutas de transporte, eliminación de desechos y energías renovables (Petts, 2000).

Éste proceso, en el que el agua es transportada en diferentes estados físicos y sometida a diferentes reacciones químicas, no es sólo indispensable para la vida humana, sino que es esencial para la existencia de vida en el planeta. En cualquier lugar de la Tierra, desde el pueblo más pequeño hasta la metrópoli más grande, la gente está íntimamente entrelazada con agua fresca y corriente (Allan y Flecker, 1993).

Los ríos han sido un símbolo de prosperidad desde el origen del hombre (Schama, 1995). Inicialmente se convirtieron en el medio principal de exploración y comunicación entre otros territorios, y con el paso de los siglos se ha perpetrado como un elemento importante para el desarrollo del hombre. Asimismo, dado el crecimiento de la población y de las ciudades, fueron convertidos rápidamente en el medio perfecto para la eliminación y desalojo de los residuos (Allan y Flecker, 1993).

Por todo lo anterior, no es ninguna sorpresa que la mayoría de las principales ciudades del mundo estén situadas a las orillas de los ríos, ya que son elementos que ayudan a determinar la forma urbana de las ciudades (Schama, 1995). Resulta lógico entonces, que muchos ríos hayan sido modificados y adaptados por el hombre para satisfacer sus necesidades como sociedades que se encuentran en constante cambio. Son de hecho, las principales actividades del hombre las que han afectado siempre los sistemas fluviales tanto a nivel cuenca, como a nivel local (Boon, 1998).

Estas modificaciones a los ríos por propia conveniencia del hombre, generan también afectaciones directamente sobre el territorio (Allan y Flecker, 1993), por lo que se hace cada vez más necesario tomar en cuenta que los ríos son sólo un elemento dentro de un sistema, y que las modificaciones no deberían llevarse a cabo haciendo caso omiso a las funciones físicas, químicas y biológicas que se llevan a cabo dentro del mismo (Rosgen, 1997).

3. Definición de objetivos

3.1 Objetivo general

Se toma como punto de partida la importancia que se tiene a nivel mundial sobre mejorar la gestión de los recursos hídricos y de su aprovechamiento sostenible ante una población en constante crecimiento, y más específicamente, la transformación hídrica que ha sufrido la Zona Metropolitana del Valle de México durante varios siglos, quedando sólo un río vivo en toda la ciudad. El presente estudio tiene como objetivo principal analizar el programa existente “Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del Río Magdalena del Distrito Federal”, y determinar si el planteamiento e implementación de las estrategias de recuperación abordadas son las más adecuadas para rescatar por una parte, los servicios ecosistémicos del río, y por otra la relación social que se espera generar con el medio.

3.2 Objetivos específicos

1. Analizar el proceso de planeación e implementación del programa, con el fin de formular una perspectiva más amplia de cómo fueron formulados los términos de referencia del programa.
2. Realizar una aproximación propia a las características del sistema fluvial a analizarse, con el fin de conocer a fondo el contexto en el que fue formulado el programa existente.
3. Analizar las estrategias y técnicas implementadas en el programa con el fin de determinar si son las adecuadas para la salud del sistema fluvial en cuestión, y si es posible mejorarse.
4. Analizar la medida en la que se responde a una problemática específica de inaccesibilidad y escasa interacción con el río dentro de un contexto densamente urbano.

4. Estado del arte

4.1 Los ríos como parte de un sistema

Los ríos son elementos dinámicos del paisaje cuyas funciones principales son la de drenar el agua y transportar sedimentos (Lord et al., 2009). La morfología del cauce (sección transversal, vista en planta y longitudinal del canal) desarrolla una forma que se ajusta a la topografía regional, régimen hidrológico y la carga de sedimentos de la cuenca (Lord et al., 2009). A su vez, invertebrados, peces, vegetación ribereña (vegetación que crece en las orillas o en la llanura de inundación), y la fauna se adaptan a la forma de canal e hidrológicos y de transporte de sedimentos regímenes (Petts y Amorós, 1996). Todo el sistema fluvial, en el que se llevan a cabo procesos físicos y biológicos, desarrolla una condición de equilibrio en respuesta a factores externos como la tectónica, geología, suelos, clima y uso de la suelo (Schumm, 1977).

Al territorio o área total que éste sistema drena se le conoce como cuenca hidrográfica. Ésta última está delimitada por la línea de las cumbres -también llamada divisoria de aguas- y las aguas son drenadas a través de un único río principal y sus tributarios, ya sea al mar o a un lago (Martín Vide, 2002). En éste último caso, en el que el lago no tiene salida directa al mar, la cuenca recibe el nombre de cuenca endorreica (Legorreta, 2006).

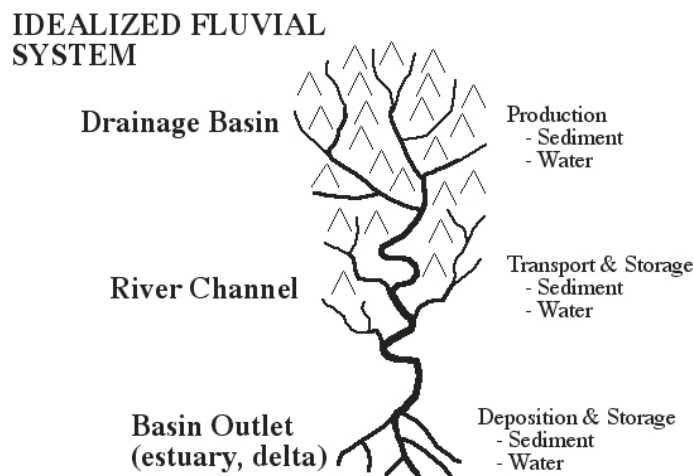


Figura 1: Ejemplo idealizado de un sistema fluvial. El agua y los sedimentos se recogen en la cuenca de drenaje y se entregan a la red de drenaje. Fuente: Lord et al., (2009); modificado de Schumm (1977).

Cada cuenca tiene unas condiciones climáticas y situación geográfica propia, por lo que los ríos y riachuelos también tienen una variabilidad de flujo anual e interanual. Esto significa variaciones en conceptos como la capacidad del cauce y su periodo de retorno, así como de la interacción con el subsuelo y las corrientes de agua subterráneas (URBEM, 2004). En ocasiones, la presencia de éstas corrientes suelen explicar la permanencia del caudal base de un río durante un periodo seco y, a la inversa, la infiltración a través de un cauce permeable explica que los ríos se sequen (Martín Vide, 2002).

Un río es un medio con un flujo bifásico de agua y sedimento, éste último procedente del cauce o de la cuenca (Martín Vide, 2002). Estos elementos de transporte

superficial de agua erosionan a su paso las rocas, sedimentos y otras superficies, de manera que van abriendo libremente su curso y modelando el paisaje (Kondolf, 1998). Se refiere al conjunto de accidentes geográficos, formas y relieves que influyen en la configuración transversal y longitudinal de un cauce, la geometría de las secciones transversales y la forma del fondo. En general, los principales parámetros físicos característicos del curso del agua (Rosgen, 1997).

4.1.1 Clasificación de ríos

Para facilitar el estudio de la morfología de un sistema fluvial, durante décadas se han desarrollado métodos de clasificación desde diferentes puntos de vista (Rosgen, 1994). Considerando la hidrología y la geomorfología del cauce.

Los ríos tienen un régimen hidrológico determinado por las características de la cuenca y de las precipitaciones en forma de lluvia y nieve, y depende de la zona climática donde se encuentren (Martín Vide, 2002). Tomando en cuenta esto, se nombran ríos perennes a las corrientes permanentes que se encuentran generalmente en climas tropicales, presentando una fuerte y regular estacionalidad y con un largo periodo de aguas altas que se esperan cada año (Martín Vide, 2002); y ríos efímeros aquellos que solo llevan agua cuando se presentan precipitaciones pero que se mantienen secos el resto del tiempo.

Otra clasificación que menciona Martín Vide (2002) a partir del régimen hidrológico de un río, es por su pendiente. Se nombran como ríos torrenciales a los que tienen una pendiente mayor del 1,5% y torrentes a los cursos de agua de pendiente mayor que el 6%. Esta clasificación también usa frecuentemente los términos río de montaña y río de llanura.

En cuanto al recorrido y trazo que forman los ríos a su paso, es muy raro encontrar cauces rectos y regulares (Martín Vide, 2002). Se distinguen dos morfologías fluviales típicas; cauce trenzado, que consiste en un cauce muy ancho y compuesto por varios cauces menores entrelazados; y cauces sinuosos o con meandros, cuando es un único cauce pero forma curvas. Leopold y Wolman (1957), también realizan una clasificación de acuerdo a la forma en planta, pero ellos si incluyen en su clasificación los patrones rectos, además de los serpenteantes (o con meandros) y los anastomosados (o trenzados).

Otro tipo de clasificación realizado por Schumm (1977), toma en cuenta el transporte de sedimentos, la estabilidad del canal, dimensiones, texturas dominantes y granulometría. Los ríos en éste sentido se dividen en aluviales o de lecho rocoso. Cabe mencionar que Martín Vide (2002), indica con respecto a ésta clasificación que es más común que se asiente una mayor densidad de actividades humanas en los ríos aluviales, debido a que predomina la presencia de llanuras, que los de lecho rocoso.

En 1994, Rosgen D.L. diseña un método de clasificación más generalizado, pero que toma en cuenta las ocho variables que Leopold et al. (1964) considera como las principales influyentes en el patrón de flujo de un río:

- Ancho del cauce
- Profundidad del cauce
- Velocidad de transporte
- Descarga de sedimentos

- Pendiente del cauce
- Rugosidad de los sedimentos
- Carga de sedimentos
- Dimensiones de los sedimentos

En su trabajo incluye un análisis cualitativo y cuantitativo de características que permiten relacionar el tipo de corriente con todos sus componentes y la morfología en general de la cuenca, lo cual permite hacer aproximaciones a la posible evolución de los mismos, según los procesos físicos que presentan, así como del tipo de material del lecho y bordos correspondiente a cada tipo de afluente (Rosgen, 1994).

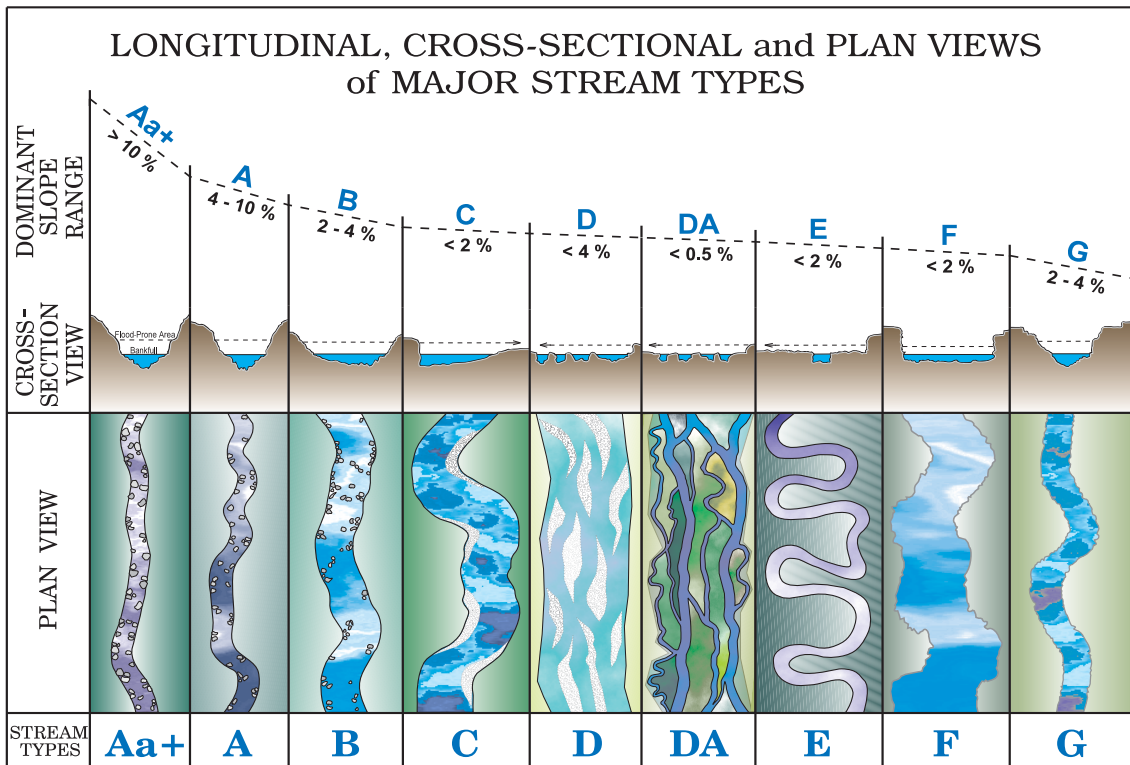


Figura 2: Nivel más amplio de clasificación de corrientes mostrando pendientes, secciones transversales y vistas en planta de los principales tipos de flujo (Rosgen, 1994, 1997).

Con ésta clasificación, el autor propone también un algunos criterios a tomar en cuenta para la recuperación de los ríos naturales, basándose en la geomorfología del río (Rosgen, 1997). Este sistema de clasificación tiene los siguientes objetivos:

1. Predecir el comportamiento del río a partir de su apariencia
2. Desarrollar una relación específica entre los sedimentos y la hidráulica de un río
3. Proporcionar un mecanismo para extrapolar datos específicos del sitio para transmitirlos a otros afluentes con características similares.
4. Proporcionar un marco de referencia coherente acerca de la morfología y el estado de un río, para una amplia gama de disciplinas y partes interesadas.

La metodología de Rosgen consta de niveles de detalle que comprenden desde una descripción cualitativa general hasta una evaluación cuantitativa detallada. El Nivel I busca la caracterización geomorfológica general del valle; el Nivel II lleva a la clasificación morfológica del cauce (requiriéndose algunas medidas en campo); el

Nivel III pretende establecer la condición de estabilidad de la corriente y sus potencialidades; y el Nivel IV busca validar información de campo.

En la Figura 3 se enlistan los niveles anteriormente mencionados, así como los objetivos propuestos por el mismo autor, de acuerdo a los alcances de intervención que se busquen.

Level of detail	Inventory description	Information required	Objectives
I	Broad morphological characterization	<ul style="list-style-type: none"> • Landform, • Lithology, • Soils, • Climate, • Depositional history, • Basin relief, • Valley morphology, • River profile morphology, • General river pattern. 	To describe generalized fluvial features using remote sensing and existing inventories of geology, landform evolution, valley morphology depositional history and associated river slopes, relief and patterns utilized for generalized categories of major stream types and associated interpretations.
II	Morphological description (stream types)	<ul style="list-style-type: none"> • Channel patterns, • Entrenchment ratio, • Width/depth ratio, • Sinuosity, • Channel material, • Slope. 	This level delineates homogeneous stream types that describe specific slopes, channel material, dimensions and patterns from "reference reach" measurements. Provides a more detailed level of interpretation and extrapolation than Level I.
III	Stream "state" or condition	<ul style="list-style-type: none"> • Riparian vegetation, • Depositional patterns, • Meander patterns, • Confinement features, • Fish habitat indices, • Flow regime, • River size category, • Debris occurrence, • Channel stability index, • Bank erodibility. 	The "state" of streams further describes existing conditions that influence the response of channels to imposed change and provide specific information for predictions methodologies (such as stream bank erosion calculations, etc.). Provides for very detailed descriptions and associated prediction/interpretation.
IV	Verification	<p>Involves direct measurements/observations of:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sediment transport, • Bank erosion rates, • Aggradation/degradation processes, • Hydraulic geometry, • Biological data (such as fish biomass, aquatic insects, riparian vegetation evaluations, etc.) 	Provides reach-specific information on channel processes. Used to evaluate prediction methodologies; to provide sediment hydraulic and biological information related to specific stream types; and to evaluate effectiveness of mitigation and impact assessments for activities by stream type.

Figura 3: Relación de niveles de detalle y objetivos.

Fuente: D.L. Rosgen (1994).

La vista en planta nos indica la sinuosidad del canal; si el canal es recto (tipo A); de baja sinuosidad (tipo B); meándrico (tipos de flujo C); y meándricos tortuosos (tipos de flujo E). Otros más complejos de canal múltiple trenzado (tipo D); o de tipo anastomosado (DA). La sinuosidad puede calcularse a partir de fotografías aéreas y sirve también como una buena referencia inicial para determinar el tipo de flujo (Rosgen, 1994).

En cuanto al tipo de pendiente, ésta misma clasificación nos permite definir que los de tipo A (4-10% de pendiente), se caracterizan por la formación de cascadas y escalonamiento del lecho. En las corrientes de tipo B es frecuente la formación de "rápidos" y algunas hendiduras en curvas o zonas de constricción. El ancho del cauce es mayor a los flujos de tipo G, los cuales aunque presentan la misma pendiente, las orillas generalmente son barrancos. Los tipos C, DA, E y F presentan pendientes más suavizadas en las que se forman algunos remansos. Y finalmente, las corrientes de tipo D cuyos canales se trenzan entre sí formando socavaciones de deposición frecuentemente separadas y bien localizadas.

Lo que se intenta en esta clasificación es obtener una serie de patrones característicos (no únicos), pues cada sitio tiene su propio clima y situación geográfica (Rosgen, 1997). En realidad, el valor de esto no es sólo la clasificación y el amplio nivel descriptivo, sino también en la posibilidad que ofrece para describir el probable patrón de flujo que sigue un canal, y que podrá utilizarse para futuros trabajos de restauración de ríos (Rosgen, 1994), pudiendo ser aplicado tanto a ríos con caudal perenne, así como a los de caudal efímero.

La diversidad de los ríos es virtualmente infinita porque no existen dos lugares iguales en clima, relieve, geología, hidrología, etc. (Martín Vide, 2002). Sin embargo, ésta clasificación permite generar una idea de las características y tipos de afluentes que existen; Kondolf (1998) considera que la clasificación es útil únicamente como una base para la selección de algunas estrategias y técnicas de recuperación. Puntualiza que al no proporcionar información fundamental sobre el contexto y cuáles son las causas subyacentes de la actual degradación del río, no sería correcto aplicar ésta metodología a modo de 'recetario de cocina'. La recuperación deberá estar basada en el conocimiento de procesos, y no en la mera imitación de formas (Kondolf, 1998).

4.1.2 Geomorfología fluvial

El curso de un río está dividido en tres partes básicas de acuerdo con su capacidad erosiva y de transporte de sedimentos, aunque depende en ocasiones de su longitud (Kondolf, 1998; Martín Vide, 2002). El cauce superior o de gravedad alta, correspondiente a la cabecera de la cuenca o las áreas montañosas, en donde presenta mayor pendiente y carácter erosivo llevando consigo material más grueso; el cauce medio o de gravedad inestable, cuya función es la del transporte principalmente, aunque tienden a alternarse las áreas donde el río erosiona y deposita parte de sus sedimentos; y el cauce inferior, en donde el río fluye por áreas relativamente planas y el material de sedimentación es más fino (Martín Vide, 2002).

Un hecho fundamental, es que los ríos en estado natural no son rectos; el recorrido o curso en planta de un río no es fijo como el de un canal trazado por el hombre, sino que puede cambiar, de forma aguda en sucesos extraordinarios o de manera lenta y gradual a lo largo del tiempo (Martín Vide, 2002). El río busca un acomodo (o equilibrio) que siempre se concreta en una u otra sinuosidad, y no en alineaciones

rectas. Así, en las zonas más planas suelen formarse meandros, los cuales son configuraciones en forma de onda, cuya evolución depende de la resistencia de las orillas del río a la erosión (Martín Vide, 2002).

Durante su recorrido, llegan a abrir cauces y valles en general en forma de V, sobre todo en las zonas montañosas donde nace la corriente (Kondolf, 1998); pero esta forma va siendo suavizada y modificada a lo largo de su curso, ampliando su tamaño, pendiente, perfil transversal, capacidad de transporte de sedimentos y estableciendo sus propias llanuras de inundación (Martín Vide, 2002).

4.1.3 Biodiversidad en sistemas fluviales

En su estado natural, los ríos son ecosistemas complejos y singulares a los que se les debe prestar especial atención (Martín Vide, 2002). En ellos se albergan flora y fauna que se desarrolla en distintas zonas del cauce, dependiendo de la diversidad biológica de cada tramo, así como de los materiales de transporte, sedimentación y de la temperatura y sombra que genera las distintas especies de vegetación ribereña. Cabe señalar, que aunque los canales pueden ampliar su cauce durante las inundaciones y reducir progresivamente su anchura y caudal de descarga, la vegetación ribereña es capaz de volver a establecerse a lo largo del canal (Kondolf, 1998).

Las llanuras de inundación tienen un papel fundamental en los ecosistemas (Connin, 1991). El fondo de la mayoría de éstas planicies se encuentra cubierto por diferentes tipos de sedimentos, depositados directamente a lo largo del cauce del río y que son esparcidos durante los períodos de inundación. Allan y Flecker (1993), puntualizan que ésta distribución y transporte de sedimentos entre el cauce y su planicie de inundación es de gran importancia por la cantidad de nutrientes que se depositan, dando como resultado la creación de suelos muy fértiles, ya sea propicios para la agricultura, o con ecosistemas ribereños muy ricos.

Flujos de agua, transporte de componentes y organismos entre distintos ambientes y unidades espaciales, resultan ser un mosaico de hábitats interdependientes, cada uno con condiciones hidrológicas características, aptas para varias especies y comunidades. Cualquier intención de gestionar o restaurar ríos en favor de la biodiversidad, debería estar enfocado en estas precondiciones (Pedroli, 2002).

4.1.4 Ecología del paisaje

En los ríos que interactúan con una trama urbana, es importante entender que ese concepto de hábitats interrelacionados no debe tratarse como un tema independiente; se crea en cambio, una unidad más compleja compuesta por varios y más diversos sistemas entrelazados, como podrían ser la agricultura, flujos de agua urbana, transporte y otros espacios naturales (Walsh, 2000).

La Ecología del Paisaje estudia los patrones espaciales y estructurales del territorio teniendo en cuenta los procesos y flujos que tienen lugar en el mismo (Forman, 1995). Se define un paisaje como un área de tierra heterogénea compuesta por un conjunto de ecosistemas que interactúan y se repiten en forma similar, entre los que se contemplan los bosques, las praderas, pantanos y pueblos como ejemplos de ecosistemas de un paisaje (Forman, 1995).

Este está formado por tres elementos principalmente: estructura, función y cambio. La estructura o modelo del paisaje es sencillamente la organización espacial de los elementos o usos del territorio en cuestión. El funcionamiento se refiere al movimiento, a los procesos o al flujo de los elementos; agua, materias, fauna o seres humanos a través de ésta estructura. Y finalmente el cambio, es la dinámica o transformación del modelo a lo largo del tiempo. En este caso, cualquier añadidura que se hace en cualquiera de los elementos, provoca un cambio en la estructura de lo que se llama mosaico territorial (Forman, 1995).

El autor explica que el mosaico territorial o modelo estructural se compone de tres tipos de elementos: manchas, corredores y tramas, y es una herramienta para la planificación de usos de suelo dado que controla los movimientos, flujos y cambios de los sistemas naturales y la población.

Pedroli (2002), también habla sobre la importancia del paisaje, y se refiere a una planificación de redes de cohesión como una estrategia más eficaz que la sola conservación de hábitats de especies. Expone incluso, tres razones para cambiar de una política orientada a la conservación de las especies a una política orientada al paisaje:

1. El paisaje resulta ser el escenario de la actividad humana, y donde se encuentra la biodiversidad. Sin embargo, se incluyen diversas combinaciones de hábitats y especies con diferentes funciones, donde a fin de cuentas, la conservación del medio natural resulta ser sólo una parte del todo.
2. Muchas especies necesitan diferentes hábitats y condiciones espaciales contrastantes. Por ello no es factible integrar todas las necesidades de las especies en un solo plano del paisaje, sino que es necesario un criterio de planificación integral para la creación de paisajes interconectados.
3. La conservación de especies individuales, ya sea considerado como representativa o como un indicador de otros grupos, difícilmente significará un instrumento de éxito en una política de biodiversidad si en los hábitats asociados no se consideran dentro de un contexto y en la configuración del paisaje. Tanto especies vegetales como animales dependen de la dispersión espacial - y especies animales también en la migración - para la viabilidad a largo plazo de sus poblaciones. Por lo tanto, la planificación de la biodiversidad debe tener en cuenta la red de paisajes.

El proyecto URBEM (Urban River Basin Enhancement Methods) fundado por la Comisión Europea en el 2004, indica precisamente que el enfoque adecuado que se debe dar a los proyectos y/o programas de recuperación de ríos (naturales y urbanos), es el de recuperar procesos naturales ecológicos, manteniendo al mismo tiempo el uso antrópico al que se les ha vinculado.

Esto significa que las necesidades sociales, económicas y estéticas han de ser igualmente consideradas. Actualmente éste es un tópico de creciente interés para la comunidad científica que estudia los programas de recuperación de ríos urbanos (URBEM, 2004).

4.3 Principales causas de degradación de los sistemas fluviales

Los ríos, como cuerpos de agua corriente superficial, se encuentran permanentemente expuestos a ser degradados y contaminados de muchas formas, y principalmente a causa de la actividad humana (URBEM, 2004). No sólo ha sabido aprovecharlos para el abastecimiento de agua para su consumo sino que, dado que son sistemas de drenaje por naturaleza, durante siglos los ha utilizado también como medio de transporte de aguas residuales y ha aprendido a modificar su cauce a su propia conveniencia para satisfacer sus necesidades (Allan y Flecker, 1993).

Lord et al. (2009), describe en la Figura 4 características de los ríos que el apunta como signos vitales; asegura que si alguno de ellos se encuentra afectado, es una señal de que el río presente algún problema y es necesario estudiarlo.

1. Paisaje de la cuenca	Definición: Características naturales y artificiales de la ocupación del suelo, y los materiales de la superficie de la cuenca en general.
2. Hidrología	Definición: Frecuencia, magnitud y duración del flujo de un río y su relación con la precipitación, derretimiento de la nieve, aguas subterráneas y patrones de la vegetación.
3. Transporte de sedimentos	Definición: Se refiere al tipo, modo, fuente y tasa de materiales transportados por la corriente de agua.
4. Sección transversal del canal	Definición: La forma, posición, y materiales identificados en la sección transversal de un punto específico del cauce.
5. Forma en planta del canal	Definición: El tipo de canal, sinuosidad, posición, ancho y morfología. Cambios en las características de la forma en planta del canal, incluyendo barras de deposición y materiales, pueden ser observados mediante fotografías aéreas y planos históricos.
6. Sección longitudinal del canal	Definición: La pendiente de la corriente a lo largo de su eje, incluyendo características como rápidos, piscinas o estanques y materiales del lecho.

Figura 4: Signos vitales de un sistema fluvial. Fuente: Lord et al. (2009).

Las alteraciones en los sistemas fluviales, pueden ser causados por diversas causas. Lord et al. (2009), identifica varios factores por los que pueden ser causadas éstas alteraciones, clasificándolas por la escala a la que afecta: a nivel cuenca o a nivel del cauce (Figura 5). Por su parte, la Directiva Marco de Agua de la Unión Europea, identifica también factores clasificados por el tipo de procesos que altera (Figura 6).

En Lituania por ejemplo, se identifican también factores sociales como causas de la degradación (Figura 7). Interesante punto, ya que en muchas partes del mundo estos factores son clave debido a la mala gestión de los recursos hídricos.

Scale	Stressor source area	Stressor category	Specific stressor examples
Basin	Outside watershed	Altered hydrology and altered sediment budget	<ul style="list-style-type: none"> • climatic change • air pollution
	Inside watershed	Altered hydrology	<ul style="list-style-type: none"> • urbanization • roads and parking lots • storm drains • vegetation changes • forestry practices • consumptive use of groundwater
		Altered sediment budget	<ul style="list-style-type: none"> • construction • forestry practices • mining • dirt and gravel roads • trails • agriculture (crops and grazing) • water impoundments • vegetation changes
		Altered topography	<ul style="list-style-type: none"> • landslides • volcanism • construction
Channel	Inside watershed	Altered hydrology	<ul style="list-style-type: none"> • water impoundments (dams) • water diversions • consumptive use of surface water
		Altered sediment budget	<ul style="list-style-type: none"> • dredging • road and trail crossings
		Altered channel	<ul style="list-style-type: none"> • channelization • dredging • bridges • bank stabilization structures • grazing • removal or change in bank or riparian vegetation • landslides

Figura 5: Escala, fuentes y ejemplos de factores que pueden afectar procesos fluviales y su geomorfología. Fuente: Lord et al. (2009).

Factores hidrológicos:	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de agua corriente proveniente de superficies impermeables urbanas • Aumento del flujo máximo (en magnitud y frecuencia) • Incremento de la velocidad del agua corriente • Incremento del riesgo por erosión • Disminución de caudales de estiaje • Secciones del río confinadas por distintos objetivos (presas, diques, etc.)
Factores morfológicos:	<ul style="list-style-type: none"> • Canalizaciones y pendientes artificiales en el cauce (limitaciones espaciales or urbanizaciones, industria e infraestructura urbana) • Estabilización de cauce y márgenes del río • Canalización del cauce por debajo de infraestructura y zonas urbanizadas • Instalación de infraestructura por debajo o paralela al cauce (alcantarillado, red de abastecimiento de agua potable, instalaciones de gas y eléctricas, vialidades, etc.) • Desequilibrio del transporte de sedimentos debido a la erosión ocasionada por aumento de la velocidad de la corriente de agua, reducción de la aportación de sedimentos naturales y aumento de sedimentos provenientes de superficies urbanas • Pérdida general del transporte de sedimentos causando problemas de gestión
Factores Físico-Químicos: Calidad de agua	<ul style="list-style-type: none"> • Intromisión de diversas sustancias como nutrientes, metales pesados, sales, compuestos orgánicos de origen urbano, desde fuentes puntuales (desbordamiento de alcantarillado o descargas directas sobre la corriente de agua), y desde fuentes no puntuales (superficies de drenaje urbano) • Perturbaciones por condiciones de temperatura y radiación por descarga de agua para climatización y ausencia de vegetación ribereña

Factores biológicos: hábitats fluviales y biodiversidad	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de la disponibilidad de hábitats naturales (en el cuerpo de agua, en márgenes del río, cauce del río y llanuras de inundación) • Reducida accesibilidad de los hábitats debido a la perturbación de la continuidad ecológica (especialmente alterando rutas de migración) • Renovación interrumpida de los hábitats debido a la estabilización artificial del cauce y márgenes, ajustes de pendiente y mantenimiento intensivo • Degradación cualitativa del hábitat debido al flujo y transporte de sedimentos desnaturalizado • Alteración de desarrollo del hábitat debido al extenso y/o insensible mantenimiento • Áreas ribereñas degradadas debido a la separación funcional con el curso de agua y el uso extensivo dentro del área urbanizada • Cambio y la pérdida de biodiversidad (fauna y flora)
--	---

Figura 6: Factores degradativos en ríos urbanos. Fuente: WDF, (2004).

Threats	Main Causes
Water pollution	<ul style="list-style-type: none"> • Ageing of waste water treatment facilities; • Increasing water pollution by domestic and municipal waste water and agricultural runoff; • Lack of capacity (staff, financial resources, knowledge and tools, out-dated soviet equipment and technologies).
Regulatory and control gaps in the governmental policy framework	<ul style="list-style-type: none"> • Frequent changes in environmental policy and strategy due to frequent changes in governing (instability); • Lack of basic information on river restoration and conservation; • Lack of public awareness.
Anthropogenic impact	<ul style="list-style-type: none"> • Conflicts between local inhabitants and existing legislative system in resource usage; • Insufficient involvement of local community; • Lack of knowledge and public awareness.
Water regulation mistakes	<ul style="list-style-type: none"> • Regulation of water level of rivers and streams; • Lack of knowledge and special experience, public awareness.
Reclamation of land and water bodies	<ul style="list-style-type: none"> • Drainage of river basins and the surrounding territories; • Canalisation of streams and rivers; • Lack of knowledge of zoning of productive use activities in buffer zones; • Lack of public awareness.
Loss of valuable migratory fish	<ul style="list-style-type: none"> • Man-made barriers (dams) on natural migration paths of fish, absence of fish ladders.
Loss of biodiversity	<ul style="list-style-type: none"> • Degradation of river valleys due to anthropogenic activities; • Lack of information, knowledge and public awareness.

Figura 7: Factores que influyen en la degradación de los ríos en Lituania. Fuente: Zalakevicius, (2000).

Entendemos entonces que la degradación de los ríos se da principalmente por dos causas: una es provocada por las distintas fuentes contaminantes que pueden ser tanto de origen natural, como de origen antropogénico; y la otra dada por la alteración artificial o la mala gestión de su cauce. Estos factores dependen también del contexto en el que se encuentren; existen ríos que se encuentran en estado más natural, y otros que se encuentran en interacción con contextos más urbanizados.

4.3.1 Degradación y contaminación de ríos en contextos naturales

El contexto por el que corre un río puede ser muy variado. Existen los ríos que se encuentran en contextos totalmente imperturbados por el hombre (Kondolf, 1998), donde su degradación se debe prácticamente a procesos y contaminantes naturales, y que en periodos de tiempo largos pueden auto-regenerarse; los ríos que se mantienen en contextos naturales pero que en cierta forma han sido intervenidos por el hombre (como por ejemplo con la construcción de embalses, estaciones hidroeléctricas y diques); y los ríos que corren por áreas densamente urbanizadas.

Esto también depende de la longitud del río, ya que puede darse el caso de que sea lo suficientemente largo para que una parte del río se encuentre en contexto natural, y después discorra por un contexto más urbano (Rosgen, 1997). Así, el río se encuentra expuesto a sufrir diversas alteraciones a lo largo de todo su curso, provocando perturbaciones en su función como medio de transporte de sedimentos aguas abajo, la pérdida de la interacción entre el río y las áreas de inundación la cual es fundamental para la salud del cuerpo de agua y su interacción con los ecosistemas adyacentes (Martin Vide, 2002).

Factores hidrológicos y morfológicos

La degradación en los ríos no se da únicamente por el aumento de flujo máximo durante algún evento extraordinario de lluvias intensas, o por el contrario, por flujos reducidos durante las temporadas de sequía. La mala gestión e implementación de infraestructuras conlleva a la modificación del régimen de caudal de un río, lo cual puede traer varias complicaciones (Kondolf, 1998). Por dar un ejemplo; considerando que un caudal tiene un periodo de retorno de 5 a 10 años y se construye una presa que altera el régimen del río aguas abajo, provocando que el suceso de baja probabilidad pueda producirse en periodos mucho mayores, por ejemplo de 100 a 120 años. Cuando vuelvan a presentarse alguno de éstos sucesos de baja probabilidad, correrán volúmenes de agua mucho mayores, acelerando el proceso natural de erosión de la corriente y probablemente provocando otros daños materiales.

En zonas propensas a la urbanización, es importante que las poblaciones ribereñas tengan conocimiento de esto, ya que si se hace indebida ocupación de las áreas de inundación aprovechando el efecto regulador, es probable que ocurra algún desastre con consecuencias mucho más graves. La construcción de éstas estructuras reguladoras deben estar bien dimensionadas desde el punto de vista hidráulico e hidrológico (Herce y Miró, 2002).

Reducir las tasas de transportación de sedimentos aguas abajo, provoca también la degradación y extinción de algunos ecosistemas que dependen de éste proceso para subsistir (Kondolf, 1998). Medidas mal aplicadas para la gestión del agua han provocado graves daños y la ruptura de la interdependencia entre hábitats, convirtiéndolos en fragmentadas unidades de tierra con funciones distintas, lógicamente, a conveniencia del hombre (Pedroli et al. 2002). Otro problema es la pérdida la relación entre el río y sus llanuras de inundación, cuya función no sólo es la de absorber el exceso de agua cuando el lecho menor del río no da abasto para transportar caudales mayores a los que normalmente transporta. Estos terrenos de inundación o llanuras fluviales cumplen funciones físico-químicas y biológicas fundamentales para la salud del cuerpo de agua, los ecosistemas y en general, de la conservación integral de toda la cuenca.

Factores Físico-Químicos

Normalmente, las fuentes naturales de contaminación en los cuerpos de agua suelen ser dispersas y no tienden a acumularse (Walsh, 2000). Es decir, difícilmente se encuentran en altas concentraciones, aunque no resulta imposible que se de el caso en lugares muy específicos. El suministro de fósforo y nitrógeno como consecuencia de la actividad agrícola es también un importante foco de contaminación transportado por el agua de lluvia corriente (Lawrence et al., 2013). Éste tipo de contaminación depende mucho del uso de suelo y las medidas en suelos de conservación de cada región.

En cuanto a la climatología, en climas húmedos con periodos de lluvias frecuentes, la velocidad del agua puede aumentar significativamente causando inundaciones, provocar el aumento de la turbidez, el color del agua, y la resuspensión de sedimentos, metales y otros materiales contaminantes presentes naturalmente en la corteza terrestre (Lawrence et al., 2013). En climas secos por el contrario, se pueden ocasionar estancamientos que dan pie a la reducción de la cantidad de oxígeno en el agua.

Rosgen (1994), afirma que la topografía del lugar puede aumentar también la velocidad del flujo, dando pie a la erosión de la capa superficial del lecho y las orillas del río, provocando la introducción de residuos, sedimentos y nutrientes. La afectación en la cubierta vegetal destruye compuestos de desinfección que actúan como filtro natural frente a algunos contaminantes (Lord et al., 2009). Asimismo, la composición del suelo puede impactar en forma directa sobre la calidad del agua en fuentes superficiales y subterráneas, al mezclarse el agua subterránea de dureza elevada, con el agua ácida de escorrentía.

Con la destrucción de los árboles durante un incendio, se pierde la función que tienen como filtro natural, aumentando así la velocidad de escorrentía, incrementando la erosión del suelo y contaminando el agua con las cenizas.

Finalmente, la intrusión salina es muy característica en regiones ubicadas cerca del mar, en las que la explotación del acuífero puede producir el movimiento de tierras, y provocar que ingrese el agua salada a los pozos de extracción.

Factores biológicos

El estado de un cuerpo de agua depende de los niveles de nutrientes y actividad microbiológica. En la mayoría de los cuerpos de agua, la producción de plantas está principalmente regulada por la disponibilidad de un nutriente, que es el fósforo. Si presenta un alto contenido, se puede originar un gran crecimiento de algas, que en grandes acumulaciones ocasiona la turbiedad y pueden causar la eutrofización del cuerpo de agua (Helfield y Diamond, 1997).

La temperatura es también una determinante para la actividad microbiológica: En los meses de invierno cuando la temperatura es baja y se tienen períodos de luz más cortos, se produce una disminución de la actividad fotosintética. En verano, cuando la temperatura es más alta, se produce un incremento de la actividad microbiológica con un crecimiento desmedido de la población de algas. Este incremento continúa hasta que se agotan los nutrientes del medio, produciéndose entonces la disminución de la población de microorganismos y por lo tanto, la deficiencia de oxígeno (Wenger et al. 2009).

4.3.2 Degradación y contaminación de ríos en contextos urbanos

Wenger et al., (2009), construye un esquema que representa la compleja red de contaminantes y factores degradativos que interactúan en los ríos urbanos.

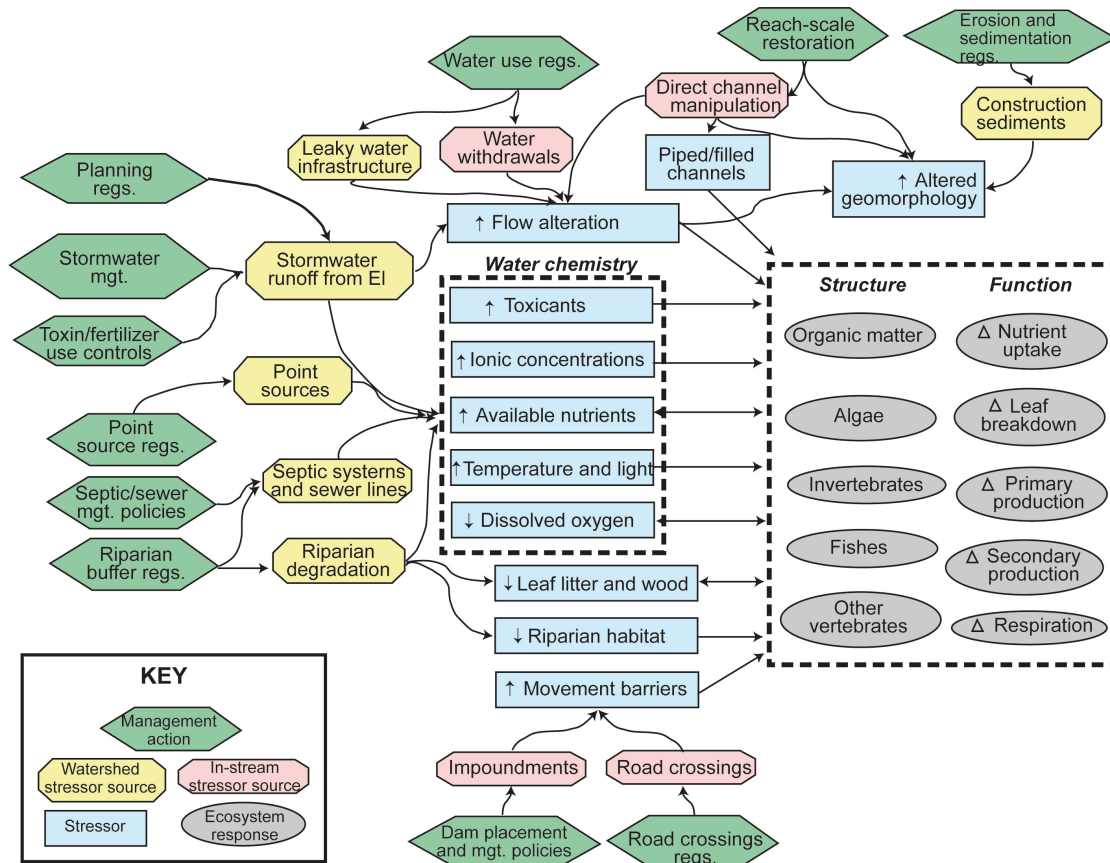


Figura 8: Mapa conceptual de los impactos en ríos urbanos. Fuente: Wenger et al., (2009).

Factores hidrológicos y morfológicos

En ríos fluyendo en contextos más urbanos, no sólo la mala gestión de estructuras reguladoras de caudal representan el mayor factor de alteración del régimen de un río. El caudal de estiaje de un río se reduce en ocasiones por la falta de recarga de aguas subterráneas (Wenger et al., 2009). Y en contextos donde se sobreexplotan los acuíferos, esto puede traer graves consecuencias y déficits hídricos por temporadas.

Las superficies impermeables de las zonas densamente pobladas provocan severas alteraciones al aumentar la frecuencia y magnitud de los eventos de alto flujo. El grado de perturbación en éste sentido, depende en gran medida de los sistemas de gestión de aguas pluviales; si las aguas pluviales se recogen y envían directamente a los arroyos; si se encaminan hacia las líneas de alcantarillado de aguas residuales en un sistema combinado; si es retenido temporalmente en estanques u otras estructuras; o si se es infiltrado. La rápida exportación de nutrientes y materia orgánica influye también en la geomorfología del canal y la calidad del agua, afectando a las comunidades bióticas y los ecosistemas. Wenger et al. (2009) asegura que el cambio

climático podría exacerbar aún más la alteración hidrológica, especialmente en las regiones donde las tormentas aumentan con frecuencia y severidad.

Como resultado de la alteración hidrológica y las alteraciones en el transporte de sedimentos, se provoca también el aumento de la erosión en los márgenes y el lecho del cauce. Por tal motivo, es común que los ríos urbanos presenten mayores anchos en su sección transversal (Leopold et al., 1964). Esto presenta consecuencias negativas, ya que se convierten en una fuente importante de retención de sedimentos, afectando el equilibrio de algunos ecosistemas.

La modificación artificial del cauce es otra afectación importante. Con el objetivo de evitar inundaciones o estabilizarlo para evitar que continúen erosionándose tanto el lecho como las orillas, a veces se opta por la construcción de canalizaciones de concreto, lo que trae consigo otras consecuencias. Por un lado, una extrema simplificación de los hábitats acuáticos (Wenger et al., 2009), provocando mayores consecuencias en el cauce inferior del río; y por el otro, la separación del río con sus llanuras de inundación y de la zona hiporreica, eliminando la existencia de importantes procesos microbiológicos y en ocasiones la relación con corrientes subterráneas. Esta problemática también se presenta por el entubamiento de caudales.

Por último tenemos las barreras u obstrucciones provocadas por infraestructura urbana como cruces de vialidades o sistemas de alcantarillado, las cuales impiden el libre movimiento de peces y otros organismos acuáticos.

Factores Físico-Químicos

A diferencia de las fuentes naturales de contaminación de los ríos, las de origen antrópico generalmente se encuentran bien localizadas y en zonas concretas. Los contaminantes suelen ser más dañinos y agresivos con el medio, dependiendo de su origen y composición. Allan & Flecker (1993), identifican algunos nutrientes nocivos como los provenientes de fertilizantes de césped, desechos de animales domésticos, asentamientos irregulares sin alcantarillado y aguas de escorrentía provenientes de las obras de construcción, que pueden contener metales pesados.

El impacto sobre las aguas superficiales originado por descargas de aguas residuales, la escorrentía de aguas pluviales, la limitada recarga de acuíferos, la canalización de los cauces y los sistemas de drenaje, causan graves efectos sobre los ecosistemas acuáticos. No obstante, esto no afecta sólo al medio natural, sino que trae también consecuencias en la vida urbana, como por ejemplo, el riesgo en la salud pública debido a la contaminación química y bacteriológica del agua, amenazas de inundaciones, o la escasa calidad del espacios público en relación a los ríos, por la reducción de su valor estético (URBEM, 2004).

Existe una amplia gama de fuentes contaminantes que provocan alteraciones físico-químicas en el agua. Helfield y Diamond (1997), consideran como principales las siguientes:

- Vertidos de aguas residuales
- Vertidos industriales
- Agua de escorrentía urbana
- Sistemas de alcantarillado combinados
- Lixiviados

Vertidos de aguas residuales

Se sabe que ya desde la aparición de los primeros asentamientos humanos en el planeta, se utilizaban las corrientes superficiales de agua para evacuar sus residuos. Quizá hace unos siglos no era tan palpable el daño que se le estaba haciendo al medio ambiente, debido a que la población del planeta era mucho menor que hoy en día. Sin embargo, con la llegada de la Revolución Industrial durante los siglos XVIII y XIX, el consecuente crecimiento poblacional desmesurado de ese periodo trajo consigo graves consecuencias ecológicas.

A pesar de que en muchos países ya se han tomado medidas para tratar sus aguas residuales, continúan habiendo muchos otros que aún utilizan éste medio como descarga directa sin someterlas a tratamientos previos. Cada vez más se utilizaban aguas urbanas como alcantarillas, comprometiendo sus valores ecológicos. Walsh (2000), considera que la contaminación por medio de aguas residuales es quizá el problema más fácil de controlar, a través del suministro de alcantarillado y otras medidas sanitarias.

Vertidos industriales

Con la llegada de la industrialización no sólo aumentaron los vertidos de aguas domésticas en los ríos, sino que también aumentó significativamente el número de contaminantes tóxicos, los cuales comenzaron igualmente a ser vertidos en el medio natural. Esto provocó un deterioro mucho más notable y apresurado, y no fue sino hasta bien entrado el siglo XIX que empezaron a tomarse medidas institucionales en varios países para controlarlo. Sin embargo, en muchas ciudades del mundo, los vertidos de aguas residuales e industriales no tratadas sigue siendo un componente importante de contaminación por vía urbana, debido también a los desbordamientos de alcantarillas sanitarias y de aguas pluviales combinadas (Walsh, 2000).

Agua de escorrentía urbana

Existen dos características elementales del suelo urbano que representan los principales determinantes o indicadores de la magnitud de los impactos de escorrentía de aguas pluviales; la impermeabilización del suelo y la infraestructura de drenaje existente (Walsh, 2000). Estos determinantes, permiten plantearse una idea de la calidad de las aguas pluviales corrientes urbanas que son entregadas en los afluentes.

La impermeabilización del suelo conlleva varias consecuencias negativas para la calidad del agua de los afluentes receptores (Wenger et al., 2009). Esto es, en áreas muy urbanizadas donde la construcción de calles y edificaciones produce un incremento importante del coeficiente de escurrimiento de la cuenca. Al aumentarse el área impermeable de una cuenca, aumenta por un lado el flujo de agua superficial y por el otro, el detrimento de la infiltración y evapotranspiración de las áreas vegetadas. Así, el volumen de agua que debe ser vehiculada por la red de drenaje natural aumenta y crece producen fuertes inundaciones en terrenos anteriormente no inundables. Ante éste riesgo, normalmente se recurre al desvío del flujo natural, o al entubamiento del afluente.

Estas medidas, por supuesto, influyen en la degradación de los afluentes y en caso de existir, en los ecosistemas acuáticos y ribereños.

Queda claro que el agua de lluvia que escurre por diversas superficies en zonas urbanas, por el camino se carga de diversos contaminantes como por ejemplo pesticidas, aceite de automóviles y metales pesados. Por lo tanto, mientras que el control de la fuente de origen contaminante es una problemática importante por abordar, la gestión de las vías o los conductos por los que son transportadas y dirigidas esas aguas corrientes contaminadas al medio natural, es quizás una acción

más eficaz, debido a la dificultad que significa en ocasiones incidir directamente en muchas fuentes de contaminación urbanas (Walsh, 2000).

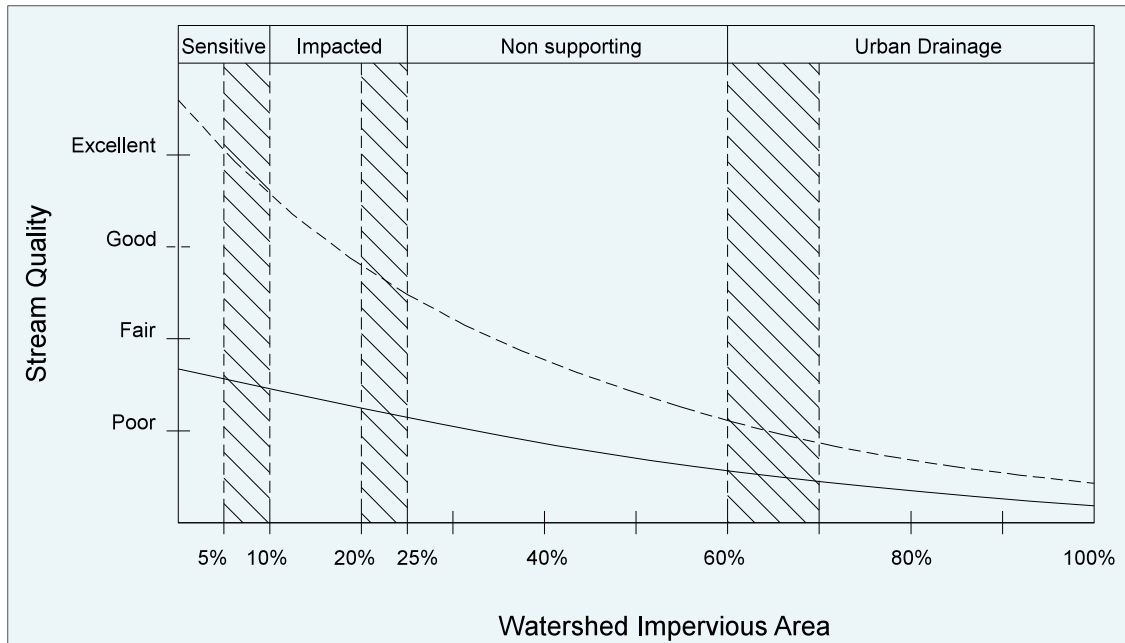


Figura 9: Modelo de la relación del área impermeable de una cuenca con la salud del río. Fuente: Schueler, T. R., et al. (2009).

Sistemas de alcantarillado combinados

En ciudades con alcantarillado combinado, en el que se juntan aguas pluviales y aguas negras en un sólo sistema sanitario, los impactos causados por las aguas residuales y los causados por del agua de escorrentía son difícilmente diferenciados (Walsh, 2000).

Normalmente, la gestión de aguas pluviales por separado se hace con el objetivo de reducir el riesgo de inundaciones aumentando la eficiencia de conexión entre las superficies impermeables y la corriente receptora. Sin embargo, Walsh (2000), plantea que hoy en día las mejores prácticas de gestión (BMP por sus siglas en inglés), tales como los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) tienen como objetivo minimizar ésta conexión y maximizar la retención del agua de escorrentía para su tratamiento y favorecer la infiltración.

Lixiviados

Los lixiviados provienen principalmente de los vertederos. Su composición varía ampliamente, y depende mucho del tiempo de retención y los tipos de residuos con los que entra en contacto el líquido. Los vertederos pueden ser de tipo urbano o industrial que, a su vez, pueden ser controlados o ilegales. El agua de lluvia que se filtra en los vertederos entra en contacto con residuos sólidos en descomposición y se contamina por una amplia gama de sustancias nocivas para el medio tales como; metano, dióxido de carbono, ácidos orgánicos, alcoholes; o con excesiva carga de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno. Finalmente es infiltrada y llega a ponerse en contacto con las

aguas subterráneas, dañando una importante fuente de abastecimiento de agua potable para las ciudades.

En sectores urbanos que se encuentran desconectadas del sistema de alcantarillado público, los lixiviados también pueden ser generados por el uso de tanques sépticos mal aislados o mal dimensionados; y por el desbordamiento de pozos negros que terminan formando parte de la corriente de agua sucia que desemboca en los ríos y los acuíferos (Wenger et al., 2009).

Factores Biológicos

Dentro de las ciudades, es muy común que el cauce del río sea fragmentado por la disposición de estructuras de regulación e infraestructura urbana como serían vialidades, puentes y redes de abastecimiento de otros servicios. Esto trae como consecuencia la parcial o total de hábitats acuáticos y otros servicios ecosistémicos característicos de los sistemas fluviales (Walsh, 2000).

También se pierden importantes comunidades microbiológicas con cierta capacidad de autodepuración para la eliminación de algunos contaminantes. Dado que resulta ser un proceso lento, se requiere de tramos largos para que las bacterias alcancen a realizar su trabajo (Lawrence et al., 2013).

Resulta entonces de suma importancia la implementación de métodos y tecnologías que permitan mitigar los daños al medio ambiente y mejorar la calidad del agua superficial. No obstante, las diferentes tecnologías usadas para el tratamiento de aguas pueden producir afluentes con distintas cantidades y tipos de concentraciones de nutrientes (Walsh, 2000); por lo que es necesario conocer a detalle el origen y la composición de la fuente contaminante para tomar las medidas adecuadas en cada caso concreto.

En general, es posible apreciar que a pesar de ser clasificadas por distintos efectos dañinos que causan en el medio, muchas de éstas alteraciones son mayormente ocasionadas por el agua de escorrentía, es decir por el agua de lluvia corriente en superficies impermeables. Se ha reconocido que la superficie impermeable de un área urbana es un indicador clave de los impactos provocados en sistemas acuáticos (Wenger et al., 2009).

4.4 Técnicas de mitigación y recuperación de sistemas fluviales

Debido a las diferencias entre las zonas rurales y urbanas, en el sentido de que la variedad y complejidad de factores contaminantes aumenta considerable en zonas urbanas, las técnicas de rehabilitación existentes para las zonas rurales pueden no ser adecuados para las urbanas (URBEM, 2004).

4.4.1 Técnicas de mitigación y recuperación de ríos en contextos naturales

Un común denominador expuesto por varios autores, es la importancia de que los proyectos de recuperación de ríos sean planeados y diseñados en base al entendimiento y estudio de procesos geomorfológicos y ecológicos (e.g., Vannote et al. 1980; Kondolf 1998; Pedroli 2002). Principalmente de un adecuado estudio histórico del canal, análisis de flujos registrados y el nivel de influencia de la cuenca en

el sitio. Un análisis geomorfológico competente puede ayudar a entender más ampliamente los procesos a escala de cuenca, y el análisis histórico puede documentar su evolución, suministrando una visión de las causas subyacentes de la condición actual de degradación que sufre el canal (Kondolf y Downs, 1996). Es por éste último aspecto, que es importante hacer tanto énfasis en que el río tiene que ser considerado como elemento de un sistema.

En 1992, en un reporte con título *Restoration of Aquatic Ecosystems* publicado por The National Council de los Estados Unidos de América, se menciona que numerosos proyectos de restauración de ríos han fracasado debido a un pobre análisis sobre su geomorfología e hidrología. Así, en ese mismo documento se recomienda abordar el aspecto de la geomorfología usando como base la anteriormente mencionada clasificación de ríos y arroyos desarrollada por Rosgen D.L. en 1994 (Figura 2). Asimismo, el proyecto URBEM (2004) también ha adoptado ésta clasificación como herramienta inicial para la determinación de técnicas a implementar, incluso para recuperación de ríos urbanos.

Shields et al, (2003) habla de reestablecer el régimen de caudal y sedimentos a la forma más natural posible. Las medidas son:

- Captaciones en la zona alta de la cuenca
- Recuperación del cauce natural del río y tributarios (de-canalización)
- Restauración de zona de humedales y zonas ribereñas
- Modificación de procedimientos de operación de presas
- Modificación de presas
- Reconexión con las llanuras de inundación

Puntualiza que los patrones de flujo de la corriente de los ríos, son elementos críticos para el mantenimiento y la restauración de la integridad ecológica.

Petts y Amoros (1996), hacen sus consideraciones al respecto, y puntualizan que para mantener la diversidad biológica y productividad de los corredores fluviales debe hacerse a través de éstas medidas:

- Retomar concepto de *pulso de inundación*
- Recuperar el cauce de descarga natural del río
- La interacción de flujo y con la forma de canal
- Intercambios entre aguas superficiales y aguas subterráneas

Boon (1998), indica una amplia variedad de técnicas de restauración:

- Reintroducción de meandros
- Sustitución de las presas
- Embalses con rápidos
- Eliminación de los obstáculos para la migración de los peces
- Apertura de los arroyos entubados
- Creación de zonas de desove
- Plantación de vegetación de ribera
- Restablecer llanuras de inundación
- Creación de franjas de protección
- Diseño de las zonas de humedales para el procesamiento de nutrientes

Restauración de zonas ribereñas

Connin (1991), hace mucho énfasis en la recuperación de la vegetación ribereña, ya que ésta única medida trae consigo grandes beneficios. Además de mejorar la calidad del agua, la restauración de zonas ribereñas proporciona otros beneficios para los ecosistemas adyacentes, vida silvestre y los seres humanos. Muchos proyectos de restauración se han iniciado para mejorar el hábitat de la especie para la reproducción o para mejorar la diversidad de la comunidad (Connin, 1991). En tales casos, la mejora de la calidad del agua es dada como un beneficio secundario aunque sustancial. Es importante entender las características de los ecosistemas ribereños y su significado en su entorno local. Sólo entonces, se pueden realmente apreciar las consecuencias de la degradación de ribera y el valor total de su restauración (Connin, 1991).

Site	Vegetative Component	Function
Aboveground/above channel	Canopy and stems	1. Shade controls temperature and stream primary production 2. Source of large and fine plant detriturs 3. Wildlife habitat
In channel	Large debris derived from riparian vegetation	1. Controls routing of water and sediment 2. Dissipates stream energy 3. Creates habitat-pools, riffles, cover 4. Substrate for biological activity
Streambanks	Roots	1. Increase bank stability 2. Creates over-hanging bank cover 3. Nutrient uptake and release between ground and surface water
Floodplain	Stems and low-lying canopy, large woody debris	1. Retards movement of sediment, water, and organic debris in floods 2. Reduces erosion from animal trampling

Figura 10: Funciones de Vegetación ribereña. Connin (1991), adaptado de Swanson et al., (1982).

Sistema de humedales (BMP)

Es actualmente utilizado para diversos objetivos; para la rehabilitación de hábitats en mal estado; para la gestión del agua de escorrentía ocasionada por fuertes tormentas; en zonas costeras para amortiguar la acción del oleaje y proporcionar una mayor estabilización de la costa; y para mejorar la calidad de agua (Connin, 1991).

La gestión de aguas arriba, incluyendo la reducción de fuentes contaminantes, son las principales recomendaciones para todo proyecto de humedales construidos. Esto es por que los procesos de mejora de calidad en los humedales remueven únicamente un fracción de los contaminantes o partículas disueltas (Helfield y Diamond, 1997). La reducción de las fuentes contaminantes sigue siendo la opción más completa y adecuada para contrarrestar el problema de los contaminantes antropogénicos de las aguas superficiales (Helfield y Diamond, 1997).

A pesar de la gran variedad de beneficios que pueden brindar, la gama de circunstancias en las que pueden ser eficaces y adecuados éstos sistemas resulta ser un tanto limitada. Los proyectos cuyo objetivo es la rehabilitación de un hábitat, sobretudo acuático, resulta no ser del todo compatible con aplicaciones que busquen la gestión de las aguas pluviales o de mejora de la calidad del agua (Helfield y Diamond, 1997). Esto es debido a que en los humedales se llevan a cabo procesos y reacciones que afectan la calidad agua, y que además pueden concentrarse importantes cantidades de metales suspendidos, sustancias tóxicas y bioacumulación.

4.4.2 Técnicas de mitigación y rehabilitación de ríos en contextos urbanos

El proyecto URBEM (2004), plantea las técnicas para ‘re-naturalizar’ el flujo de un río. Tras un proceso de planificación, se lleva a cabo la selección de las medidas a tomar tanto a nivel cuenca, como directamente en el canal, lecho o área ribereña de un río urbano.

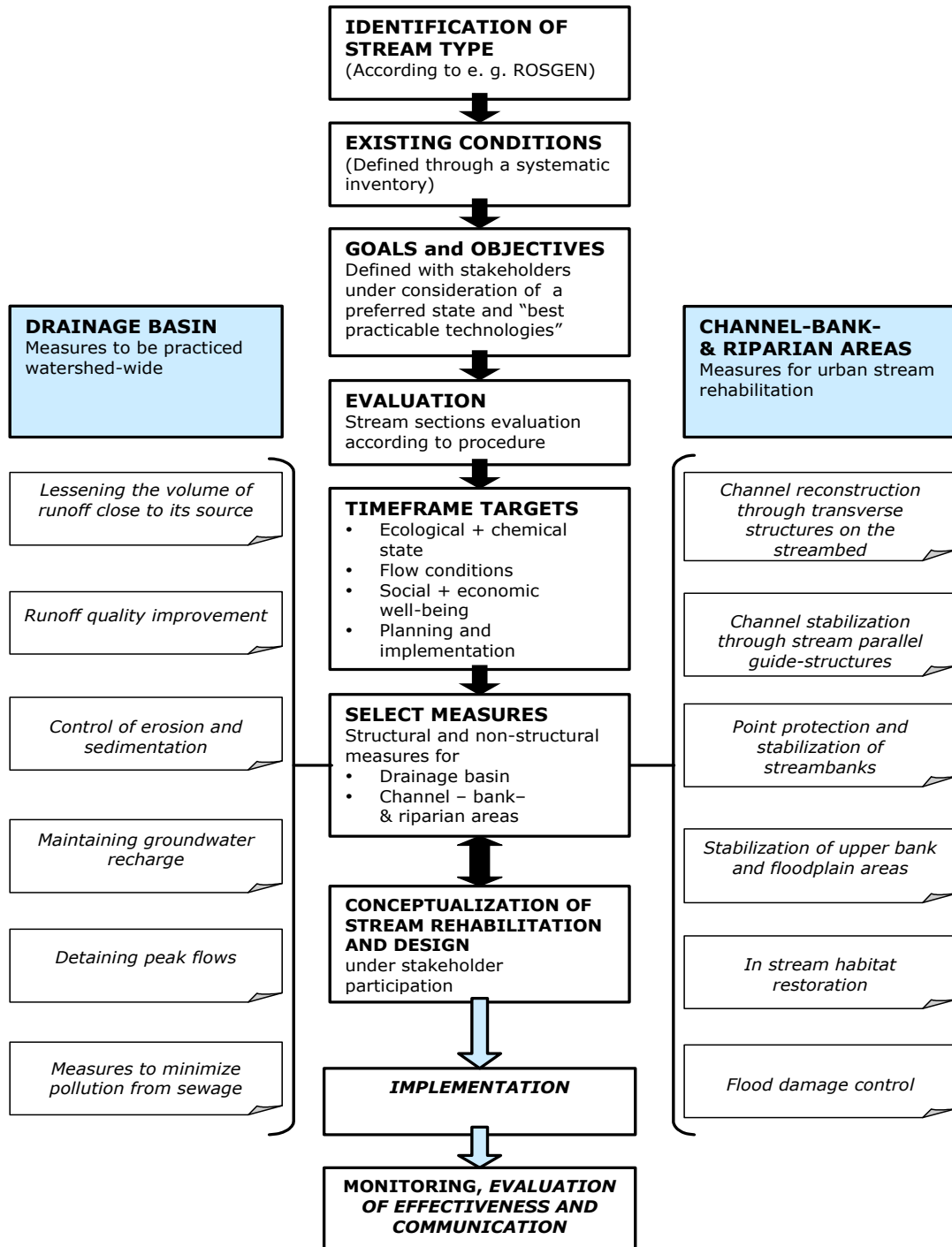


Figura 11: Procedimiento para re-naturalizar el cauce de un río. Fuente: URBEM (2004).

Las medidas propuestas por URBEM (2004) se desglosan en la Figura 12

Measures to lessen the volume of runoff on the source
Vegetated roof covers
Porous pavements: Asphalt / Modular-paving blocks
Planting and fostering natural vegetation
Careful utilisation of water
On-site storage of rainfall
Measures to improve the quality of runoff
Oil/ Grit separators
Grassy vegetative filter strips
Grassed swales
Constructed wetlands (syn. artificial wetland)
Wet ponds with extended detention
Bioretention
Sewage separation at the source
Measures to control erosion and sedimentation
Management of construction sites – Construction traffic
Temporary runoff diversions and chutes
Silt fence and trapping devices
Sediment basins
Hydro seeding and chemical stabilisation
Cover crops and temporary mulches
Measures to maintain groundwater recharge
Infiltration berms
Vegetative infiltration swales with check dams
Infiltration basins
Seepage beds/basins/areas
Gravel filled trenches / Dutch drains with optional drainage pipe in base
Wells, gravity shafts and induced recharge
Measures to detain peak flow
Dry detention basins
Wet detention basins
Measures to minimise pollution from sewage
Combined sewer overflow source control
Off-line storage of combined sewage

Figura 12: Técnicas a aplicar a nivel cuenca. Fuente: URBEM (2004).

Measures for urban stream rehabilitation in channel bed and banks
Giving the river more space
Fostering flow and sediment dynamics
Channel reconstruction through transverse structures on the streambed
Channel stabilisation through stream parallel flow guiding structures
Protection and stabilisation of stream banks
Connection of old arms and meanders
Stabilisation of upper stream banks through surface protection measures
Habitat improvement
Safety and flood damage control

Figura 13: Técnicas para aplicar directamente en el cauce. Fuente: URBEM (2004).

Wenger et al. (2009), identifican y realizan una clasificación más detallada de las distintas alteraciones que pueden presentarse en los ríos en contextos urbanizados, así como la causa y algunas estrategias y métodos para mitigarlas.

Symptom	Cause	Mitigation
Hydrologic alteration		
Increased peak flow magnitude	Reduced infiltration rates (through compaction, covering by impervious surfaces, and piping of ephemeral channels)	Disconnecting and minimizing impervious surfaces Infiltration practices
Increased frequency of large flows	Reduced evapotranspiration through loss of vegetation	Bioretention practices to promote evapotranspiration
Increased volume of storm flows	Groundwater withdrawals	Stormwater harvesting
Altered low flows (reduced or increased)	Imported water	Forest cover Infrastructure improvements to reduce leakage
Altered geomorphology		
Higher bed mobility	Increased peak flows	Riparian buffers
Reduced bank stability	Riparian disturbance	Instream channel restoration
Channel simplification	Reduced channel roughness	Stream engineering regulations
Increased fine sediment inputs	Channelization	Improved site design to minimize stream disturbance
Increased embeddedness	Construction sediments	Zoning and planning
	Road runoff	Erosion and sediment control (see mitigation of hydrologic alteration)
	Landscaping and ground disturbance	
	Channel incision and streambank retreat	
Direct channel manipulation		
	Straightening channels	Regulations preventing direct manipulations
	Lining with concrete and rip-rap	Change in perception of stream appearance
	Piping streams	Restoration of floodplains to allow reconnection
	Filling streams	Bring piped streams to the surface
Water chemistry changes		
Increased nutrients	Point-source discharges	Regulations or other incentives to minimize fertilizer and pesticide use
Increased pesticides	Fertilization	Water quality treatment of wastewater and stormwater (see mitigation of hydrologic alteration)
Increased metals	Pesticide application	Constructed wetlands
Increased petroleum byproducts	Contaminants from roads	Reduced sewer leakage
Elevated bacteria	Roofing materials	Elimination of combined sewer overflows
Increased conductivity	Pet waste	Improved septic performance
Pharmaceuticals	Leaky wastewater pipes	
	Septic tanks (many of the above transmitted to streams via storm drains)	
Increased water temperature and light		
	Riparian disturbance	Riparian buffers (canopy cover)
	Runoff from impervious surfaces	Stormwater retention practices (see mitigation of hydrologic alteration)
	Discharges from ponds and treatment plants	
	Urban heat island effect	
Altered terrestrial inputs		
Reduced habitat complexity	Riparian disturbance	Riparian buffers
	Wood removal	Behavioral modification via homeowner education (see mitigation of hydrologic alteration)
	High flows (flushing)	
	Road drainage	
Movement barriers		
	Road culverts blocking passage	Use of bridges rather than culverts
	Geomorphic alteration	Better culvert design and placement
	Water quality changes	
Lost riparian habitat		
	Riparian disturbance	Riparian buffers (see mitigation of hydrologic alteration and channel modification)
	Exotic species	
	Channel incision	

Figura 14: Síntomas, causas y técnicas de mitigación para ríos urbanos. Fuente: Wenger et al. (2009).

Es posible apreciar que muchas de éstas alteraciones son ocasionadas por el agua de escorrentía, es decir por el agua de lluvia. La comunidad científica ha reconocido que la superficie impermeable de un área urbana es un indicador clave de los impactos provocados en sistemas acuáticos (Wenger et al., 2009).

Esta clasificación nos da una idea bastante objetiva de los principales factores degradativos típicos de un río urbano, de la causa que provoca cada uno de ellos, y las estrategias para ser mitigados. Sin embargo, existen algunos que no aparecen en ésta propuesta y que serán identificados en los capítulos siguientes de éste

documento. Ejemplo de ellos son las barreras físicas que ha generado el hombre, y que impiden relación directa con la población.

Restauración de zonas ribereñas

Connin (1991), por su parte, tanto en ríos naturales como en urbanos, insiste en la importancia de la vegetación de riberas. Asegura que también tiene influencia sobre la calidad estética del sistema fluvial, ya que es fuente de varios ecosistemas, y sosteniblemente es buen suelo para el ganado. El EUA esto se ha salido de control y actualmente el 70-90% de las zonas naturales ribereñas se han perdido por mal uso de actividades humanas.

Beneficios de la vegetación ribereña:

1.	Increased stream flow
2.	Increased water depth
3.	Reduced in stream sedimentation
4.	Reduced channel width
5.	Stream stabilization
6.	Increased faunal and floral diversity
7.	Shift from more xeric to mesic plant species
8.	Reduced soil compaction and increased infiltration
9.	Elevated water-table height
10.	Decreased flooding frequency

Figura 15: Resultados más comunes por el mejoramiento de vegetación ribereña. Fuente: Connin (1991).

Sistema de humedales

URBEM (2004), También apunta que para la rehabilitación de corrientes urbanas degradadas, la creación de humedales construidos será en un futuro, la estrategia más exitosa de mitigación contra impactos causados por el cambio climático.

Sin embargo, Helfield y Diamond (1997), advierte que en los sistemas de humedales algunos contaminantes orgánicos pueden ser transformados en componentes menos tóxicos, pero algunos otros pueden transformarse en otros incluso más dañinos tanto para el ser humano, como para los ecosistemas naturales. Por lo tanto, no es recomendable mezclar objetivos de crear hábitats acuáticos en aguas cargadas con tóxicos y otros metales pesados.

Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (BMP)

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS) son sistemas considerados dentro de los llamados Best Management Practices (BMP). Son sistemas que tienen la finalidad de reproducir el ciclo hidrológico natural previo a cualquier urbanización. Por lo tanto, tratan de permeabilizar superficies urbanas para generar el ciclo natural del agua (Perales Momparler et al. 2000).

Los SUDS no están pensados únicamente para resolver problemas en época con alta pluviosidad sino que se han de concebir como un sistema para cada época del año, en que aparte de recoger las precipitaciones, se recogen los sobrantes de riego con la finalidad de reutilizar estas aguas para usos no potables, por ejemplo, aguas de inodoros, aguas para riego u otros usos (Perales Momparler et al. 2000). De esta

manera, se definen como objetivos de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles los siguientes aspectos:

- Protección de sistemas naturales
- Integración del tratamientos de aguas pluviales en el paisaje
- Protección de la calidad del agua
- Reducción del volumen del caudal de escorrentía
- Incremento del valor añadido con la minimización de costes

Estos sistemas permiten una mejor gestión de las aguas pluviales y el agua en general que garantiza menores costes debido al mejor funcionamiento de las depuradoras. Se plantean desde un punto de vista de la planificación urbana e hidrológica.

Las medidas para llevar a cabo SUDS pueden ser de carácter no estructural, como es el caso de involucrar a la ciudadanía a través de educación y programas de participación para minimizar la contaminación de las aguas que evocan o bien, otras medidas como el diseño urbano minimizando las zonas impermeabilizadas (Perales Momparler et al., 2000).

Cubiertas vegetales

No obstante, también existen medidas estructurales, es decir, a partir de elementos constructivos o criterios urbanísticos como pueden ser la implantación de cubiertas vegetales que permiten una mejor captación de aguas pluviales, la colocación de superficies permeables (césped, gravas, etc.) o franjas filtrantes que permita la sedimentación de partículas contaminantes y las separan de la escorrentía.

Cals et al. (1998) considera que el éxito de un proyecto se verá considerablemente engrandecido si las medidas aplicadas no sólo mejoran el estado ecológico del sitio, sino que además provee de un control adecuado de flujos durante periodos de fuerte descarga o tormentas.

Planes de zonificación

Decler et al. (2000), habla de la implementación de Planes de Zonificación: una herramienta de nueva política para la gestión integral de aguas aplicada en Bélgica.

Lo describe como plan de zonificación, resultado de un cuidadoso equilibrio de diferentes funciones, con un tejido espacial y funcional óptimo sin exceder la capacidad de carga natural de un sistema fluvial y su entorno. A fin de proporcionar un conocimiento sustancial para estos planes de zonificación, el Instituto de Conservación de la Naturaleza Flamenca, está elaborando análisis de los ecosistemas y las visiones de futuro para la función de la naturaleza.

4.5 Desarrollo de Proyectos de Recuperación de Ríos

A mediados del siglo XIX se desencadenó una gran problemática de degradación en los ríos y cuerpos de agua, debido principalmente al crecimiento poblacional y a la poca importancia que se le prestó a la relación humana directa con tan importante recurso. Su vínculo se redujo al aprovechamiento como medio de abastecimiento de agua potable y de evacuación de residuos y aguas sucias (Petts, 2000).

Esta situación se extendió principalmente en los países industrializados, donde además de las aguas residuales domésticas, se empezaron a realizar vertidos de las grandes industrias, provocando diversas alteraciones en el medio natural (Petts, 2000; Shields et al., 2003). Hoy en día son muchos países del mundo los que continúan con estas prácticas, pero que tarde o temprano deberán ser atendidas.

Desde hace un par de décadas, finalmente el interés y la inversión pública en la rehabilitación de ríos ha aumentado importantemente en muchos países, sobretodo europeos (Shields et al., 2003). Está siendo abordada la problemática, y ha crecido significativamente el interés por reestablecer un vínculo perdido con la naturaleza. Son cada vez más los países que han llevado a cabo proyectos de recuperación de sus ríos y afluentes, que se encuentran desarrollando planes y programas, o que hoy en día están en ejecución (URBEM, 2004).

La creciente conciencia ambiental y la preocupación por la escasez de agua limpia y pérdida de la biodiversidad en los sistemas fluviales, preparan el camino hacia una nueva política para la rehabilitación de los ríos y su conservación (Pedroli, 2002). Actualmente representa una prioridad dentro de los programas de desarrollo de muchas ciudades de todo el mundo (URBEM, 2004).

En Europa por ejemplo, durante las últimas décadas la intensificación de tratamiento de aguas residuales ha mejorado significativamente la calidad de agua, y muchos ríos han logrado limpiar parcialmente sus aguas. Sin embargo, la degradación del hábitat físico ha seguido siendo una amenaza importante para los ecosistemas acuáticos y ribereños, debido a que en ocasiones la mejora general de calidad del río no ha correspondido con la de su biodiversidad (ECRR, 2002). Otro ejemplo, son los proyectos que se han llevado a cabo en California y otros lugares de América del Norte, los cuales se han diseñado con una amplia gama de objetivos, que van desde la recuperación completa, en la que se recrean los hábitats ribereños y acuáticos perdidos debido a la acción humana en el pasado, hasta los proyectos que están motivados únicamente por el control de inundaciones o propósitos similares, pero que implican igualmente la mejora de valores ambientales.

Resulta de gran interés entonces, la cada vez más extensa publicación de proyectos realizados en distintas geografías y ámbitos, y que representa un apoyo para nuevos desarrolladores de proyectos afines, y conocer así los alcances que se han logrado y los errores que no deberán repetirse. El organismo de nombre *European Center for River Restoration* (ECRR), se trata de una red europea de centros nacionales y miembros individuales de distintos países, que desde su fundación en 1995 se encarga de mejorar, promover y difundir información sobre experiencias en la restauración de los ríos principalmente en Europa, pero también de todo el mundo.

Se entiende como la recuperación o rehabilitación de los ríos, al restablecimiento de su estabilidad natural y de sus propias funciones (Rosgen, 1997). La consciencia en cuanto a la importancia del cuidado y conservación de estos recursos se ha incrementado considerablemente a nivel mundial en las últimas dos décadas, de tal manera que el desarrollo de proyectos para la recuperación de ríos se ha convertido en un tópico de gran interés y estudio (Wenger et al., 2009).

La comunidad científica, la académica, organizaciones no gubernamentales y numerosas instituciones internacionales han trabajado en conjunto para documentar y publicar experiencias en éste tipo de proyectos, con el fin de proporcionar información de utilidad a nuevas iniciativas, proyectistas y diseñadores que se encuentran desarrollando nuevos planes y programas de intervención (URBEM, 2004). Asimismo, se encargan de difundir la importancia que tiene llevar a cabo la evaluación de los proyectos realizados o que se han puesto en marcha.

Durante las dos últimas décadas principalmente, el tema de la recuperación de ríos ha ido madurando y convirtiéndose en una preocupación a escala mundial. Por tal motivo, resulta lógico pensar que son cada vez más las disciplinas que se involucran en ésta campo de investigación. Grant (2008), precisamente nos indica que actualmente se busca que los proyectos sean desarrollados y soportados por una amplia gama de disciplinas técnicas que le den un enfoque distinto, y que a su vez se ocupen de fundamentar la formulación de los objetivos, las estrategias y los distintos métodos que deberán ser implementados para llevar a cabo los proyectos con éxito. Bajo éste enfoque multidisciplinar, el mismo autor plantea que el núcleo de actividades a desarrollar en los proyectos de recuperación está siendo regido principalmente por cuatro disciplinas técnicas (Figura 16).

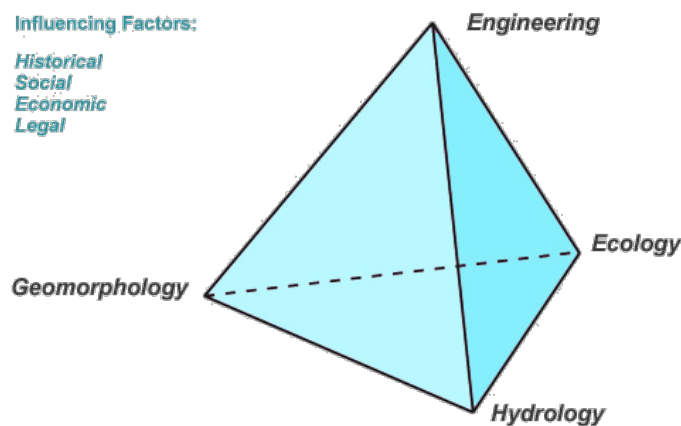


Figura 16: Esquema conceptual del marco teórico para proyectos de recuperación
Fuente: Grant (2008).

Walsh (2000), incluye en éste grupo de disciplinas la biología acuática. Asegura que mientras se sigan propagando nuevos usos de suelo, traerán consigo nuevos retos en cuanto a la gestión de recursos hídricos y a la ecología acuática. Así, a medida que se expanden nuevas áreas urbanas y la infraestructura de las ciudades envejece, la gestión del agua en las ciudades de todo el mundo requerirán una amplia interacción con ésta disciplina.

Shields et al., (2003), lo plantea de una manera más simple. Considera igualmente un enfoque híbrido, pero él menciona sólo el rigor de la ecología, y el juicio y

pragmatismo de la ingeniería. Ejemplifica que mientras el punto de vista de la ecología busca modificar un cauce degradado para recuperar la biodiversidad o abundancia de poblaciones biológicas, el de la ingeniería se enfoca más en el diseño de sistemas y estructuras que cumplan con ciertos criterios, usualmente especificados por un cliente.

Este punto de vista holístico se ha venido generalizando para abordar la problemática desde distintas perspectivas, lo cual permite profundizar más en la búsqueda de herramientas y metodologías a implementarse. Sin embargo, Es importante enfatizar que también mucha literatura menciona la importancia que tiene el involucrarse en un amplio contexto cultural (Connin, 1991; Schama, 1995; URBEM, 2004), el cual incluye factores sociales, económicos, jurídicos e históricos que influyen en el impulso de un proyecto y en la toma de decisiones.

Lo anterior es importante ya que la apreciación cultural es un factor sumamente importante a tomar en cuenta. Schama (1995), asegura además que éste puede variar a lo largo de todo el cauce ya que, presentando diferentes características físicas y químicas, la sociedad se apropia de él en distinta medida y forma. Es entonces posible apreciar como el río tiene influencia en la sociedad y la sociedad tiene influencia sobre él.

Es común que los principales impulsores de las actividades de recuperación y restauración de los ríos sean aspectos jurídicos. Por ejemplo, en el oeste de los E.U.A., el motor principal es la ley *Endangered Species Act*, la cual se encarga de proteger a las especies en peligro de extinción y a los ecosistemas de los que dependen. En cambio en Europa, la restauración fluvial es impulsada principalmente por la Directiva Marco de Agua de la Unión Europea, la cual establece el ambicioso objetivo de lograr el buen estado de todas las aguas superficiales y las aguas subterráneas de Europa para el 2015.

Grant (2008) por otro lado, señala que más allá de directivas legales, debe ser tomado en cuenta el complejo conjunto de expectativas históricas y sociales que también influyen vigorosamente en la extensión y los tipos de estrategias a emplear. Tomar en cuenta tan diversos factores, permitirá entonces formular objetivos y estrategias que puedan significar mejoras en varias direcciones.

Claramente es importante la iniciativa gubernamental en éste tipo de proyectos, sobretudo por la seguridad de ser financiados. Sin embargo, Connin (1991), precisa que si factores sociales e institucionales trabajan en conjunto desde el proceso de planeación, existiendo un común acuerdo entre todos los participantes interesados, es casi garantía que consigan ser financiados y de la rápida ejecución del proyecto. Actualmente, la DMA establece como requisito la participación pública como una estrategia clave para una buena planificación e implementación exitosa de un proyecto de recuperación.

Esto nos da una idea de las distintas direcciones en las que debe estar encaminado un proyecto, y dará una visión más amplia al momento de plantarse objetivos. En la propuesta que realiza Boon (1998), se plantea precisamente que para el diseño de un proyecto de recuperación de ríos es necesario tomar en cuenta cinco dimensiones, las cuales son descritas en la figura 19.

1	Dimensión espacial	<i>Conexiones longitudinales</i>
		<i>Conexiones laterales</i>
		<i>Conexiones verticales</i>
2	Dimensión temporal	<i>Cambios a lo largo del tiempo</i>
3	Dimensión conceptual	<i>Bases filosóficas para la conservación o recuperación</i>
4	Dimensión tecnológica	<i>Tecnología e ingenierías</i>
5	Dimensión de la presentación	<i>Respaldo de la sociedad</i>

Figura 17: Cinco dimensiones a considerar en el desarrollo de proyectos de recuperación de ríos. Fuente: Boon (1998).

Dimensión espacial. Hace énfasis en la necesidad de tomar en cuenta los procesos que se llevan a cabo a nivel de cuenca. En el sentido longitudinal se refiere a las distintas secciones que tiene un río a lo largo (cauce superior, cauce medio y cauce inferior); las conexiones laterales son las que se establecen entre el cauce, los bordes y las llanuras de inundación; y las conexiones verticales, que son quizá en las que menos atención se ha prestado, se refiere a la relación que existe entre el agua que corre superficialmente, el agua subterránea y la llamada zona hiporreica (HZ por sus siglas en inglés) la cual se localiza precisamente entre éstos dos cauces y es por la que ocurre el intercambio de flujos. Según indican Lawrence et al. (2013), ésta zona posee un gran potencial para proporcionar un tratamiento natural a compuestos orgánicos, nutrientes y otros patógenos incluso presentes en afluentes urbanos.

Dimensión temporal. Apunta a la importancia de conocer los cambios que ha sufrido el río con el paso del tiempo; comenzando desde antecedentes históricos, hasta la realización de una evaluación post-proyecto. Desafortunadamente, no existe el compromiso para hacerlo y éste tipo de evaluaciones son llevadas a cabo con muy escasa frecuencia, ignorando la importancia que tiene para futuros proyectos.

Dimensión conceptual. Se refiere al sentido y motivación que incita a los proyectistas a diseñar y llevar a cabo las estrategias de recuperación.

Dimensión tecnológica. Se atribuye a la ingeniería y las herramientas tecnológicas como modelos matemáticos y Sistemas de Información Geográfica (SIG) que son actualmente son utilizados en los proyectos de recuperación

Dimensión de la presentación. Se refiere a la importancia que tiene la forma en la que se presenta o plantea un proyecto a la sociedad, no sólo para dar a conocer las ventajas ambientales, sino para su apropiación, difusión y exhortar a la participación del público en general.

4.5.1 Criterios para el desarrollo de proyectos de recuperación de ríos

A través del proyecto URBEM, la Comisión Europea desarrolla un estudio exhaustivo sobre los esquemas de rehabilitación de los ríos urbanos utilizados en Europa en los últimos años. Este estudio apunta a maximizar las ventajas que derivan del análisis de experiencias prácticas existentes. Asimismo, se considera como una línea base para el futuro desarrollo de nuevas herramientas, técnicas y procedimientos.

Es importante el conocimiento de técnicas y medidas efectivas implementadas, para los profesionales interesados en desarrollar un proyecto nuevo; es de hecho la base necesaria para mejorarlas. URBEM (2004), construye entonces un esquema global de los criterios a tomar en cuenta para favorecer un correcto planteamiento de nuevos proyectos de rehabilitación de los cursos de agua:

1	Proceso de planificación e implementación
2	Técnicas de rehabilitación
3	Impactos ecológicos, sociales y económicos
4	Valoración estética
5	Valorización social y participación comunitaria
6	Monitoreo de desempeño e indicadores de éxito

Figura 18: Esquema global de los criterios para valorar proyectos de recuperación de ríos
Fuente: URBEM (2004).

El **Proceso de planificación e implementación** se refiere a la forma en que son formulados los objetivos, seleccionadas las estrategias y tomadas las decisiones para llevar a cabo los proyectos. Se incluyen también condiciones legales, disposición política para participar y procesos de financiación.

Como **Técnicas de rehabilitación** se entienden todas las actividades físicas a desarrollarse, que influenciarán directamente sobre el canal, sus condiciones geomorfológicas, hidrológicas y la calidad del agua. También incluye medidas de seguridad y salud pública.

Estas técnicas, causan diversos **Impactos ecológicos, sociales y económicos**, los cuales son considerados como las tres dimensiones que indican la sostenibilidad del proyecto.

La **Valoración estética** juega un papel muy importante en la rehabilitación de ríos en zonas urbanas. Es un factor importante para la apropiación de la población como eje de espacio público.

En cuanto a la **Valorización social y participación comunitaria**, se toma en cuenta la identificación, información y participación activa de todos los interesados, así como los programas de promoción y alcances para iniciar la administración de los proyectos.

Por último, el **Monitoreo de desempeño e indicadores de éxito**, proporciona información para la cuantificación y seguimiento de los resultados del proyecto, incluyendo los criterios para una rehabilitación exitosa.

4.5.2 Formulación de objetivos en proyectos de recuperación de ríos

La mayor expectativa para la recuperación de ríos es la recuperación de los procesos naturales del sistema fluvial. Es decir, recuperar el estado más natural posible del río. Si bien son muchos los factores que influyen (físicos, químicos y biológicos), una hidrología imperturbada constituye una condicionante para el mantenimiento de los hábitats en su estado natural (Pedroli, 2002).

Ríos en los que se ha llevado a cabo la construcción de estructuras de control de caudal que han provocado en gran medida la fragmentación los ecosistemas, quedan en forma de fragmentos funcionando independientemente de las otros. Esto causa que los hábitats pierdan su dinámica esencial necesaria para la el sustento de la biodiversidad (Pedroli, 2002).

Dado lo siguiente, podemos decir que en general, los proyectos de mejora en los ríos tanto en contextos naturales como más urbanizados, buscan básicamente la recuperación de funciones básicas del sistema natural, y su reconexión con el paisaje para conservar o potenciar la biodiversidad.



Figura 19: Esquema de equivalencia entre los procesos que se pretenden recuperar, con los ejes de intervención que deberán abordar los objetivos a formular. Fuente: Elaboración propia.

The Royal Commission on the Future of the Toronto Waterfront (1992), identifica también como los objetivos generales más comúnmente establecidos en los proyectos de recuperación los siguientes:

1. *Aumentar y mejorar los usos estéticos y recreacionales*
2. *Controlar inundaciones naturales, reduciendo así el costo de mantenimiento*
3. *Mejorar la calidad y características del los hábitats*
4. *Mejorar la calida del agua*

Esto nos proporciona una base para definir los cuatro ejes principales que deben ser abordados durante la formulación de los objetivos en cualquier proyecto de recuperación de ríos.

4.5.3 Selección de estrategias en proyectos de recuperación de ríos

Una vez establecidos los objetivos generales, se deben escoger las estrategias o líneas de acción mediante las cuales se planea cumplir las metas propuestas. De ésta manera, toma especial importancia conocer el estado actual del medio, para lo cual generalmente se llevan a cabo estudios exhaustivos que permiten tener un panorama amplio de la problemática a la que habrá que enfrentarse (Boon, 1992). Cada proyecto deberá responder a una problemática específica de su cuenca.

Boon (1992), describe a grandes rasgos cinco estrategias de gestión para los proyectos de recuperación, aunque claro está, pueden varias según la situación actual del sistema, su situación geográfica y los objetivos generales antes propuestos.

Conservación	En casos donde todavía existen sistemas o sub-sistemas del afluente que conservan intactas sus características hidrográficas.
Restricción de desarrollo de la cuenca	En ríos donde sus funciones ecológicas y la calidad de ecosistemas persiste sin grandes impedimentos, pero que podrían ser propensas a una agresión debido al crecimiento de comunidades aledañas.
Mitigación	Cuando la calidad del ecosistema es baja. Si existen actividades económicas o de esparcimiento responsables de su degradación, entonces deberán implementarse medidas necesarias que permitan la longevidad de los hábitats.
Recuperación/Restauración	En afluentes cuya hidrografía natural ya es apenas reconocible, y la presencia de hábitats es dispersa y escasa debido a la alta degradación del sistema.
Desecación	En el caso más desfavorable, donde el ecosistema está muy degradado y las esperanzas de su rescate parecen ser pocas.

Figura 20: Estrategias de gestión para cuencas, según su estado de degradación
Fuente: Boon (1992).

Shields et al., (2003) sin embargo opina que plantear la 'restauración' de un río, en el sentido estricto de la palabra, es imposible debido a que implica regresar completamente al estado natural funcional del río. Indica que la 'rehabilitación' es generalmente el objetivo real de muchos proyectos, la cual se refiere a regresar parcialmente a un estado funcional previo.

4.5.4 Evaluación y monitoreo de implementación de proyectos

Kondolf (1998) realiza un recuento de las que el llama 'Lecciones aprendidas' en un proyecto de recuperación de ríos. Si bien el estudio fue realizado en base a proyectos llevados a cabo en el estado de California en E.U.A., proporciona información útil para la formulación futura de proyectos.

- a) *Los objetivos del proyecto deben estar claramente establecidos y basados en el entendimiento de procesos geomorfológicos y ecológicos.*
- b) *La geomorfología es necesaria para planear y diseñar proyectos de restauración.*
- c) *Cada río tiene una alta variabilidad estacional e interanual por lo que conceptos tradicionales de equilibrio en los canales podrían no ser aplicables adecuadamente en todos los casos.*
- d) *Las variaciones en el suministro y transporte de sedimentos deberá ser conocida para diseñar un proyecto de recuperación.*
- e) *La recuperación deberá estar basada en el conocimiento de procesos, y no en la imitación de formas*
- f) *Es necesaria una evaluación 'a posteriori' del desempeño del proyecto, para evitar repetir errores y para desarrollar una mejor comprensión de cómo responden los ríos a las acciones de restauración implementadas.*

Figura 21: Lecciones aprendidas de proyectos de recuperación de ríos
Fuente: Modificado a partir de Kondolf (1998).

Estas premisas han sido extraídas y modificadas de tal manera que puedan generalizarse los conceptos más significativos. Básicamente, se basa en el hecho de que para diseñar proyectos, es fundamental conocer a fondo características geomorfológicas y procesos ecológicos que se llevan a cabo en cada cuenca.

Sin embargo, habla de la importante necesidad de evaluar la puesta en práctica del proyecto, así como de los resultados obtenidos. Esta parte es muy importante, ya que da pautas para un futuro de lo que ha tenido éxito y lo que no lo ha tenido.

Asimismo, Kondolf (1998) comenta que ésta post-evaluación raramente se lleva a cabo, y existen casos en los que no se hace debido a que los fondos que son recaudados para llevar a cabo éste tipo de proyectos, generalmente son de difícil obtención, por lo que se prefiere aprovechar el presupuesto para generar cambios, y no invertir en la realización de más estudios. Es decir, que si los gastos deben ser estrictamente justificados, por intereses políticos se opta por informar que los fondos están siendo meramente invertidos en 'hacer algo'.

5. Metodología

Para llevar a buen fin los objetivos planteados para este estudio, el proceso de análisis y se llevará a cabo en cuatro partes que estructurarán el análisis que se busca realizar.

- **Análisis cualitativo del proceso de elaboración y formulación de los objetivos del “Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del Río Magdalena del Distrito Federal”.**

Se describe primeramente la metodología y estructura que se siguió para desarrollar el programa de recuperación, analizando tanto métodos de planeación como los criterios que se tomaron para formular objetivos y estrategias.

- **Características geográficas, hidrológicas y geomorfológicas del Río Magdalena y su microcuenca.**

Se realizará una descripción del medio físico en el que se encuentra localizada la microcuenca del río Magdalena; incluyendo por una parte las características geográficas, hidrológicas y geomorfológicas que caracterizan su dinámica fluvial; y por el otro el tejido urbano con el que está interactuando.

- **Descripción de las estrategias y técnicas de recuperación implementadas.**

Se divide el análisis en dos partes: el río Magdalena en su tramo natural, y el río Magdalena en su tramo urbano. Dado que las estrategias son distintas para cada uno de los tramos, se identificarán primeramente las estrategias a seguir en el medio natural, y posteriormente aquellas enfocadas en la zona urbana.

- **Análisis cualitativo de las estrategias y técnicas de recuperación implementadas.**

Al igual que en el paso anterior, se considera un río natural y un río urbano. Se exponen las consideraciones necesarias para hacer el planteamiento de mejores prácticas o adecuaciones sugeridas para añadirse al programa.

6. Recuperación del Río Magdalena de la Ciudad de México

6.1 Antecedentes. La Cuenca del Valle de México

La Cuenca de México se encuentra en la parte central del territorio mexicano y abarca parte del territorio de cuatro entidades federativas. Administrativamente, recibe el nombre de Región Hidrológica XIII - Valle de México y Sistema Cutzamala, que a su vez se divide en dos subregiones; Tula y Valle de México. El Valle de México está conformado por 69 municipios (50 del Estado de México, 15 de Hidalgo y 4 de Tlaxcala); y las 16 delegaciones de la capital del país, el Distrito Federal.

Esta región es la más poblada de las 13 regiones hidrológico-administrativas del país y la de menor extensión territorial, por lo que tiene una elevada densidad de población, equivalente a casi 24 veces la densidad de población media nacional (Conagua, 2009).



Figura 22: Localización de la Cuenca de México. Fuente: Elaboración propia.

"El México antiguo había estado sembrado de canales, como Venecia. Ahora se quería desaguarlo todo y convertir a la ciudad en pura tierra firme. Pero el logro de éste propósito, si es que algún día se alcanzaba, implicaría el esterilización del valle y el escurrimiento de los lagos [...] los españoles trataron el agua como si fuera enemigo."

Alejandro de Humbolt, 1803.

En 1325 fue fundada sobre un gran lago la Ciudad de México (o Valle de México), antes llamada La Gran Tenochtitlan. Aunque no parecía ser el mejor sitio para establecerse, se convirtió en poco tiempo en la gran capital, conformada por un sistema integral de grandes lagos y canales.

A principios del siglo XVI, la extensión de la ciudad no rebasaba la extensión de 5km². La ciudad había sido construida sobre el agua mediante un sistema de capas compactadas de tierra conocido como Chinampas, cuya tecnología agrícola altamente productiva se encontraba sobretodo en la riberas de los lagos. Un gran muro de piedra de 16km de longitud, conocido como Albarradón de Nezahualcóyotl, servía para separar las aguas dulces en las que se encontraba la ciudad, de las salobres de los lagos vecinos. (Legorreta, 2006).

Se encontraba perfectamente comunicada al interior y al exterior. El abastecimiento de agua potable se realizaba través de acueductos que traían agua de algunas regiones, entonces "aledañas", las cuales hoy en día se encuentran inmersas en la ciudad y no funcionan más como una fuente de abastecimiento.



Figura 23: Imagen comparativa: A la derecha: México-Tenochtitlan siglo XVI, y la izquierda la Ciudad de México en la actualidad.

Durante la conquista española en 1521, se tomaron decisiones que han marcado a la ciudad de manera indeleble. La principal fue desecar el gran lago y los canales que se conectaban entre sí; un área lacustre de más de 1.100 km² conformada a su vez por cinco lagos de nombres: Chalco, Xochimilco, Texcoco, San Cristóbal-Xaltocán y Zumpango.

En menos de 500 años la ciudad de México sufrió un cambio urbanístico y ecológico considerado como uno de los más radicales del planeta, suprimiendo la civilización lacustre que habían conformado los antepasados indígenas; aquella que asombró a los primeros conquistadores (Legorreta, 2006).

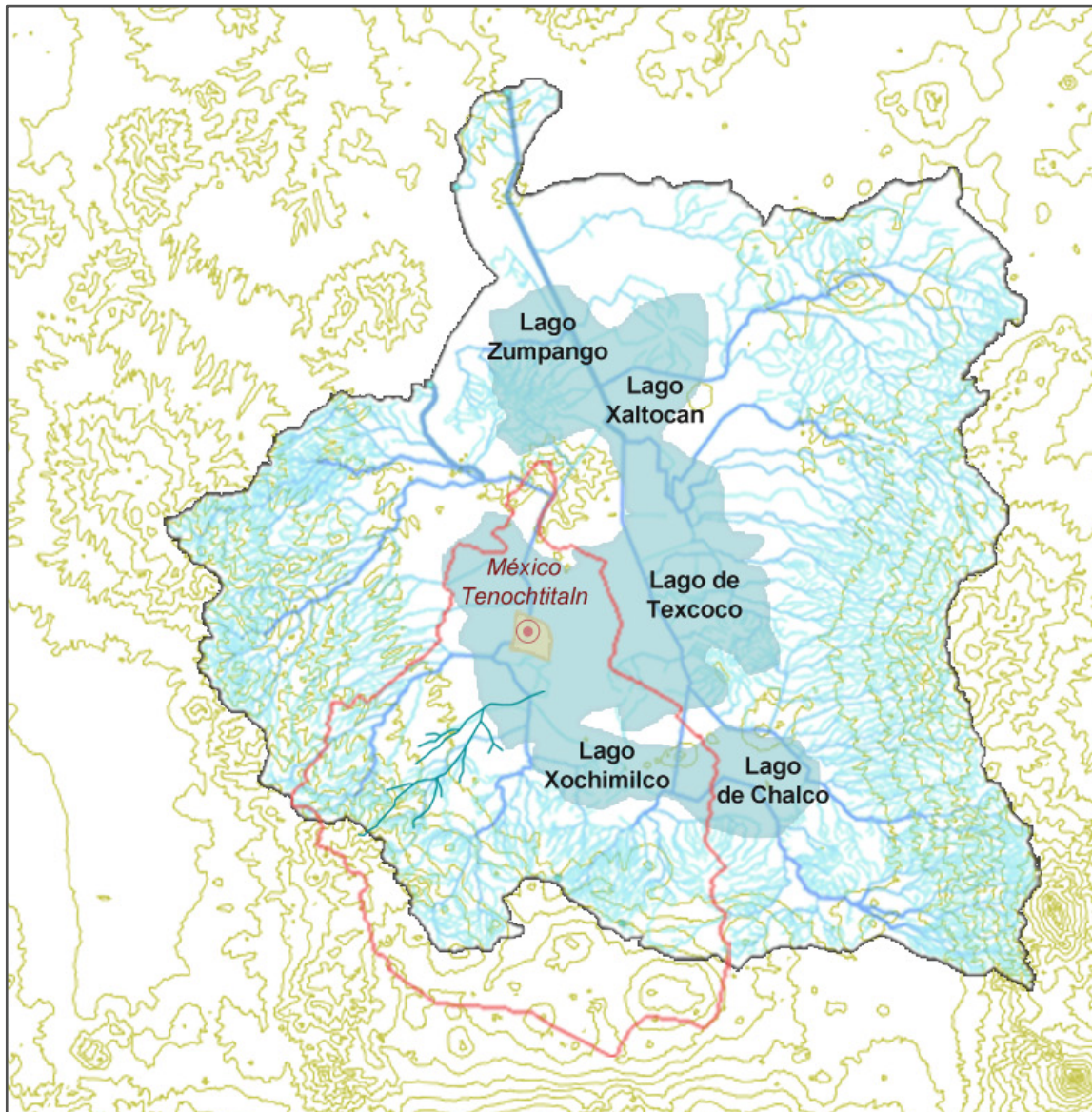


Figura 24: Cuenca del Valle de México, zona lacustre del siglo XVI.
 Fuente: Elaboración propia a partir de Legorreta, 2006.



Figura 25: Proceso de desecación Del Lago. Fuente: Imagen editada a partir de ZMVM (Romero, 2000)

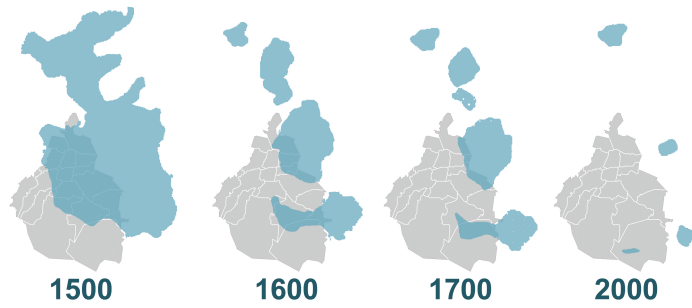
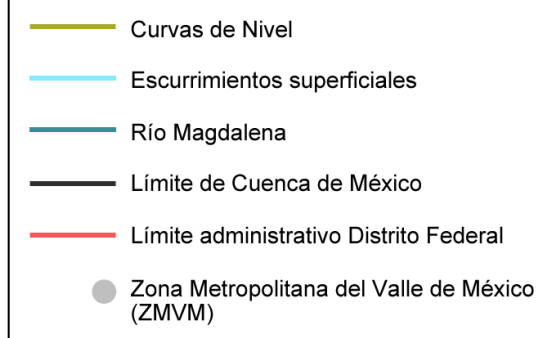


Figura 26: Cuenca del Valle de México, Situación actual. Fuente: Elaboración propia



Problemática

La cuenca tiene una superficie aproximada de 9.600 km², con elevaciones mínimas de 2.150 y 2.390 msnm en sus valles, y hasta 5000 msnm en las zonas montañosas. La superficie de la cuenca aloja la mayor parte del área metropolitana de la Ciudad de México (o Zona Metropolitana del Valle de México), la cual ocupa sólo el 16% del área total de la cuenca, y cuya población se estima de alrededor de 20 millones de habitantes (Legorreta, 2006).

Hasta mediados del siglo XIX la población se abastecía principalmente de los manantiales que brotaban en los valles. En 1846, se descubrieron acuíferos en el centro de la urbe, y comenzaron a ser explotados de manera desmesurada. Así, la combinación de la extracción creciente de agua de pozos y métodos artificiales de drenado del valle, provocó que muchos manantiales naturales se secaran, que los lagos menguaran y que el agua del subsuelo perdiera presión (Joint Academies Committee on the Mexico City Water Supply et al., 1995). Como consecuencia, la Ciudad de México presenta un serio problema de hundimiento que desde principios del siglo XX, ha constituido una grave problemática. Actualmente, muchos pozos del área urbana ya han sido clausurados, disminuyendo la disponibilidad de agua de abastecimiento y provocando la importación de agua limpia desde otras cuencas.

La Cuenca de México es de tipo endorreica, se encuentra rodeada de importantes sistemas montañosos por los que fluían alrededor de 48 ríos que anteriormente desembocaban en el gran lago, y del que hoy en día sobreviven sólo algunos vestigios (Figura 25), algunos artificiales en Zumpango, Texcoco y la zona de canales y chinampas de Xochimilco. Con el constante objetivo de desecar la ciudad y evitar fuertes inundaciones, tuvieron que desarrollarse grandes obras de drenaje artificial.

En 1608 se construyó el primer desagüe artificial mediante el cual se expulsaban las aguas residuales de la ciudad a través de un túnel en la parte norte de la cuenca conocida como el Tajo de Nochistongo, el cual sigue en operación. Sin embargo, éste no fue suficiente y dos siglos después se construyó el túnel de Tequixquiac.

Tras varios siglos de transformaciones, a principios del siglo XIX el drenaje de la ciudad ya era conducido mediante gravedad desembocando en poblaciones vecinas fuera del gran valle, para finalmente ser conducido hacia el Golfo de México. Sin embargo, hacia 1950, el hundimiento de la ciudad era ya tan serio que la pendiente de éste gran canal disminuyó, de tal manera que se volvió necesario bombear para elevar el agua del drenaje subterráneo al nivel del Canal del Desagüe, lo que más tarde llevó a la necesidad de hacer un sistema de drenaje profundo. Asimismo, la cota superficial de lo que quedaba del lago de Texcoco, se convirtió en una amenaza para la ciudad, por lo que se tuvo que hacer más hondo para evitar inundaciones (Joint Academies Committee on the Mexico City Water Supply et al., 1995).

Actualmente, la sobreexplotación del agua subterránea que provoca el hundimiento de la ciudad es una de las amenazas más graves que presenta la ZMVM, rebasando la disponibilidad natural de la cuenca en un 173%¹ (CONAGUA, 2009), y el riesgo de grandes inundaciones, representan solo una parte de la problemática a la que se enfrenta la Ciudad de México; la creciente urbanización, el uso ineficiente del agua, el reducido tratamiento de aguas residuales y la mala gestión y administración del

¹ Para la ONU, una presión fuerte sobre los acuíferos es una explotación mayor al 40% de las capacidades naturales del cuerpo hídrico.

recurso, son otros problemas que aumentan la crisis y los retos de la Ciudad con el agua.

Desafortunadamente, los ríos de la ciudad nunca fueron considerados una posible solución para el abastecimiento de agua para la ciudad, sino por el contrario, se trataron como una amenaza de inundaciones inicialmente, y después como un peligro sanitario, optándose por ocultarlos y entubarlos favoreciendo el flujo vehicular sobre ellos.

Mala gestión

El manejo de los recursos hídricos de México es responsabilidad principal de la institución gubernamental Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) a nivel federal. Ésta es la que se encarga de realizar las políticas sobre el agua, derechos, planificación, riego, drenaje, abastecimiento y saneamiento, y manejo de desastres como las frecuentes inundaciones.

Dentro de la Ciudad de México se encarga la entidad SACM (Sistemas de Agua de la Ciudad de México) y éste desde hace años ha demostrado una ineficiencia de cobro de tal suerte que sólo recibe el pago del 40% de las facturas. El Distrito Federal tiene una de las tasas de cobro por el servicio de agua más bajas en el país, proporcionalmente es de los que menos agua tratan.

Escasez y zonas marginales

Debido al crecimiento de la ciudad por el fenómeno de expansión a partir de las periferias de la ciudad y que actualmente son ya parte de la zona metropolitana, la cantidad de población que no cuenta con conexión directa al abastecimiento de agua potable es significativo. Si bien la media *per cápita* de consumo diario en la Ciudad de México es de 314 lts/hab/día, el 77% de la población consume menos de 150lts/día. Es por eso que muchos ciudadanos en zonas marginales recurren a la compra de agua potable a través de pipas o camiones que distribuyen el servicio.

Existe también una significativa diferencia entre delegaciones del consumo y el abastecimiento de agua potable. Por ejemplo, en la delegación Cuajimalpa, ubicada al poniente de la ciudad, próxima a la zona de recarga natural de los acuíferos que pertenecen al Distrito Federal, la dotación de agua potable por habitante es de 525 lts/hab/día, mientras que en el extremo oriente, en la delegación Tlahuac la dotación es de 177lts/hab/día.

Las fuentes que abastecen la ciudad se degradan y agotan con el tiempo, y la región donde se encuentran las presas del sistema Cutzamala, encargado de importar cerca del 21% del total de agua potable a la ZMVM, en la actualidad se halla a un 45% de su capacidad, 22% menos de lo que almacenaron en años anteriores. Esta situación provoca el racionamiento de la distribución del servicio de agua potable (UNAM, 2009).

Reducido aprovechamiento de Agua pluvial

La Ciudad de México disminuye paulatinamente el agua que extrae de su propio subsuelo y aumenta la que trae de cuencas externas corriendo el riesgo, como lo corren muchas ciudades al rededor de todo el mundo, de que en algún momento

quedarse sin agua. Afortunadamente, se cuenta aún con el agua de lluvia y por la densidad de población, situación geográfica y propia climatología del Valle de México, podrían obtenerse grandes beneficios. El agua de lluvia es la más limpia, más barata y es la que provoca menos daños ecológicos para su abastecimiento (Legorreta, 2009).

Balance hídrico de la Cuenca de Valle de México

Actualmente, la infraestructura de abastecimiento de agua de la Ciudad de México está formada por dos sistemas: Lerma y Cutzamala. El sistema Lerma, que fue construido en los años 40 y que bombea cerca del 8% del abastecimiento de agua total para la ciudad; y el sistema Cutzamala que se construyó por etapas desde finales de los años 70 hasta finales de los años 90 para bombear el 21% del abastecimiento total de agua. Ambos funcionan para consumo de agua potable y para ello es transportada desde más de 200km de distancia, y se bombea hasta elevarse más de 1000 metros.

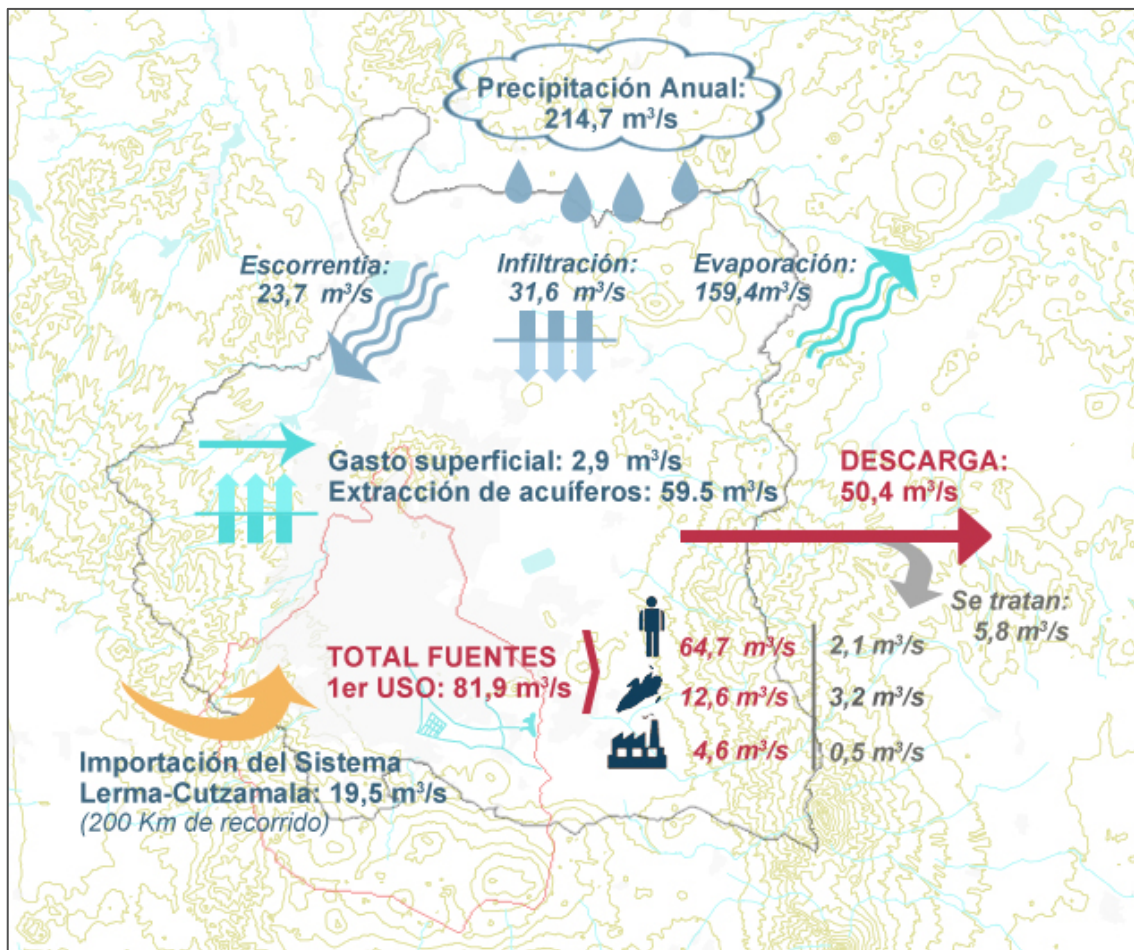


Figura 27: Balance hídrico de la Cuenca del Valle de México. Fuente: Elaboración propia a partir de CONAGUA Y CCVM, 2013.

En términos generales, la Ciudad de México gasta sustanciosas sumas de dinero en la exportación de agua limpia para potabilizar desde otras cuencas localizadas a cientos de kilómetros; así como también en la gestión y mantenimiento de infraestructura para desalojar las aguas residuales fuera. Esto también significa un elevado consumo de energía para el bombeo.

Resulta entonces de suma importancia que la ciudad busque nuevas oportunidades de replantear su gestión en cuanto a los recursos hídricos. La zona sur de la Ciudad de México representa actualmente la zona más importante de recarga de los acuíferos, y es la zona en la que aún brotan algunos manantiales y escurren a cielo abierto algunos ríos.

Aunque en los últimos cinco siglos la naturaleza lacustre del Valle de México ha sido radicalmente modificada, aún existe agua limpia en esos ríos y manantiales que podría aprovecharse (Legorreta, 2009). El Río Magdalena y su tributario el Río Eslava, son ríos que aún subsisten a cielo abierto dentro de la Ciudad de México, pero que al transitar por zonas urbanas, parte de su cauce se encuentra contaminando.

6.2 Características generales del río Magdalena y su microcuenca

El Río Magdalena nace en el cerro de San Miguel a 3.600 msnm, en una zona de bosque templado perteneciente a la Sierra de las Cruces ubicada al Sur-Oeste de la ciudad, y desemboca en el drenaje de la ciudad a aproximadamente 2.240 msnm.

La Ciudad de México está dividida en 16 demarcaciones territoriales, conocidas como Delegaciones. La cuenca del Río Magdalena se extiende principalmente en la Delegación Magdalena Contreras aunque abarca, en su nacimiento una pequeña parte del territorio de Álvaro Obregón y Cuajimalpa; y de Coyoacán en su desembocadura al drenaje de la ciudad.

La longitud total del río es de 28,2 km desde su nacimiento hasta su punto de incorporación al drenaje. De esta cifra, 14,8 km (52,5% del total) escurre por un área natural correspondiente a suelo de conservación; y 13,4 km (47,5%) en área urbana densamente poblada. De éste último, 8,8km corren a cielo abierto y 4,6km han sido entubado. El área total de la microcuenca es de 3.520,63ha, en la que viven alrededor de 107.294 hab.

Características hidrológicas

Se trata de un río perenne, con un caudal promedio de 1m³/s, pero se estima que en picos en temporada de lluvias puede llegar hasta los 20m³/s (UNAM, 2009). En la zona natural es un importante punto de recarga de los acuíferos de la ciudad. Parte de su caudal es captado por dos potabilizadoras (la segunda puesta en marcha en el 2008) con capacidades de 210 y 250L/s respectivamente. Una vez dentro del área urbana, desemboca en él un afluente (Río Eslava), el cual presenta una grave contaminación.

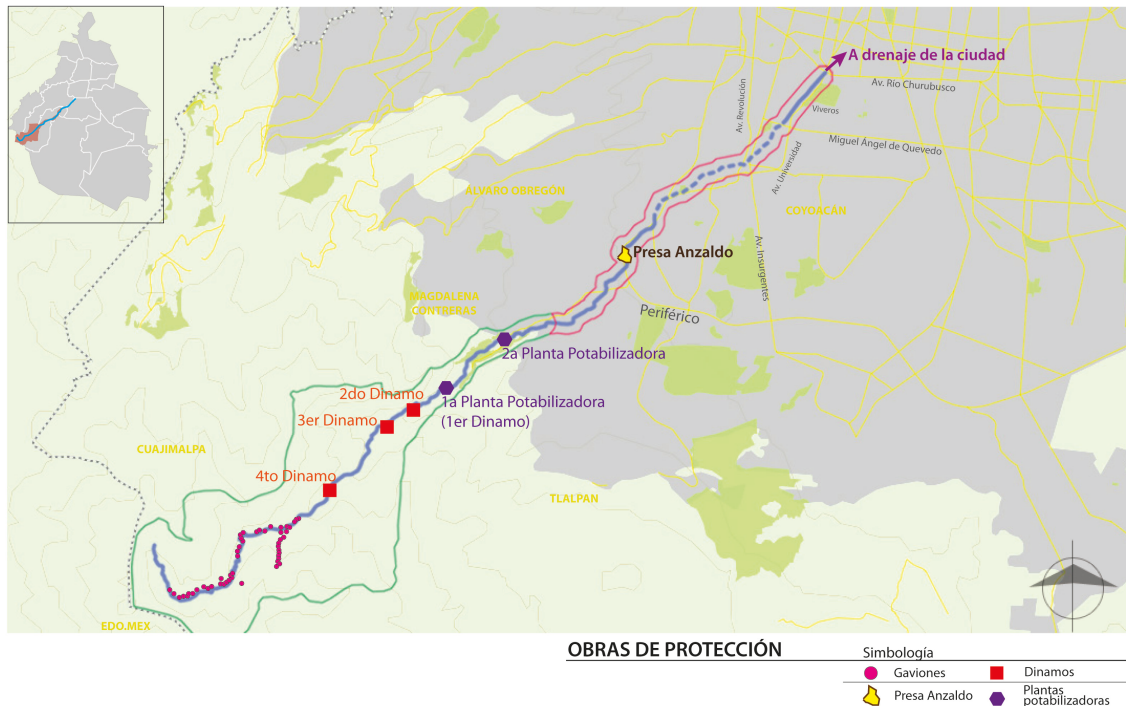


Figura 28: Plano de la microcuenca del río Magdalena. Indica estructuras de regulación. Fuente: Elaboración propia.

Corre a cielo abierto sobre su cauce natural desde el área natural en suelo conservación, y es regulado por 57 presas de gavión: 6 presas azolvadas, 4 socavadas y 47 en condiciones regulares. Entra en la zona urbana donde ha sido encauzado artificialmente hasta llegar a la presa Anzaldo. Esta última es considerada como indispensable en el control de inundaciones en el ámbito local (zona suroeste) y regional (Distrito Federal) con una capacidad de descarga de 41m³/s. Cabe mencionar que en ella desembocan 4 afluentes más de flujo intermitente. Su principal función es fungir como vaso regulador de inundaciones, aunque en los años 2008 y 2011 se ha desbordado causando serios daños materiales en la zona.

El siguiente tramo del río aguas abajo, fue entubado en la década de 1930 como parte de las obras sanidad urbana, y de esa manera atraviesa por debajo de vialidades primarias, hasta volver a salir a la superficie en un último tramo de 500m correspondiente a un área de conservación patrimonial, antes de incorporarse al drenaje de la ciudad.

Características geomorfológicas

La pendiente del río varía a lo largo de todo su cauce, presentando en la zona montañosa de su nacimiento una pendiente aproximada 6%, cerca del 10% en su cauce medio, y 2% en las zonas próximas a su desembocadura. El valle también se suaviza ligeramente, pero en cuando ingresa a la zona urbana el paisaje cambia drásticamente ya que ha sido encauzado artificialmente y se ha perdido la vegetación ribereña.

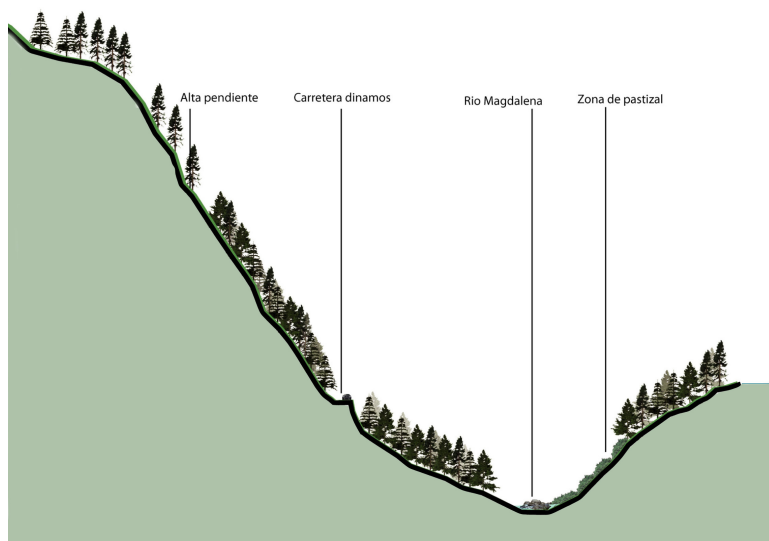


Figura 29: Sección transversal del cauce superior del Río Magdalena. Fuente: Modificado de UNAM (2008).

Calidad de agua

Dentro del área de suelo de conservación por donde fluye, el agua tiene una calidad bastante aceptable. Sin embargo, al penetrar en la zona urbana se va cargando del drenaje de las zonas aledañas, aumentado en gran medida por el Río Eslava. A lo largo de su cauce urbano se han ido proliferando asentamientos irregulares que carecen de conexiones a los colectores marginales, o se encuentran deteriorados.

Biodiversidad

La calidad de los bosques y la vegetación en el cauce alto es bastante satisfactoria, aunque se encuentra en parte amenazada por el mal uso de recursos y la tala ilegal. También es un refugio de numerosas especies terrestres endémicas de México, y cuanto ecosistemas acuáticos, el agua es utilizada para criaderos de truchas.

Tejido socio-económico, usos y actividades

A lo largo de todo su recorrido, se observa una gran diversidad social; existen núcleos agrarios, comercio, entidades de servicio público, instituciones académicas, áreas recreativas, zonas residenciales y espacios deportivos. Sin embargo, existen también zonas de riesgo que han sido ocupadas ilegalmente por pobladores con condiciones de vida muy bajas y que, precisamente, representan gran parte de la problemática principal de la contaminación del río en su cauce a cielo abierto por el área urbana.

Aunque el río ofrece un enorme potencial como punto de encuentro para desarrollar acciones y vincular el entorno natural con el paisaje urbano de una ciudad compleja, el continuo crecimiento de la mancha urbana ha propiciado el deterioro y la pérdida de servicios ecosistémicos de la cuenca (Almeida y García, 2009).

En el pasado fue utilizado como área de convivencia, y ahora en ciertas zonas de la ciudad es intransitable, inseguro, insalubre y marca un lindero que separa y confina realidades sociales diversas, desvinculadas y excluyentes en una zona carente de espacios públicos para el esparcimiento de la población (UNAM, 2009). Existe infraestructura industrial en buen estado, que aunque se han recuperado algunos, muchos han sido modificados para su reutilización como vivienda y después abandonados.

7. Análisis del Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable del Río Magdalena. México, Distrito Federal.

7.1 Proceso de planificación e implementación

En el año 2007 el Gobierno del Distrito Federal, a través de la Secretaría del Medio Ambiente, manifiesta como acción prioritaria de su gestión actuar de manera inmediata para la rehabilitación integral de las cuencas del Río Magdalena y Eslava. Para ello, fueron convocadas la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), quienes se encargarían de la elaboración de un Programa de Rescate. Por primera vez se desarrolla en la ciudad un instrumento interdisciplinario, multi-objetivo y de consenso social, sustentado por instituciones gubernamentales y académicas para restaurar y rehabilitar un río urbano.

El Programa de Rescate Integral se convirtió desde el año 2007 en el eje rector de acciones sobre la microcuenca, debiendo ser utilizado por todas las instituciones que tengan injerencia en la zona. La política de elaboración del documento fomenta la cooperación y la suma de esfuerzos por el bien común así como la coordinación interinstitucional en la toma de decisiones e implementación acciones.

Ante la complejidad del reto de abordar la problemática que presenta el Río Magdalena y su afluente el Río Eslava, y la necesidad de estudiar a profundidad ambas microcuencas, se dividieron los trabajos de tal manera que la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), a través del Programa de Estudios sobre la Ciudad (PUEC) se encargó de realizar el Plan Maestro para el Río Magdalena; y la Universidad Autónoma metropolitana (UAM), a través del Programa Universitario de Estudios Metropolitanos (PUEM), el del Río Eslava.

7.1.1 Estructura del programa

A la tarea se incorporaron más de 200 actores vinculados al rescate de las microcuencas; tales como vecinos, comuneros, ejidatarios, organizaciones no gubernamentales y grupos organizados de la sociedad. Todos los actores interesados o vinculados en cierta manera a los ríos fueron coordinados y organizados en acciones específicas de apoyo al programa, con el objetivo de obtener una visión más integral.

A este conjunto de actores se le denominó Grupo Promotor del Rescate de la Cuenca del Río Magdalena, mismo que constituyó un espacio para la expresión de los ciudadanos organizados en torno al río. Asimismo, se estableció un Grupo de Trabajo Multidisciplinario (GTM), conformado por especialistas y seis dependencias universitarias; la Facultad de Arquitectura, la Facultad de Ciencias, el Instituto de Geografía, el Instituto de Ingeniería y el Instituto de Ecología. Todas ellas bajo la coordinación del PUEC de la UNAM y el PUEM de la UAM, unidad Xochimilco.

El Plan Maestro involucró a más de 100 participantes. Desde la elaboración de los términos de referencia, se realizó un proceso abierto de aportaciones tanto de las universidades involucradas, como de los integrantes del Grupo Promotor. Una vez que se contó con los términos de referencia consensuados, se comenzó con el trabajo en noviembre de 2007.

El desarrollo del programa se llevó a cabo en tres etapas y que su vez, en cada una se establecieron distintas líneas de trabajo:

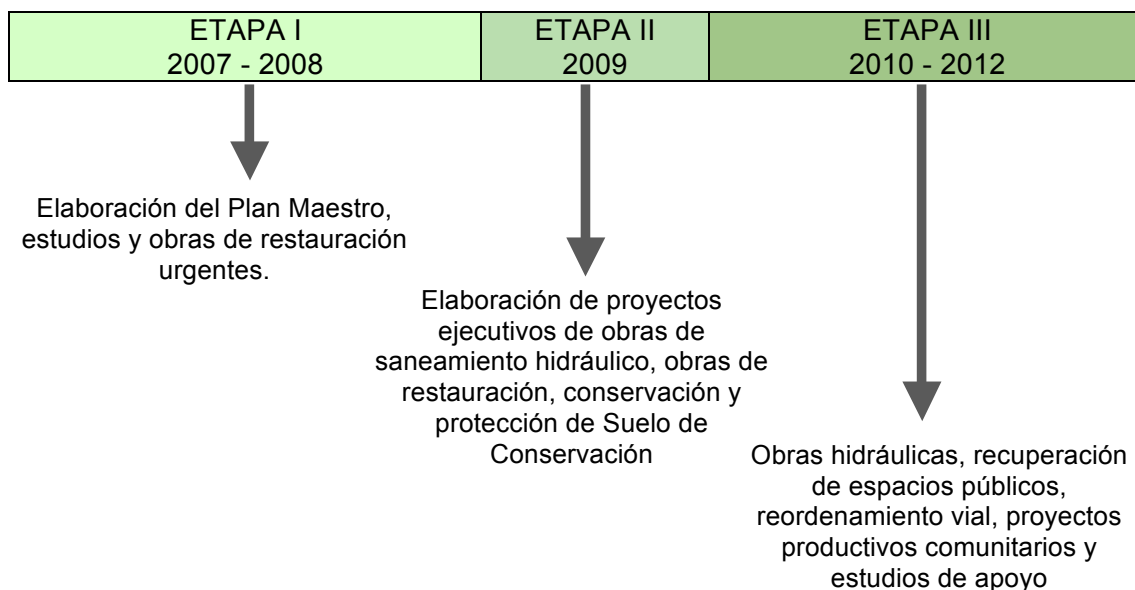


Figura 30: Etapas de desarrollo del Plan de Rescate.

Fuente: Modificado a partir de UNAM (2008).

Etapa I. Elaboración del Plan Maestro, estudios y obras de restauración urgentes. Se desarrolló a partir de cuatro Líneas de Trabajo:

- Línea de Trabajo 1. Plan Maestro; investigación y estudios.

Diagnóstico sectorial: Proceso de investigación, tanto documental como de campo. Se consideró indispensable tomar en cuenta las necesidades de la población relacionada con el río, por lo que se llevaron a cabo talleres de planeación participativa, en los que se seleccionaron muestras representativas de la gente que en diferentes ámbitos convive con los ríos Magdalena y Eslava. Todo este proceso dio como resultado un diagnóstico de las condiciones de la microcuenca del río Magdalena, y un diagnóstico de las condiciones de la microcuenca del río Eslava.

Diagnóstico integral: Una vez conformado el diagnóstico sectorial, se elaboró un documento integrador de las características más relevantes del estado actual de cada microcuenca.

Elaboración de propuesta del Plan Maestro: Después de hacer un detallado análisis y lograr el consenso entre los investigadores, en la tercera etapa se definieron las acciones que el Programa debía poner en marcha en las microcuencas de los ríos Magdalena y Eslava para el rescate de ambas corrientes.

- Línea de Trabajo II. Obras de restauración ambiental y apoyo comunitario; se determinaron trabajos de atención inmediata en la parte alta de ambas cuencas.
- Línea de Trabajo III. Estudios y Proyectos Técnicos de Apoyo

Estudios realizados:

- Diagnóstico sociopolítico y proceso de participación ciudadana para el Plan Maestro
- Percepción pública sobre el valor de la zona de conservación y diseño de mensaje
- Imagen Institucional

○ Línea de trabajo IV: Grupo de Integración Técnica

A cargo de un Grupo de Integración Técnica formada por responsables institucionales y consultores, se llevó a cabo la supervisión y coordinación de las diferentes acciones se realizaron.

Etapa II. Elaboración de proyectos ejecutivos de obras de saneamiento hidráulico, restauración y conservación; obras de restauración, conservación y protección en suelo de conservación (SC); y estudios de apoyo.

Acciones realizadas:

- Acciones de conservación
- Acciones de saneamiento hidráulico
- Recuperación de Espacios Públicos

Etapa III. Obras hidráulicas, recuperación de espacios públicos, reordenamiento vial, proyectos productivos comunitarios y obras de restauración ambiental. Conforme se obtuvieron resultados los estudios brindaron pautas anuales de actuación.

Acciones realizadas:

- Construcción de colectores marginales
- Solución hidráulica Chimalistac - Viveros
- Proyecto de paisaje y mejoramiento urbano

7.1.2 Formulación de Objetivos y Estrategias

Actualmente, el río dona varios servicios a la comunidad, pero ésta ha adoptado malas prácticas que han llevado a la degradación del curso de agua por diversas razones. Los principales usos que actualmente se le da al río son los siguientes:

- Provisión de agua potable
- Sistema de drenaje
- Vialidad primaria
- Control de inundaciones

Diagnóstico y problemática principal Río Magdalena

Mediante el Diagnóstico Sectorial realizado en la primera etapa del programa, se detectaron los siguientes aspectos positivos y negativos. Recordemos que el río transcurre por un área natural y otra urbana:

Área Natural		Área Urbana	
Aspectos positivos	Aspectos negativos	Aspectos positivos	Aspectos negativos
Suelos favorables para la infiltración	Asentamientos irregulares en el suelo de conservación	-	Descarga de aguas residuales (60 tuberías directas en temporada de estiaje)
Buen estado de cobertura vegetal (66% conservada)	Actividades económicas no reguladas como el turismo y ganadería extensiva	-	Colectores marginales rotos o en mal estado
Alta biodiversidad, particularmente especies endémicas	Erosión hídrica	-	Acumulación de basura
Presencia de 3 tipos de bosques representativos del país (Encino, Pino y Oyamel)	Tala ilegal	-	Falta de integración al desarrollo urbano
-	-	-	Problemas de accesibilidad
-	-	-	Invasión a la zona federal del cauce

Figura 31: Clasificación de aspectos positivos y negativos detectados. Fuente: UNAM (2008)



Figura 32: Río Magdalena en su cauce medio, zona urbana. Fuente: Google Street View

La zona urbana en realidad no presenta ningún aspecto positivo, por lo que resulta ser la más degradada y la que requiere de acciones más urgentes. Para establecer los objetivos del programa, se llevaron a cabo reuniones y talleres entre todos los involucrados; el Grupo Promotor y el Grupo de Trabajo Multidisciplinario para poder formular los objetivos y las estrategias a seguir. A continuación se enlistan los objetivos a partir del diagnóstico realizado.

Objetivos y ejes de intervención

Diagnóstico	Objetivos	Ejes de intervención
Estado natural del río en buen estado, pero presenta algunas amenazas	Conservar el área natural en buen estado	Biodiversidad
	Generar una oferta eco-turística y de desarrollo local sustentable	Antropización
Cauce en buen estado en área natural, pero convertido en drenaje en el área urbana	Proteger manantiales y favorecer la recarga del acuífero	Dinámica Fluvial
	Preservar la limpieza del río en el área natural	Sanemiento
Caudal regulado mediante obras de protección	Sanear el río en área urbana	Sanemiento
	Dar mantenimiento y modernizar estructuras de regulación de caudal	Dinámica Fluvial
Capacidad de aprovechamiento restringida	Proteger caudal base del río, y evitar aprovechamientos no sostenibles	Dinámica Fluvial
	Crear corredor paisajístico; uso recreativo, cultural y deportivo	Antropización
Gran potencial de creación de espacio público	Valorizar el río y convertirlo en elemento articulador del espacio urbano	Antropización
	Ordenar y normar las acciones gubernamentales y sociales en el área natural	Antropización
Estado natural presenta algunas amenazas: - Avance de la mancha urbana - No existen estrategias de manejo integral	Detener la urbanización ilegal sobre suelo de conservación	Antropización
	Integrar espacialmente proyectos detonadores del presente Plan Maestro	Antropización
	Construir un esquema flexible de implementación de proyectos, mediante coordinación interinstitucional y participación social	Otros
Diversidad de actores sociales, con disposición participativa	Evaluar implementación de Plan Maestro	Otros
	Identificar temas en los que es necesario profundizar conocimiento	Otros

Figura 33: Objetivos del Programa de Rescate del Río Magdalena, en correspondencia con los ejes de intervención definidos
Fuente: Modificado de UNAM (2008).

Dinámica Fluvial
Sanemiento
Biodiversidad
Antropización
Otros

Los objetivos del programa abordan, en mayor o menor medida, los ejes de intervención definidos anteriormente en éste documento; Dinámica Fluvial, Saneamiento (calidad de agua), Biodiversidad y Antropización. Aunque son objetivos generales, se puede observar que el mayor peso se le da a los objetivos que se refieren a la antropización; los cuales en éste programa van totalmente encaminados al aprovechamiento para espacio público recreativo, turístico y deportivo. Se incluyen además otros objetivos propios del programa.

Estrategias y ejes de intervención

Las estrategias propuestas responden a cada uno de los objetivos planteados. Asimismo, se especifican las líneas de acción que deberán ponerse en marcha.

Estrategias	Objetivos	Líneas de acción	Ejes de intervención
1. Manejo ecosistémico y desarrollo local sustentable	Conservar el área natural en buen estado	Reducir el impacto de procesos geomorfológicos degradativos (erosión de suelos)	Dinámica Fluvial
		Manejo de riesgos gravitacionales (flujo de derrubios)	Dinámica Fluvial
		Mantener e incrementar la abundancia de especies indicadoras de calidad del ambiente	Biodiversidad
		Manejo forestal sustentable	Biodiversidad
		Prevenir de incendios forestales	Biodiversidad
		Preservar la biodiversidad de cada bosque (flora y fauna)	Biodiversidad
		Fomentar la educación ambiental	Otros
	Generar una oferta ecoturística y de desarrollo local sustentable	Evaluar pago por servicios ambientales	Antropización
		Regular actividades económicas en el área natural	Antropización
		Favorecer el conocimiento sobre servicios ecosistémicos	Otros

Figura 34: Estrategia 1. Plan Maestro Río Magdalena. Fuente: Modificado de UNAM (2008).

De acuerdo a lo que Boon (1992), las estrategias que aquí define el programa se refieren más a la gestión que a la recuperación de un estado previo de equilibrio.

Dinámica Fluvial
Sanamiento
Biodiversidad
Antropización
Otros

Estrategias	Objetivos	Líneas de acción	Ejes de intervención
2. Manejo integral del río y de su cuenca hidrológica	Proteger manantiales y favorecer la recarga del acuífero	Mantener el potencial de recarga al acuífero que abastece a la ciudad	Dinámica Fluvial
	Preservar la limpieza del río en el área natural	Mantener la calidad del agua en la zona natural	Sanamiento
	Sanear el río en área urbana	Mejorar la calidad del agua en zona urbana	Sanamiento
		Evitar que el agua residual transite por el río	Sanamiento
	Dar mantenimiento y modernizar estructuras de regulación de caudal	Prevenir y proteger de inundaciones	Dinámica Fluvial
	Proteger caudal base del río, y evitar aprovechamientos no sostenibles	Aprovechar el agua de la cuenca para consumo humano	Sanamiento
		Fomentar el aprovechamiento de agua pluvial	Dinámica Fluvial
Incrementar disponibilidad y/o reducir demanda		Antropización	

Figura 35: Estrategia 2. Plan Maestro Río Magdalena. Fuente: Modificado de UNAM (2008).

Estrategias	Objetivos	Líneas de acción	Ejes de intervención
3. Revalorización urbano-paisajística del río	Crear corredor paisajístico; uso recreativo, cultural y deportivo	Crear parque periurbano como interfaz entre área natural y urbana	
		Aprovechar e integrar espacios subutilizados en los márgenes del río	
		Rescatar inmuebles de valor patrimonial como elemento rector de corredor paisajístico	
	Valorizar el río y convertirlo en elemento articulador del espacio urbano	Reducir en un 100% la presencia de basura en el cauce y márgenes del río	
		Articular las actividades del parque lineal con equipamiento urbano primario, convirtiéndolo en un elemento funcional del entorno urbano	
		Mejorar condiciones de accesibilidad	
	Modificar rutas de transporte público y fomentar transporte alternativo		

Figura 36: Estrategia 3. Plan Maestro Río Magdalena. Fuente: Modificado de UNAM (2008).

Estrategias	Objetivos	Líneas de acción	Ejes de intervención
4. Ordenamiento territorial	Ordenar y normar las acciones gubernamentales y sociales en el área	Desarrollar políticas generales de manejo y uso de suelo	
		Implementar unidades ambientales de manejo específico	
	Detener la urbanización ilegal sobre suelo de conservación	Controlar la expansión de asentamientos humanos irregulares (AHI)	
		Generar propuestas de ordenamiento urbano	
		Expropiaciones, regularizaciones y adquisiciones para usos públicos	
		Erradicar prácticas negativas de los recursos naturales	
Integrar espacialmente proyectos detonadores del presente Plan Maestro	Implementación del Plan Rector Urbano-Ambiental y Paisajístico del Río Magdalena		

Figura 37: Estrategia 4. Plan Maestro Río Magdalena. Fuente: Modificado de UNAM (2008).

5. Nueva gobernanza para la implementación y monitoreo del programa de rescate	Construir un esquema flexible de implementación de proyectos, mediante coordinación interinstitucional y participación social	Integrar nuevos proyectos ejecutivos siempre y cuando se apeguen a las plataformas estratégicas	
		Fomentar la participación social	
		Favorecer la implementación de estrategias y sus respectivos proyectos	
	Evaluar implementación de Plan Maestro	Monitorear avances y actualizar el Plan maestro	
	Identificar temas en los que es necesario profundizar conocimiento	Fortalecer la resiliencia del Plan Maestro	

Figura 38: Estrategia 5. Plan Maestro Río Magdalena. Fuente: Modificado de UNAM (2008).

Al haber identificado cada estrategia con los objetivos particulares de cada una, nos da un panorama de la relación que guarda cada eje de intervención con la cuenca en general. Esto quizás quiere decir que efectivamente las estrategias que se plantean consideran podrán incidir directamente en otros objetivos.

Las técnicas de recuperación serán analizadas en el siguiente capítulo.

Sistema de Indicadores para monitoreo de resultados

De acuerdo a lo que señala Kondolf (1998), y los criterios que señala URBEM (2004), sobre la importancia de valorar y monitorear resultados, el Plan Maestro del río Magdalena propone los siguientes indicadores:

1. Asentamientos irregulares
2. Actividades no compatibles con Plan de Ordenamiento Territorial
3. Mezcla de uso del suelo
4. Integración urbana
5. Descargas residuales
6. Impacto de infraestructura
7. Calidad de Agua
8. Tratamiento del agua
9. Caudal del río
10. Cobertura vegetal
11. Restauración forestal
12. Empleo sustentable
13. Espacios Públicos

8. Análisis de las técnicas de recuperación implementadas para el río Magdalena

8.1 Medidas en el área natural de la microcuenca

En éste apartado se retoma el énfasis que se ha establecido en el presente estudio sobre la importancia de planear y diseñar los proyectos de recuperación de ríos en base al entendimiento y estudio de procesos geomorfológicos.

Para iniciar el análisis de las técnicas de recuperación a aplicarse sobre la cuenca y el cauce del río Magdalena, se realizará inicialmente una aproximación a las características geomorfológicas del río en cuestión, aplicando la metodología de clasificación de Rosgen (1994). De ésta manera, se tendrá una perspectiva más amplia para poder analizar las técnicas de recuperación propuestas por el programa.

De acuerdo a lo establecido por *The National Council* EUA, (1992) y el proyecto URBEM (2004), ésta metodología sirve como herramienta inicial para abordar un proyecto de recuperación para un río en contexto natural.

8.1.1 Aplicación del método de clasificación diseñado por D.L. Rosgen, (1994).

Éste sistema resulta ser muy útil para entender la dinámica fluvial de varios tipos de corrientes, por lo que se ha convertido en un instrumento muy utilizado por la ingeniería y ciencias como la hidrología, la geomorfología y la biología en trabajos para la rehabilitación de ríos (URBEM, 2004).

El análisis se realizará desde un nivel I (ver Figura 3), y posteriormente se harán hacer aproximaciones al nivel II. Cabe mencionar que si bien son requeridas algunas medidas específicas que deberían ser tomadas en campo, para efectos prácticos de éste estudio se toman como referencia fotografías del río en cuestión, así como vistas en planta y secciones transversales extraídas del documento original del programa de recuperación del río Magdalena, descrito en el capítulo anterior.

Cabe señalar que la clasificación de Rosgen (1994), debe ser aplicada por tramos o segmentos del río. Sin embargo, Rosgen (1997) apunta que cualquier tramo del río debería ser comparativamente uniforme en cuanto a sus características físicas y biológicas. En éste caso, se tomará como referencia para el ejercicio el tramo comprendido entre el 3er y 2do dinamo (Ver Figura 42), correspondiente al área natural de la cuenca en la que se desarrollan mayor diversidad de actividades.

Clasificación Nivel I. Características morfológicas generales

La clasificación a éste nivel está relacionada con el relieve de la cuenca, la forma del cauce y la morfología del valle (Rosgen, 1994). Este nivel se utiliza cuando se requiere una clasificación general. Las dimensiones, patrones y perfiles se basan en información a partir de planos topográficos y fotografías aéreas.

Respecto a la vista en planta del cauce, Rosgen (1994) los clasifican como rectos, ligeramente sinuosos, sinuosos (con numerosos y pronunciados meandros), o trezados (con numerosos canales entrelazados separados por barras longitudinales

y/o transversales). En la Figura 39 se observa éste criterio. Inicialmente se determina si el cauce discurre mediante uno varios canales.

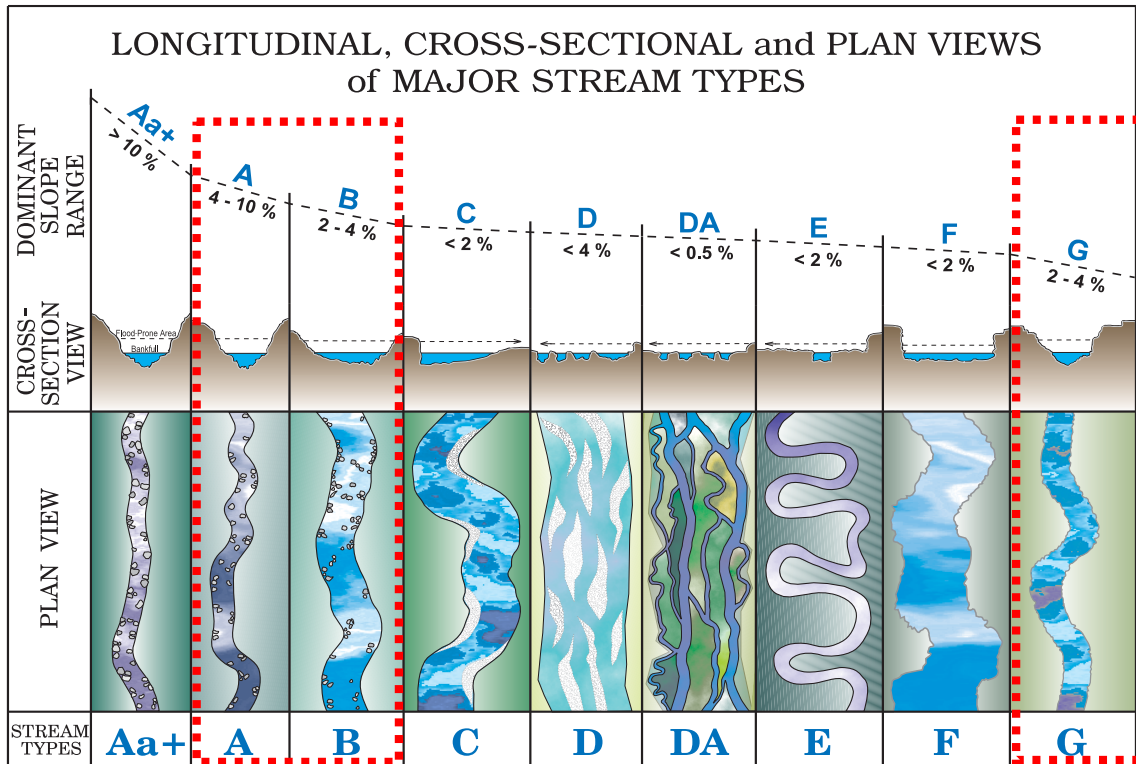


Figura 39: Aproximación inicial del cauce del río Magdalena en la clasificación.
Fuente: Modificado de Rosgen (1994, 1997).

Asimismo, en las figuras 34 y 35 se puede apreciar que el río Magdalena escurre mediante un sólo canal.



Figuras 40 y 41: Cauce de río Magdalena a la altura del 3er y 2do Dinamos.
Fuente: (Ver referencias)

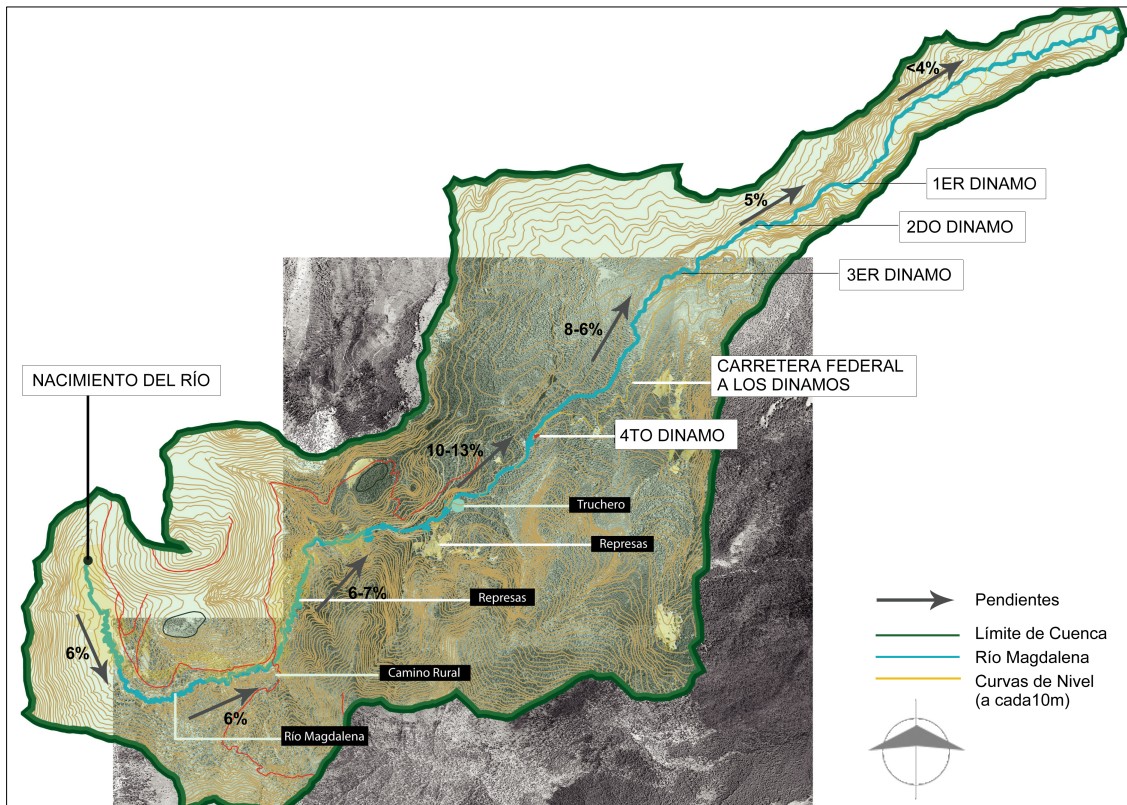


Figura 42: Topografía de la microcuenca del río Magdalena. Fuente: Modificado de UNAM et al., (2008).

En la Figura 42 se indican las pendientes que presenta el cauce, las cuales fueron calculadas mediante las curvas de nivel a cada 10m que se indican. De ésta manera, inicialmente se puede intuir que el cauce del río Magdalena se encuentra dentro de la clasificación tipo “Aa+” en la parte más alta del cauce; y “A”, “B” ó “G” en la más baja del área natural. De acuerdo a las características que considera Rosgen (1994) en su clasificación, las corrientes de tipo “A” y Aa+” generalmente presentan un cauce relativamente recto, mientras que las corrientes de tipo “B” y “G” se consideran con una ligera sinuosidad.

En cuanto al tipo de valle de la cuenca, éste sistema de clasificación permite generar una idea en base a la relación entre el ancho y la profundidad del cauce, la sinuosidad, el atrincheramiento y otras características morfológicas. Para una visión general inicial, reconocer el tipo de valle es de gran valor para éste nivel I ya que indica cierto patrón morfológico. Rosgen (1994), incluye en su sistema de clasificación la Figura 43 en la que describe características más comunes de los valles de acuerdo al tipo de corriente.

De acuerdo al primer nivel, en el que se han seleccionado los tipos “Aa+”, “A”, “B” ó “G”, tenemos que los tipos de valles relacionados podrían ser: I) Confinados, con laderas fluviales altamente disecadas en forma de V y pendientes superiores al 2%; II) Relieve moderado con pendientes suavizadas en las laderas, y con una forma parabólica en el fondo del valle (a menudo coluviales); III) Generalmente valle deposicional con pendientes superiores a 2%, de escombros coluviales o aluviales en forma de abanico; ó VII) Taludes fluviales altamente disecados y empinados, ya sea en suelo coluvial, aluvial o residual. Activa acumulación lateral o vertical.

Valley type	Description	Stream type association
I	Steep V-shaped confined, highly dissected fluvial slopes greater than 2 percent	A and Aa+
II	Moderate relief gentle sloping side slopes with a parabolic valley bottom form often in colluvial valleys	B
III	Primarily depositional, usually steep, greater than 2 percent valley slope with debris-colluvium or alluvial fan landform	A, B, G, and D
IV	Gentle gradient canyons, gorges and confined alluvial valleys such as the Grand Canyon. Valley floors are typically less than 2 percent	F
V	U-shaped glacial-fluvial troughs with slopes generally less than 4 percent. Landforms typically include lateral or terminal moraines, alluvial terraces and flood plains. Trough is typically the result of glacial scouring process	C, D, G
VI	Fault control valleys, structurally controlled and dominated by colluvial slope building processes. Moderately steep with slopes less than 4 percent. G stream types observed under fault disequilibrium	Mostly B with C and F; some G
VII	Steep highly dissected fluvial slopes typically in either colluvium, alluvium or in residual soil. Active lateral and vertical accretion (Badlands of SD)	A and G
VIII	Mature wide gently valley slopes with well developed flood plain features adjacent to river terraces. Alluvial terraces and flood plains are predominate landforms. Depending on local streambed and riparian conditions D, F, and G stream types can be found. Gentle slopes with the alluvial valley fills	C and E D, F, and G
IX	Glacial outwash and/or eolian sand dunes. Moderate to gentle slopes. High sediment supply either single- or multiple-threaded channels	C and D
X	Very broad and very gentle slopes with extensive flood plain development. Often associated with lacustrine and gentle alluvial slopes. G and F streams are common when local base grades have been changed	E or C and DA, G, and F
XI	Large river deltas and tidal flats constructed of fine alluvial materials originating from riverine and estuarine depositional processes. Extremely gentle slopes with base grade controlled by sea or lake levels. Most often distributary channels, wave, or tide dominated	DA C and E

Figura 43: Tipo de valle; descripción morfológica y asociación con el tipo de corriente. Fuente: Rosgen (1994).

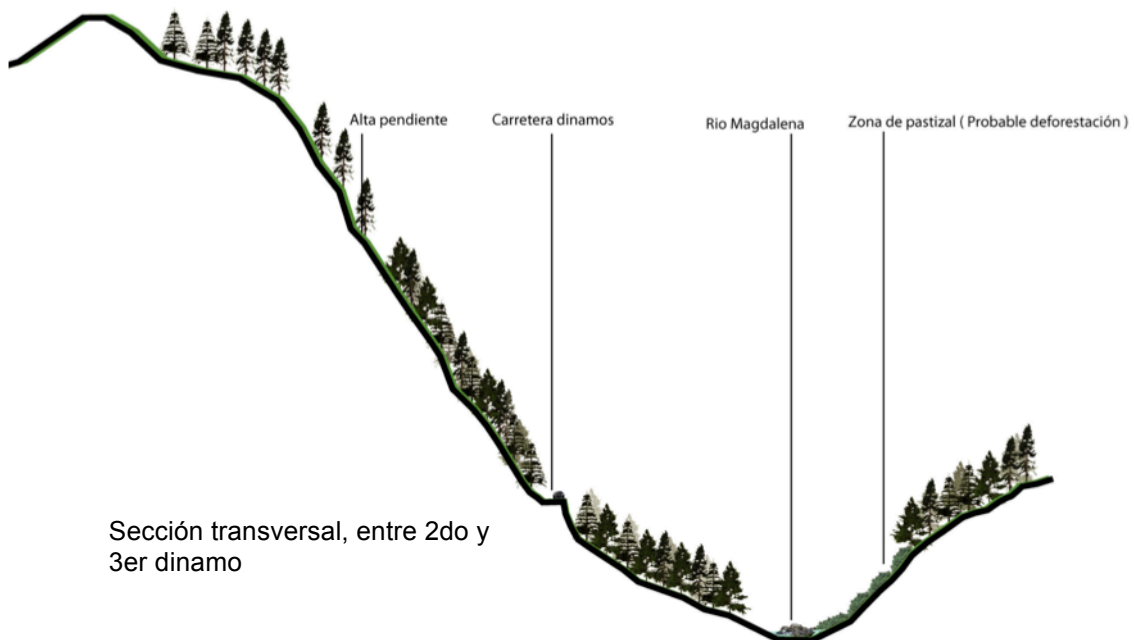


Figura 44: Secciones transversales del cauce medio del Río Magdalena. Fuente: UNAM et al., (2008).

La Figura 44 muestra secciones transversales del cauce del río Magdalena, y las Figuras 45 y 46 dan una idea de las características del valle y laderas de la cuenca en éste tramo. Esto podría indicar que la clasificación del cauce podría definirse en un tipo “B”.



Figuras 45 y 46: Valles de la cuenca del río Magdalena en su contexto natural.
Fuente: (Ver referencias).

Clasificación Nivel II. Descripción morfológica

El proceso de clasificación del nivel II proporciona una descripción morfológica basada en un análisis cuantitativo de características morfológicas, que dan pauta para la evaluación de los trabajos de restauración que se pretende hacer en un cauce. Dado que hay datos específicos con los que no se cuenta, se trabajará en hacer una aproximación a partir de material gráfico existente. Las características que toma en cuenta son las siguientes:

1. *Single or Braided Channel Determination*. Se refiere a la cantidad de canales que presenta (determinado en nivel I).
2. *Entrenchment Ratio*. Es la relación de atrincheramiento, y determina el grado de incisión del canal. En concreto, es el ancho de la zona propensa a inundaciones, dividido por el ancho de la banca llena, siendo el ancho propenso a las inundaciones calculado a una elevación de dos veces la profundidad máxima de la banca llena. Proporciones bajas indican una marcada incisión del canal; y proporciones mayores indican una llanura de inundación bien definida. Los tipos “A”, “F” y “G” son cauces incisados.

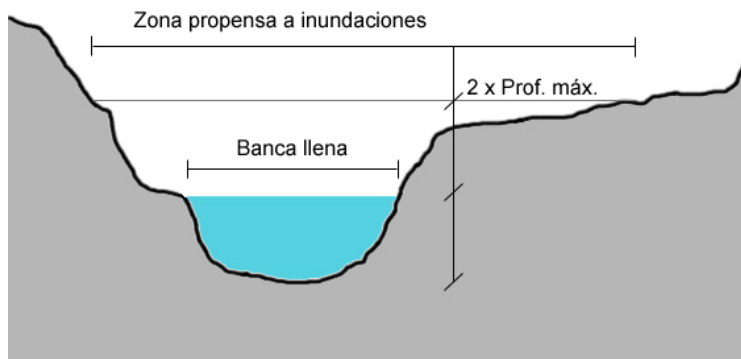


Figura 47: Esquema de la relación zona inundable/banca llena.
Fuente: Elaboración propia

3. *Width to Depth Ratio*. Relación ancho-profundidad, es el ancho de la banca llena dividida por su profundidad. Cauces con proporciones >12 son "B", "C" y "F", <12 son "A", "E" y "G".
4. *Sinuosity*. La sinuosidad es la medida de "serpenteado" del cauce, y es específicamente la longitud del canal dividida por una línea recta trazada en la longitud del valle; cuanto mayor sea el número, mayor será la sinuosidad. Está relacionada con la pendiente, siendo que en cauces con pendientes pronunciadas generalmente presentan sinuosidades bajas, y pendientes bajas suelen tener alta sinuosidad. Puede ser medida a partir de fotografías aéreas a gran escala.
5. *Water surface slope*. La pendiente de la superficie del agua es la medida desde la superficie de un rápido a la parte superior de otro, en un tramo longitudinal de al menos 20 veces el ancho del cauce aguas abajo. Esto es en esencia, la pendiente promedio. Los flujo "A" y "B" tienen las pendientes más pronunciadas y "DA" y "E" las más bajas. Sin embargo, la pendiente es muy variable entre los tipos de flujo.
6. *Median Size of the Bed Material*. La mediana de tamaño del material del lecho se utiliza para determinar la D50 del material, y se hace igualmente en un tramo longitudinal de al menos 20 veces el ancho del cauce. El tramo es dividido en sub-secciones de relación rápido-estanque, tomando un centenar de muestras de material tanto de rápidos como de estanques, de acuerdo al porcentaje de la longitud total. Por ejemplo, si el 60% del tramo corresponde a rápidos y el 40% son estanques, entonces se tomarán 60 muestras de los rápidos y 40 de los estanques.

	Size Range (mm)
Bedrock = 1	> 2.048
Boulder = 2	256 – 2.048
Cobble = 3	64 – 256
Gravel = 4	2 – 64
Sand = 5	0,062 – 2
Slit/Clay = 6	< 0,062

Figura 48: Clasificación tipo de material del lecho del río en relación a sus dimensiones Fuente: Rosgen (1994).

Tal y como se observa en la Figura 42, se puede decir que en general el cauce del río en el tramo comprendido entre el 2do y el 3er dinamo es bastante recto. Dado que es un río que discurre por zona montañosa, Rosgen (1994) considera que éstos cauces son generalmente rectos, su perfil longitudinal presenta una secuencia de rápidos y estanques, e incluso en las partes altas de la cuenca se pueden presentar cascadas. Situación presente en el río analizado (ver Figuras 40).

Por lo anterior, para éste ejercicio se considerará un cauce de sinuosidad baja (<1,2), y en cuanto a las dimensiones del material del lecho del río se considerará el número 2, basándose en el tipo de roca que se aprecia en el material gráfico (ver Figuras 40 y 34). Asimismo, con la figura 49, se pueden hacer aproximaciones de la proporción de atrincheramiento (1,4) y a de la relación ancho/profundidad del cauce (5,1).

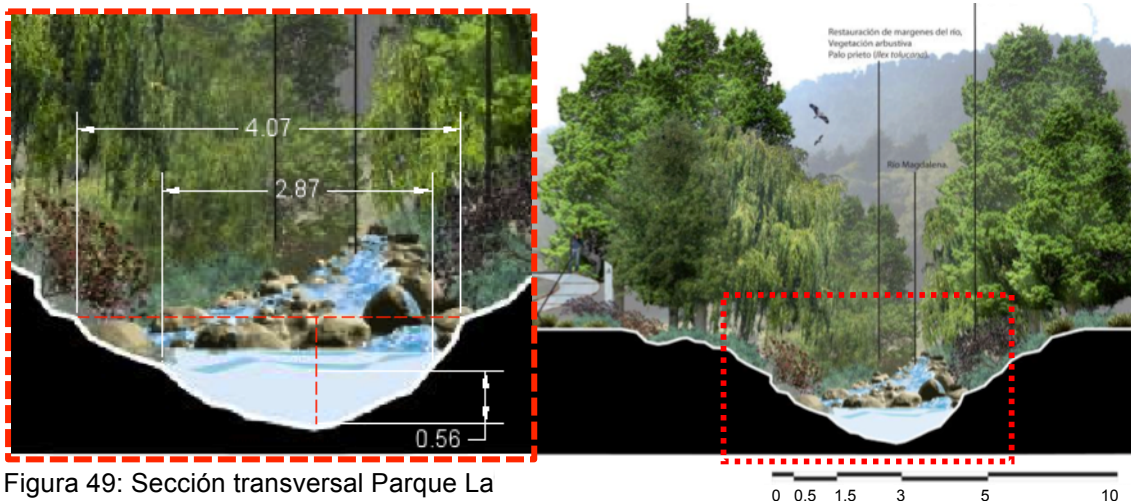


Figura 49: Sección transversal Parque La Cañada, entre 2do y 3er dinamo. Fuente: Modificado de UNAM et al., (2008)

Partiendo de tales criterios, la Figura 50 permite pasar la siguiente clasificación, contemplando el tipo de material rocoso del cauce; suponiendo entonces que el río Magdalena corresponde a una corriente de tipo "A", con una pendiente aproximada del 5%, sinuosidad <1,2 y material del lecho tipo 2.

	SINGLE-THREAD CHANNELS						MULTIPLE CHANNELS											
Entrenchment Ratio	ENTRENCHED (Ratio: <1.4)			MODERATELY ENTRENCHED (1.4 - 2.2)		SLIGHTLY ENTRENCHED (>2.2)												
Width/Depth Ratio	LOW Width/Depth Ratio (<12)		MODERATE to HIGH W/D (>12)		VERY LOW Width/Depth (<12)		MODERATE to HIGH Width/Depth (>12)		VERY HIGH Width/Depth (>40)	LOW W/D (<40)								
Sinuosity	LOW SINUOSITY (<1.2)		MODERATE SINUOSITY (>1.2)		MODERATE SINUOSITY (>1.2)		MODERATE SINUOSITY (>1.2)		VERY HIGH SINUOSITY (>1.5)	HIGH SINUOSITY (>1.2)	LOW SINUOSITY (<1.2)	LOW-HI Sinuosity (1.2-1.5)						
Stream Type	A		G		F		B		E		C		D	DA				
Slope	Slope Range		Slope Range		Slope Range		Slope Range		Slope Range		Slope Range		Slope					
	>0.10	0.04 - 0.099	0.02 - 0.039	<0.02	0.02 - 0.039	<0.02	0.04 - 0.099	0.02 - 0.039	<0.02	0.02 - 0.039	<0.02	0.02 - 0.039	0.001 - 0.02	<0.001	0.02 - 0.039	0.01 - 0.02	<0.001	<0.005
Channel Material																		
BEDROCK	A1a+	A1	G1	G1c	F1b	F1	B1a	B1	B1c			C1b	C1	C1c				
BOULDERS	A2a+	A2	G2	G2c	F2b	F2	B2a	B2	B2c			C2b	C2	C2c				
COBBLE	A3a+	A3	G3	G3c	F3b	F3	B3a	B3	B3c	E3b	E3	C3b	C3	C3c	D3b	D3		
GRAVEL	A4a+	A4	G4	G4c	F4b	F4	B4a	B4	B4c	E4b	E4	C4b	C4	C4c	D4b	D4	D4c-	DA4
SAND	A5a+	A5	G5	G5c	F5b	F5	B5a	B5	B5c	E5b	E5	C5b	C5	C5c	D5b	D5	D5c-	DA5
SILT/CLAY	A6a+	A6	G6	G6c	F6b	F6	B6a	B6	B6c	E6b	E6	C6b	C6	C6c-	D6b	D6	D6c-	DA6

Figura 50: Clave para la clasificación de Rosgen (1994) sobre los ríos naturales. Como función del continuo de variables físicas² dentro de un tramo dado de la corriente, valores de atrincheramiento y sinuosidad pueden variar en +/- 0,2 unidades; mientras que los valores de la relación ancho/profundidad pueden variar en +/- 2,0 unidades. Fuente: Rosgen (1994).

² *The River Continuum Concept*. Desde el nacimiento hasta la desembocadura de un río existen variables físicas dentro del sistema fluvial presentando un gradiente continuo que provoca determinadas respuestas dentro de las poblaciones constituyentes, que se encuentran en un continuo ajuste biótico a lo largo de todo el río (Vannote, 1980).

Se considera entonces que el tramo del río Magdalena en estudio, es un cauce de tipo atrincherado (o incisado), mediante el cual, el agua transporta con considerable energía los sedimentos, presentando a lo largo de su curso cascadas, rápidos y zonas de estanques. Los cauces con el tipo de material “2” se consideran muy estables, siempre sea el material dominante del canal. En cuanto a la topografía, se refiere a un relieve pronunciado (Figura 51).

Stream type	General description	Entrench ratio	Width-to-depth ratio	Sinuosity	Slope	Landform/soils/features
Aa+	Very steep, deeply entrenched, debris transport streams	<1.4	<12	1.0 – 1.2	>.10	Very high relief. Erosional, bedrock, boulder, or depositional features; debris flow potential. Deeply entrenched streams. Vertical steps with deep scour pools; waterfalls
A	Steep, entrenched, cascading, step-pool streams. High energy/debris transport with depositional soils. Very stable if bedrock or boulder-dominated channel	<1.4	<12	1.0 – 1.2	.04–.10	High relief. Erosional bedrock forms. Entrenched and confined streams with cascading reaches. Frequently spaced, deep pools in associated step-pool bed morphology
B	Moderately entrenched, moderate gradient dominated channel, with infrequently spaced pools. Very stable plan and profile. Stable banks	1.4 – 2.2	>12	>1.2	.02–.039	Moderate relief, colluvial riffle deposition, and/or residual soils. Moderate entrenchment and width-to-depth ratio. Narrow, moderately sloping valleys. Rapids predominate with occasional pools
C	Low gradient, meandering point-bar, riffle-pool, alluvial channels with broad, well-defined flood plains	>2.2	>12	>1.4	<.02	Broad valleys w/terraces, in association with flood plains, alluvial soils. Slightly entrenched with well-defined meandering channel. Riffle-pool bed morphology
D	Braided channel with longitudinal and transverse bars. Very wide channel with eroding banks	N/a	>40	N/A	<.04	Broad valleys with alluvial and colluvial fans. Glacial debris and depositional features. Active lateral adjustment with abundance of sediment supply
DA	Anastomosing (multiple channels) narrow and deep with expansive well-vegetated flood plain and associated wetlands. Very gentle relief with highly variable sinuosity's, stable streambanks	>4.0	<40	Variable	<.005	Broad, low-gradient valleys with fine alluvium and/or lacustrine soils. Anastomosed (multiple channel) geologic control creating fine deposition with well-vegetated bars that are laterally stable with broad wetland flood plains. Stream type common in estuaries
E	Low gradient, meandering riffle-pool stream with low width-to-depth ratio and little deposition. Very efficient and stable. High meander width ratio	>2.2	<12	>1.5	<.02	Broad valley/meadows. Alluvial materials with flood plain and/or lacustrine soil. Highly sinuous with stable well-vegetated banks. Riffle-pool morphology with very low width-to-depth ratio
F	Entrenched meandering riffle-pool channel on low gradients with high width-to-depth ratio	<1.4	>12	>1.4	<.04	Entrenched in highly weathered material. Gentle gradients usually less than .02 ft/ft, but may range up to .04 ft/ft with a high width-to-depth ratio. Meandering, laterally unstable with high bank erosion rates. Riffle-pool morphology.
G	Entrenched gully step-pool and low width-to-depth ratio on moderate gradients	<1.4	<12	>1.2	.02–.039	Gully, step-pool morphology with moderate slopes and low width-to-depth ratio. Narrow valleys, or deeply incised in alluvial or colluvial materials (fans or deltas). Unstable with grade control problems and high bank erosion rates

Figura 51: Descripción general por tipo de río en relación a los criterios generales de la clasificación. Fuente: Rosgen (1994).

A partir de las consideraciones hechas en el tramo del río en cuestión, la figura 52 nos permite hacer interpretaciones sobre la estabilidad del cauce, medidas de gestión y recomendaciones para los trabajos de restauración. Esta clasificación tiene como objetivo proporcionar una visión más amplia sobre el suministro de sedimentos, la sensibilidad del río a la perturbación y el potencial de recuperación natural ante un cambio de régimen (Rosgen, 1994).

Stream type	Sensitivity to disturbance ^{1/}	Recovery potential ^{2/}	Sediment supply ^{3/}	Streambank erosion potential influence ^{4/}	Vegetation controlling
A1	Very low	Excellent	Very low	Very low	Negligible
A2	Very low	Excellent	Very low	Very low	Negligible
A3	Very high	Very poor	Very high	High	Negligible
A4	Extreme	Very poor	Very high	Very high	Negligible
A5	Extreme	Very poor	Very high	Very high	Negligible
A6	High	Poor	High	High	Negligible
B1	Very low	Excellent	Very low	Very low	Negligible
B2	Very low	Excellent	Very low	Very low	Negligible
B3	Low	Excellent	Low	Low	Moderate
B4	Moderate	Excellent	Moderate	Low	Moderate
B5	Moderate	Excellent	Moderate	Moderate	Moderate
B6	Moderate	Excellent	Moderate	Low	Moderate
C1	Low	Very good	Very low	Low	Moderate
C2	Low	Very good	Low	Low	Moderate
C3	Moderate	Good	Moderate	Moderate	Very high
C4	Very high	Good	High	Very high	Very high
C5	Very high	Fair	Very high	Very high	Very high
C6	Very high	Good	High	High	Very high
D3	Very high	Poor	Very high	Very high	Moderate
D4	Very high	Poor	Very high	Very high	Moderate
D5	Very high	Poor	Very high	Very high	Moderate
D6	High	Poor	High	High	Moderate
DA4	Moderate	Good	Very low	Low	Very high
DA5	Moderate	Good	Low	Low	Very high
DA6	Moderate	Good	Very low	Very low	Very high
E3	High	Good	Low	Moderate	Very high
E4	Very high	Good	Moderate	High	Very high
E5	Very high	Good	Moderate	High	Very high
E6	Very high	Good	Low	Moderate	Very high
F1	Low	Fair	Low	Moderate	Low
F2	Low	Fair	Moderate	Moderate	Low
F3	Moderate	Poor	Very high	Very high	Moderate
F4	Extreme	Poor	Very high	Very high	Moderate
F5	Very high	Poor	Very high	Very high	Moderate
F6	Very high	Fair	High	Very high	Moderate
G1	Low	Good	Low	Low	Low
G2	Moderate	Fair	Moderate	Moderate	Low
G3	Very high	Poor	Very high	Very high	High
G4	Extreme	Very poor	Very high	Very high	High
G5	Extreme	Very poor	Very high	Very high	High
G6	Very high	Poor	High	High	High

1/ Includes increases in streamflow magnitude and timing and/or sediment increases
2/ Assumes natural recovery once cause of instability is corrected
3/ Includes suspended and bed load from channel derived sources and/or from stream adjacent slopes
4/ Vegetation that influences width-to-depth ratio stability

Figura 52: Interpretaciones para la gestión de varios tipos de río. Fuente: Rosgen (1994, 1997).

El flujo de tipo “A2” se describe como poco sensible a alteraciones hechas en el cauce y un alto potencial de recuperación. Asimismo, señala que el potencial de erosión sobre los márgenes y la vegetación ribereña tienen poca influencia en la estabilidad del cauce. Esto se relaciona con lo mencionado anteriormente respecto al tipo de material del cauce, cuya estabilidad depende en gran medida del tipo de roca presente. Se asocia a una corriente enérgica la cual puede ser disipada en los rápidos y zonas de estanques que se presentan, y muestran un alto potencial de transporte de sedimentos pero poca capacidad de almacenamiento.

Rosgen stream type	Watershed type	Sediment load	Energy of stream	Energy dissipation in stream is typically by:	May be appropriate for design in:
A	Typically associated with steep, narrow mountain valleys. Bank vegetation is typically a low component of stability	High	High	Step pool	<ul style="list-style-type: none"> • Upper order urban streams (A2 and A3) • Grade control (A2)
B	Associated with narrow, gently sloping valleys. Bank vegetation is a moderate component of stability	Low to moderate	High	On banks and bed materials	<ul style="list-style-type: none"> • Urban streams (B2 and B3) • Grade control (B2 and B3) • Transition from flood plain to incised streams (B2, B3, B2c, and B3c) • Limited flood plain width (B and Bc) • Bottom incised streams (B and Bc)
C	Associated with broad, valleys with terraces and alluvial soils. Bank vegetation will typically have a high component of stability	High	Moderate	Through meanders, bedforms, and vegetation	Rural and urban streams with broad flood plains. However, these typically require bank protection and grade control during establishment of vegetation
D	Associated with broad valleys, glacial debris, and alluvial fans. Active lateral adjustment with abundant sediment supply. Vegetation will typically have limited influence on stability	High	Low to moderate	Banks and sediment	Normally not recommended
E	Often associated with broad valley meadows and well vegetated flood plains. Vegetation is typically a high component of stability	Very efficient at carrying sediment	Low	Through meanders, bedforms, and vegetation	Rural and urban streams with broad flood plains. However, these types may be difficult to construct due to low width-to-depth ratio and need for vegetation for stability especially on larger streams
F	Associated with modified channels and unstable channels	Low to very high	Low to moderate	Banks, vegetation, and sediment	Normally not recommended. These stream types can be laterally unstable with high bank erosion rates
G	Associated with narrow valleys or deeply incised in alluvial or colluvial materials such as fans or deltas	Low to very high	Moderate to high	Banks, vegetation, and sediment	Normally not recommended. These stream types can be laterally unstable with grade control problems and high bank erosion rates

Figura 53: Resumen de las características de los tipos de flujo por las condiciones de las cuencas hidrográficas. Fuente: Rosgen (1994, 1997).

La

Figura 53 arroja información importante sobre el tipo de gestión sobre el cauce. De acuerdo a las características correspondientes para el tipo de cauce "A2" (en éste caso el asignado al río Magdalena), resulta ser compatible con proyectos relacionados en ríos urbanos. Otro aspecto importante a resaltar, es que puede ser controlada su pendiente. Los ríos que presentan grandes piedras de canto rodado, ya sea en el lecho o en los márgenes, son más estables que una corriente que escurre por un material de textura más fina, debido a la mayor resistencia y textura tan gruesa de la roca (Rosgen, 1994).

Por último, Rosgen (1997), indica que los cauces que se encuentran incisados (como es el caso de nuestro río), si se presentan en algún momento erosión de los

márgenes, la medida que suele tomarse para mitigarlo es el de estabilizar el cauce mediante gaviones, rocas y métodos de bio-ingeniería. Esto tiene algunas ventajas como: el volumen a excavar es mínimo, y la extensión de tierra para restaurarlo también. Como desventajas indica el alto costo para estabilización, riesgos por velocidad de flujo y una limitada cantidad de hábitats acuáticos.

8.1.2 Técnicas del programa original y consideraciones. Área natural

Dinámica Fluvial

Dinámica Fluvial			
Diagnóstico	Problemática	Proyecto	Técnicas de rehabilitación
Procesos degradativos en los suelos	Procesos erosivos de tipo hídrico y eólico especialmente en las laderas de montaña	Estabilización de laderas	<ul style="list-style-type: none"> > Construcción de 1,000 m³/año de bordos en 150 ha > Plantación de pastos amacollados en áreas terrazadas > Reforestar 500 ha con pinos > Mantenimiento de caminos y senderos > Apertura de 2,000 tinajas ciegas para la captación de agua
	Caudal regulado por 57 presas de gavión, mampostería y piedra acomodada	Nueva presa Magdalena Mantenimiento a estructuras existentes	<ul style="list-style-type: none"> > Nueva presa de regulación cauce alto > Muros de contención en lugar de costaleras > Rediseño de presas gavión: 6 azolvadas, 4 socavadas, 47 normales > Regular actividades en terrazas aluviales
	Falta potenciar recarga del acuífero	Recarga al acuífero	<ul style="list-style-type: none"> > Cajas de manantial > Tinajas ciegas > Trincheras de infiltración > Pozos de absorción > Estaciones de monitoreo

Consideraciones:

La parte alta de la cuenca presenta un problema de deforestación en zona de laderas; se propone la reforestación del área y la plantación de pastos amacollados que evitarán que el material desprendido se incorpore al cauce.

El cauce del río Magdalena se encuentra regulado mediante presas de gavión y mampostería en su cauce superior; y en su cauce medio mediante una presa con capacidad de 1.5 millones de m³ (Presa Anzaldo en el área urbana). La presa de gavión tiene la función de regular la cantidad de material de transporte del río, ya que presenta en el cauce alto casos de erosión hídrica en los márgenes, por lo que se contempla también la construcción de bordos para evitar que continúe éste proceso erosivo.

La construcción de una nueva presa se propone en el cauce alto 175 000 m³; cuya función será controlar riesgos por inundación en la zona urbana.

Propuesta:

Para reducir el riesgo de inundaciones en el cauce medio y bajo del río, podrían colocarse zonas de humedales en el área de transición entre el área natural y el área urbana como medio regulador. Traería otros beneficios en cuanto a calidad de agua y biodiversidad.

Saneamiento

Saneamiento (Calidad de Agua)			
Diagnóstico	Problemática	Proyecto	Técnicas de rehabilitación
Actividades económicas, recreativas y religiosas no reguladas	Compactación de suelo, acumulación de basura y pérdida de cobertura vegetal en senderos	Puntos de recolección de residuos Recuperación de vegetación ribereña	> Contenedores en puntos recuperados > Talleres de contención y control de prácticas sociales negativas > Plantación de vegetación ribereña
	Contaminación del agua	Sanemiento del cauce	> Plantación de vegetación ribereña > Promover cultivo orgánico > Establecer zonas de bebederos específicos para ganadería
Riesgo de incendios forestales de gran magnitud	Áreas incendiadas sin restauración.	Mejoramiento de estrategias de protección contra incendio	> Realizar inventario de combustibles vegetales > Planes y torres de vigilancia
	Incremento de visitantes sin control de fogatas		> Restringir uso fogatas

Consideraciones:

Se da importancia a la recuperación de la vegetación ribereña, la cual se propone como método de retención de contaminantes en el cauce ocasionados por las actividades no reguladas (Connin, 1991). Asimismo, se están zonificando actividades ganaderas y promoviendo actividades de cultivo orgánico con objeto de reducir fuentes no puntuales de contaminación.

En la zona de transición entre la zona natural y la zona urbana, se detecta que el agua del río presenta indicadores de contaminación más elevadas.

Propuesta:

Con la implementación de sistemas de humedales u otros métodos de BMP, además de generar un espacio propenso a la población de hábitats ribereños, el agua que se dirige a la potabilizadora podría llegar más limpia. Asimismo, serviría para mitigar casos de crecidas e inundaciones.

En las zonas de actividades ecoturísticas (zona de transición entre área natural y urbana), podría fomentarse el uso de letrinas secas.

Biodiversidad

Biodiversidad			
Diagnóstico	Problemática	Proyecto	Técnicas de rehabilitación
Falta de manejo ecosistémico de los recursos forestales:	Bajos niveles de regeneración en bosque de pino y encino	Protección de flora y fauna	> Establecer parcelas fijas de pino, oyamel y encino (3.000 individuos a corto plazo)
	Existencia de especies invasoras de plantas		> Vivero. Introducción de especies nativas
	Presencia de plagas como muérdago, descortezador y barrenador		> Reproducción de especies nativas en invernaderos y en campo
	Reforestación con especies exóticas.		
Disminución de biodiversidad y especies endémicas	Extracción no regulada de plantas, aves de importancia comercial y macromicetos comestibles.	Impulso y mejoramiento de actividades económicas	> Instalación de invernaderos (flores, hortalizas, setas) como actividad económica sustentable
	Disminución poblacional de vertebrados y ecosistemas acuáticos (ajolote)	Protección de flora y fauna	> Implementación de criaderos
Actividades económicas no controladas y/o ilegales en suelo de conservación	14% De la cuenca son bosques perturbados por pastizales inducidos para el pastoreo extensivo	Centro de capacitación ambiental	> Apoyo y control a actividad piscícola (truchas)
	Tala ilegal y extracción de leña	Centros de cultura ambiental	> Reglamentos específicos por actividad existente
Actividades turísticas, recreativas y religiosas no reguladas	Pérdida de la cubierta vegetal, principalmente arbustivos y herbáceos	Restauración ambiental participativa	> Precisar impacto ambiental
Riesgo de incendios forestales de gran magnitud	Áreas abiertas con pastizales altamente inflamables.	Monitoreo de servicios ecosistémicos	> Formación técnica
	Bosques con concentración de combustibles vegetales	Programa de manejo forestal	> Becas para comuneros
			> Museo de sitio
			> Reproducción de especies nativas en invernaderos y en campo
			> Realizar inventario de combustibles vegetales
			> Planes y torres de
			> Restringir uso fogatas

Consideraciones:

Si bien la metodología de Rosgen (1994), nos ha hecho una aproximación a que éste tipo de río no cuenta con muchos hábitats acuáticos, hay ecosistemas que se caracterizan por subsistir en lugares donde la corriente del río es continua. El hecho de tener las estructuras de regulación, tales como los gaviones y la propuesta de la nueva presa, representan límites para ello. Asimismo, dependen de algunos sedimentos de las corrientes para el desove.

Propuesta:

Realizado el inventario de combustibles vegetales, podría estudiarse y promoverse el uso de biomasa no solo en las actividades del parque, sino para las comunidades vecinas en las viviendas con escaso acceso a servicios básicos.

Antropización

Antropización (Usos y Actividades)			
Diagnóstico	Problemática	Proyecto	Técnicas de rehabilitación
Actividades turísticas, recreativas y religiosas no reguladas	Daño y mal uso de los vestigios industriales	Parque Eco -Turístico	<ul style="list-style-type: none"> > Redes de montañismo > Área de campamentos > Procurar el contacto con el río en zonas de escenarios naturales de valor paisajístico (cascadas, estanques) > Rutas de ciclismo de montaña > Ciclovías
	Comercio informal durante los fines de semana		
Actividades económicas no controladas y/o ilegales en suelo de conservación	Asentamientos irregulares en suelo de conservación	<p>Reubicación de AHI en alto y moderado riesgo por deslave</p> <p>Implementación de programas de gestión social de los recursos naturales de la cuenca</p>	<ul style="list-style-type: none"> > Zonificación: asentamiento con restricciones a la ocupación; de recuperación ecológica; y de reforestación > Talleres de contención y control de prácticas sociales negativas > Comités ciudadanos de vigilancia, conservación y manejo de los recursos de la cuenca

Consideraciones:

Implementando la propuesta de zona de humedales u otras BMP para mitigar las concentraciones de agua, las actividades recreativas y turísticas que se lleven a cabo en ésta zona pondrán familiarizarse con éste tipo de sistemas.

La zonificación hecha en éste espacio, responde a la propuesta de Decler (2000) del plan '*Zoning plans*' *A new policy tool for Integrated Water Management of Flemish Waterways*.

8.2.1 Técnicas del programa original y consideraciones. Área Urbana

Dinámica Fluvial

Dinámica Fluvial			
Diagnóstico	Problemática	Proyecto	Técnicas de rehabilitación
Río regulado mediante obras de protección	Presas de gavión, mampostería y piedra comodada (Área natural)	Nueva presa Magdalena Mantenimiento a estructuras existentes	> Nueva presa de regulación cauce alto > Muros de contención en lugar de costaleras > Evaluación de presas gavión: 6 azolvadas, 4 socavadas, 47 normales > Regular actividades en terrazas aluviales
	La capacidad de la Presa Anzaldo se ha reducido (actualmente 41m ³ /s)	Mantenimiento presa Anzaldo	> Desazolves anuales de la Presa Anzaldo > Mantenimiento de equipos > Colector desde el túnel de la presa Coyotes y Texcalatlaco > Garantizar los niveles requeridos para el desarrollo de infraestructura de los proyectos de arquitectura de paisaje.
Capacidad de aprovechamiento restringida	Sobreestimación caudal del río (1m ³ /s)	Monitoreo de servicios ecosistémicos	> Calidad de agua > Cantidad de agua > Campañas de medición de los caudales en el río > Comisión reguladora de actividades futuras de consumo de agua en la cuenca.
	1ra Potabilizadora (210L/s) 2da Potabilizadora (250L/s) (no se realizaron estudios de impacto ambiental)	Aprovechamiento sustentable de una parte del caudal para agua potable	

La presa Anzaldo regula el caudal en el tramo medio del río, dentro de la zona urbana. Se encuentra a un costado de una de las vialidades principales más transitadas de la ciudad y actualmente presenta deficiencias; se han presentado casos de desbordamiento³ en temporadas de lluvia. El programa propone la construcción de una nueva presa en el cauce alto (área natural) del río para controlarlo.

Wenger et al. (2009) indica éstos síntomas de alteraciones hidrológicas, pueden deberse a varios motivos como a la reducida área permeable que presenta la cuenca en zona urbana y a la reducida evapotranspiración por pérdida de vegetación, entre otros.

El área urbana de la cuenca cuenta con muy pocas áreas verdes. Adicionalmente, la densidad de vivienda construida no permite interconectar con facilidad las áreas verdes existentes para retardar el flujo de agua de escorrentía, como propone el mismo autor.

Consideraciones:

1. Adicionalmente a las consideraciones en el área natural, en la zona urbana podría considerarse la repavimentación de calles con materiales semi-permeables, así como fomentar el uso de cubiertas verdes que favorecieran la captación y la evapotranspiración.
2. La presa Anzaldo no recibe sólo el agua del río Magdalena; existen dos

³ El último desbordamiento se registra en 2011. Tres años antes en 2008, se registra el más grave, causando daños materiales.

escurrimientos entubados más que no están contemplados en el área delimitada como cuenca. Debería incluirse el análisis de la zona que éstos drenan para aplicar medidas similares.

Saneamiento

Saneamiento (Calidad de Agua)			
Diagnóstico	Problemática	Proyecto	Técnicas de rehabilitación
Calidad del agua deteriorada por aguas residuales	Tuberías de descarga directa al río (60uds)	Tratamiento de aguas residuales	> 4 Plantas de tratamiento (180L/s). Usos: riego, recreación y régimen del río
	Drenaje subterráneo y marginal fracturado		
	Falta de vigilancia (Normas NOM-001 y NOM-002-ECOL-1996)	Rehabilitación y construcción de colectores marginales	> 12 Tramos de colectores marginales
	Después de la 1ra Potabilizadora el agua es turbia y sucia: DBO ₅ : 2 - 63 mg/L Coliformes: 6x10 ⁶		
	Incorporación del cauce de la Barranca Texmaloya		
En la presa Anzaldo el agua está muy contaminada: DBO ₅ : > 51 mg/L Coliformes: 4x10 ⁷ UFC/100mL	Propuestas de tecnologías idóneas para manejo de aguas residuales	> Sistemas de tratamiento biológico aerobio y fisicoquímico > Evaluación de costos y potencial de uso	
	Incorporación del Río Eslava (principal contaminante)	Subprograma de saneamiento, restauración de cauces y manejo de aguas residuales del río Eslava	> Implementación de drenaje separativo en su cuenca > Sustitución y mejoramiento de red de atarjeas y colectores marginales > Regulación de pastoreo > Sistemas de captación y aprovechamiento de agua pluvial
Río oculto y desvalorizado	Falta de infraestructura para confinamiento de residuos sólidos	Puntos de recolección de residuos	> Contenedores en puntos recuperados > Reestructuración de rutas de recolección > Talleres de separación de basura

Consideraciones:

No fue realizado el estudio de temporada de lluvias por falta de presupuesto.

Para el saneamiento del cauce del río Magdalena, se contempla inicialmente la construcción de 4 plantas de tratamiento (actualmente no existe ninguna). Adicionalmente se planean colectores marginales colocados paralelamente al cauce del río para servir a la población vecina. Estos colectores si no fueron diseñados contemplando la época de lluvias, corren el riesgo de desbordarse (Wenger et al., 2009), provocando la contaminación del cauce que se pretende sanear.

1. Al igual que fue contemplado en la cuenca del río Eslava, podría implementarse un sistema de drenaje separativo.
2. Viviendas dentro de la cuenca podrían adoptar el uso de tanques sépticos bien diseñados y eficientes.

Biodiversidad

Biodiversidad			
Diagnóstico	Problemática	Proyecto	Técnicas de rehabilitación
Río oculto y desvalorizado	Invasión consolidada a la zona federal del río Magdalena	Redefinición del límite de Zona Urbana y Suelo de Conservación Monitoreo del límite redefinido	> Especificar normas de uso del suelo y de intensidad de uso en zona urbana
		Implementación de programas de gestión social de los recursos naturales de la cuenca.	> Declaratoria del área natural de la cuenca como Patrimonio Natural de la Ciudad de México > Talleres de contención y control de prácticas sociales negativas > Comités ciudadanos de vigilancia, conservación y manejo de los recursos de la cuenca
Crecimiento de la mancha urbana sobre el suelo de conservación	Asentamientos Humanos Irregulares (AHI): Cazulco-Ocotenco, Sayula, Los Dinamos y Ocotal.	Reubicación de AHI en alto y moderado riesgo por deslave	> Zonificación: asentamiento con restricciones a la ocupación; de recuperación ecológica; y de reforestación > Programa de conscientización
	Los Dinamos incluye actividad comercial y crecimiento disperso	Impulso y mejoramiento de actividades económicas	> Reglamentos específicos por actividad existente > Precisar impacto ambiental

Consideraciones:

En el área urbana del río, la vegetación ribereña funciona como un filtro ante contaminantes provenientes del agua de escorrentía. Sin embargo el ancho de la zona vegetada a los márgenes del río es muy estrecha. Son pocas las áreas verdes que se encuentran próximas al cauce.

Adicionalmente, los sistemas de regulación de caudal existentes retienen sedimentos que podrían ser un obstáculo importante para el desarrollo de hábitats tanto acuáticos como ribereños. De ésta manera, el río dentro de la ciudad se convierte en un canal cuya función será recreativa y al final de su recorrido usada para riego.

Antropización

Antropización (Usos y Actividades)			
Diagnóstico	Problemática	Proyecto	Técnicas de rehabilitación
Río oculto y desvalorizado	Construcción de bardas que evitan su apreciación	Parque lineal (I Sección) Parque lineal (II Sección)	<ul style="list-style-type: none"> > Senderos peatonales promoviendo el uso de la zona. > Paseo escultórico > Ubicación estratégica de estacionamientos > Sendero peatonal sobre el tramo del nuevo colector marginal > Ampliación de la ruta de la ciclopista. > Dotar de áreas recreativas y servicios asociados al río > Corredor urbano, paisajístico y ambiental con senderos peatonales, espacios públicos, miradores y ciclopistas > Restauración de vegetación ribereña
	Presencia de espacios e inmuebles subutilizados o abandonados		<ul style="list-style-type: none"> > Incorporación de inmuebles inutilizados > Huertos urbanos > Se incorporará el patrimonio histórico e industrial.
	Zonas inseguras cercanas al cauce del río	Parque lineal (I Sección) Parque lineal (II Sección)	<ul style="list-style-type: none"> > Creación de nuevos accesos al río Magdalena > Reforzar la seguridad pública por medio de vigilancia constante del parque lineal y zonas aledañas
	Falta de zonas de descanso y acceso peatonal al río	Diseño de nuevas rutas de transporte público Rutas de transporte turístico	<ul style="list-style-type: none"> > Nuevas rutas conectoras > Nuevos sentidos viales para mejorar llegada al área natural de la cuenca del río > Señalización para indicar los equipamientos importantes. > Fomentar uso de bicicleta
Crecimiento de la mancha urbana sobre el suelo de conservación	Asentamientos Humanos Irregulares (AHI): Cazulco-Ocotenco, Sayula, Los Dinamos y Ocotal.	Zonificación de usos	<ul style="list-style-type: none"> > Zona de conservación y restauración > Zona de aprovechamiento sustentable > Zona de uso público regulado > Zona de uso público restringido
	AHI instalados en barrancas y zonas de riesgo.	Reubicación de AHI en alto y moderado riesgo por deslave	<ul style="list-style-type: none"> > Zonificación: asentamiento con restricciones a la ocupación; de recuperación ecológica; y de reforestación > Alternativas de terrenos disponibles para la reubicación de los habitantes desalojados > Plan de mejoramiento de viviendas precarias > Programa de conscientización
	Los Dinamos incluye actividad comercial y crecimiento disperso		

Consideraciones:

Se propone abrir senderos que conecten distintos inmuebles a lo largo del río con el objetivo de mejorar la accesibilidad e interacción con el cuerpo de agua, que actualmente es visto como un drenaje. Para ello se propone cambiar la configuración

actual de los colectores marginales existentes en la zona urbana. Wenger et al., (2009) identifica precisamente la importancia de cambiar la percepción del río, como una estrategia ante la canalización del cauce.

El área destinada para los senderos es muy reducida. Desafortunadamente la densidad de vivienda construida de la zona no permite considerar abrir el cauce, a menos que en escenarios futuros se valorara el recuperar los inmuebles próximos al río y convertirlos en propiedad pública.

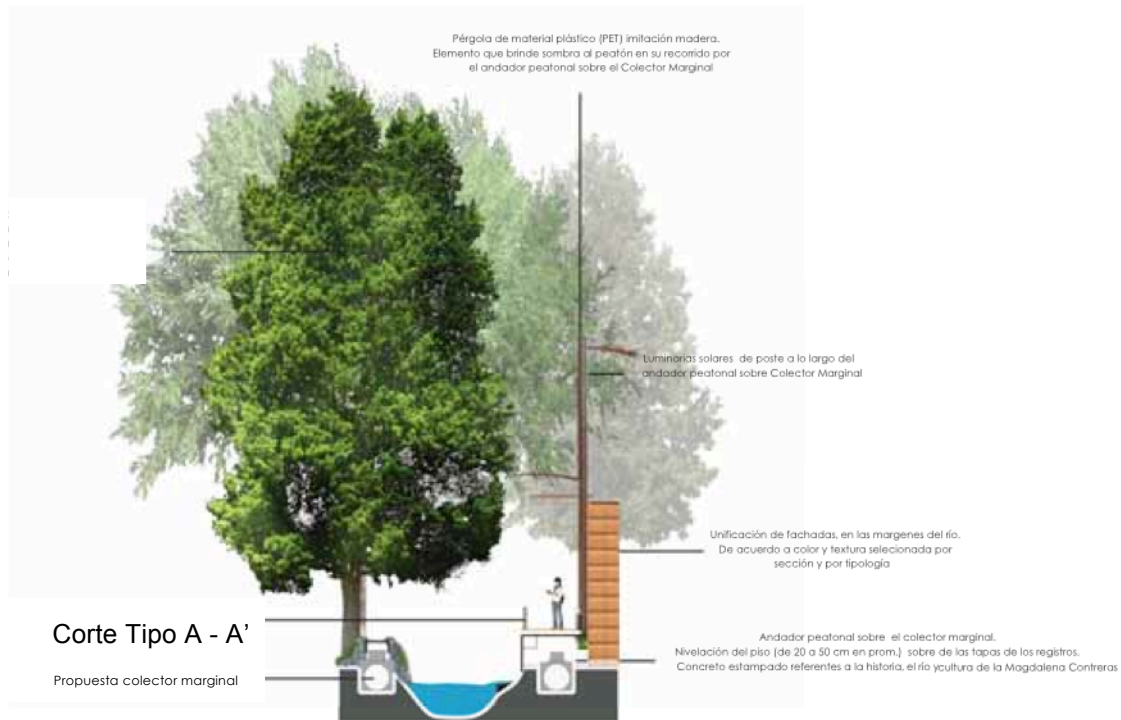


Figura 54: Corte Transversal propuesta corredor fluvial en área urbana. Fuente: UNAM (2008).
 Figura 55: Corredor fluvial en área urbana (escasas zonas verdes). Fuente: Elaboración propia



Che et al., (2012) propone evaluar proyectos de rehabilitación con un índice conocido como Índice de Accesibilidad Pública a Áreas Ribereñas (PAR por sus siglas en inglés), entendido como la libertad pública de acceder al río y hacer uso de los recursos naturales y sociales que ofrece.

Toma en cuenta las siguientes dimensiones:

- Apertura del espacio,
- Accesibilidad visual,
- Continuidad del corredor verde, y
- Amenidad del espacio

En éste sentido, se juzga por las conexiones con los alrededores, tanto visual como física, y la provisión de las actividades dentro de un espacio en el que la gente tiene una mayor oportunidad de participar. Sin embargo, debido al continuo fraccionamiento del corredor propuesto para el río Magdalena no se cumplen.

Muchos beneficios que puede traer consigo el éxito de un proyecto que cumpla éstas características, que están cada vez más relacionados con mantener una mejor calidad de vida, se han eclipsado por hacer un continuo énfasis en procurarse sólo el control de inundaciones, obras de drenaje, y el desarrollo urbano.

Esto es importante en el contexto de cualquier plan de rehabilitación de ríos, debido a que la buena accesibilidad pública puede impulsar el desarrollo económico a lo largo de la orilla del río, ayudando a la sostenibilidad del proyecto (Che et al., 2012).

9. Conclusiones

Tras la iniciativa del Gobierno del Distrito Federal y la Secretaría del Medio Ambiente para generar un plan maestro para el aprovechamiento sustentable y descontaminación del río Magdalena, se ha abierto una oportunidad para la ciudad para evitar cometer errores pasados al entubar y convertir en drenaje sanitario los ríos que originalmente escurrían por el Valle de México.

La microcuenca del río Magdalena se encuentra dividida en dos zonas; una natural y una en un contexto densamente urbanizado. Mientras que en la zona natural se puede decir que el río se encuentra en situación bastante estable, existen amenazas que deben ser controladas desde ahora; en cuanto al área urbana, el río ya se encuentra deteriorado por diversos factores de origen antrópico, y que algunos de ellos difícilmente podrán ser revertidos.

Formulación del programa de rescate

Aunque ya se tenían antecedentes de origen no gubernamental de la preocupación de rescatar el río Magdalena, no fue sino hasta ser impulsado por organismos políticos que no se llevó a cabo la con oficialidad la generación de dicho programa. Precisamente sucede como menciona Connin (1991), de que la iniciativa gubernamental resulta imprescindible, sobretodo por la seguridad de ser financiado el proyecto.

El mismo autor menciona la importancia de la participación social con la institucional en éste tipo de proyectos; en éste caso, fue notoria la importancia de la participación de la población con las instituciones académicas para formular los términos de referencia del programa. Para ello se conformó un grupo participativo que incluyó vecinos, comuneros, ejidatarios, ONG's y otros grupos organizados de la sociedad; que trabajó en conjunto con académicos y especialistas de las facultades de Arquitectura, de Ciencias, e Institutos de Geografía, Ingeniería y Ecología.

La elaboración del programa en éste sentido, fue abordada de tal manera que se aproxima al esquema conceptual del marco teórico propuesto por Grant (2008); en el que asegura que los proyectos de recuperación deben ser abordados por la combinación de disciplinas como la ingeniería, ecología, geomorfología e hidrología (probablemente contempladas las dos últimas dentro del Instituto de Geografía y la Facultad de Ciencias que participan). Sin embargo, se involucran también las disciplinas de Arquitectura y Arquitectura del Paisaje, las cuales podrían dar respuesta, de alguna manera, al criterio propuesto por URBEM (2004), sobre el valor estético que deberá contemplarse en los proyectos de recuperación de ríos.

Para la elaboración de objetivos se tomó como base el Diagnóstico Sectorial realizado para conocer la problemática propia de la cuenca, y se plantean objetivos que dan respuesta a los cuatro ejes de intervención que se identificaron como los más comúnmente abordados en distintos proyectos tanto en Europa como en Norte América; Dinámica Fluvial, Saneamiento, Biodiversidad y Antropización.

En cuanto a las estrategias, retomando los conceptos que establece Boon (1992), se pudo constatar que el programa maneja distintas estrategias según el estado de degradación que presentan los distintos tramos del río. El concepto de *Conservación* se retoma en el cauce más alto del río, donde aún no presenta amenazas ambientales o de origen humano, debido a que se trata precisamente de un área protegida. El concepto *Mitigación* se introduce en el tramo medio y bajo del área natural; se propone

controlar actividades económicas y turísticas irregulares, que puedan poner en riesgo la salud del sistema fluvial y sus ecosistemas adyacentes. En área de transición entre la zona natural y urbana se plantea el concepto de *Restricción de desarrollo de la cuenca*, en un área más próxima a la mancha urbana donde se traspasa el límite del suelo de conservación, y se plantea el control de éste crecimiento a través de una nueva zonificación y la reubicación de algunos AHI. En cuanto a la *Recuperación*, corresponde a la zona urbana en la que se ha perdido tanto la calidad del agua del el río, como la interacción y accesibilidad de la sociedad con el mismo.

Otro de los criterios propuestos por URBEM (2004), y que otros autores han mencionado (p. ej. Kondolf, 1998) es la importancia de contemplar la evaluación y monitoreo del desempeño del proyecto. El programa de rescate propone una serie de indicadores que fueron propuestos y elaborados tras haberse llevado a cabo reuniones de trabajo tanto con los interesados políticos como con la población, de tal manera que se tomaron en cuenta expectativas, necesidades e intereses de distintos tipos. También se elaboró una base de datos con SIG, que permitiría llevar a cabo el monitoreo de dichos indicadores.

Aproximación a características geomorfológicas del río Magdalena

El método de clasificación de ríos de Rosgen (1994), fue aplicado en uno de los tramos del río Magdalena, y permitió formular una idea más amplia de sus características geomorfológicas, necesaria para poder hacer consideraciones respecto a las técnicas y estrategias utilizadas y propuestas por el programa de rescate.

En éste sentido, dadas las características que presenta el río según el método de Rosgen (1994), tiene el potencial de soportar la estabilización de los márgenes y algunas modificaciones en el lecho sin que se vea en gran medida o irreversiblemente afectado. Además, el ejercicio indicó que éste tipo de ríos generalmente presentan escasos hábitats acuáticos, lo que coincide con las características actuales del río en su estado natural, en el que se detectaron sólo algunos criaderos de truchas y algunas comunidades de ajolotes que es preciso proteger.

En cuanto a la topografía de la cuenca, debido a que se presentan pronunciadas pendientes en sus valles, en algunos casos resulta necesario dar mantenimiento a las laderas, debido a que tienden a haber movimientos de tierra verticales que pueden llevar material sólido al cauce que contribuya al aumento de turbidez en el agua.

En el área urbana, la densidad de superficie construida ha traído modificaciones al cauce del río, haciéndolo permanecer en un corredor angosto en el que se puede deducir que la degradación y la ausencia de hábitats acuáticos, se debe principalmente a la contaminación proveniente de la población, y a la implementación de estructuras reguladoras de caudal como las presas de gavión en el cauce superior, la presa Anzaldo en el cauce medio y el entubamiento en un tramo del cauce inferior.

Si bien ésta metodología ha permitido formar una idea general de la geomorfología del río, es necesario resaltar la opinión de Kondolf (1998), en la que establece que no debe tomarse éste como un 'recetario de cocina'. La geomorfología es una ciencia basada en la observación (URBEM, 2004), por lo que es indispensable tomarlo únicamente como base.

Técnicas de rehabilitación y/o mitigación implementadas

El plan de recuperación, plantea en la zona natural medidas puntuales para estabilizar el cauce y evitar la erosión hídrica en algunas zonas del cauce alto. Sin embargo, la presa Magdalena que se propone, cuya principal función es la de evitar inundaciones en los tramos medio y bajo del cauce, podría traer consecuencias en los ya escasos hábitats acuáticos existentes.

Plantea la reforestación de las zonas ribereñas, las cuales ayudan a mantener la biodiversidad; pero no se detecta mayor intención de sanear algún otro punto no focalizado de contaminación en ésta área natural, pero como presencia de actividades económicas y ecoturísticas. Dicho lo anterior, podrían implementarse zonas de humedales en el área con pendientes menos pronunciadas antes de la entrada del río en zona urbana, de manera que permitieran un tratamiento natural a un río que presenta ya diferencia de contaminantes entre una planta potabilizadora y otra. Resulta también importante la introducción de letrinas secas para evitar descargas en éstos tramos.

En el área urbana, las acciones se han limitado a descontaminar el cauce y a mejorar la accesibilidad de la población para interactuar con el río. Lo segundo se propone mediante la restauración de algunos edificios abandonados de carácter público en ciertos puntos; en ésta zona el río se encuentra canalizado en un angosto corredor que se pretende convertir en parque lineal. Dada la densidad de vivienda construida al margen del río, se dificulta la posibilidad de ensanchar el área verde que acompaña al cauce, que también se encuentra seccionado en algunos tramos, por la existencia de propiedad privada y vialidades que lo cruzan.

Gran parte de ésta vivienda, sobretodo en la zona más próxima al área de conservación, es de mala calidad y en su mayoría son viviendas de autoconstrucción de uno o dos niveles. Podría explorarse la posibilidad de reubicar viviendas próximas al río, mejorando la calidad de vivienda y crecimiento vertical en otras zonas no adyacentes al mismo, de tal manera que se recuperara área para convertirla en área verde paralela al río. Si en un futuro se busca una ciudad conectada con el río debería cambiar el uso de suelo no sólo en el área de conservación, sino plantear opciones también dentro del área urbana.

Para descontaminar el cauce se propone la construcción de ocho plantas tratadoras en total (cuatro de ellas con carácter prioritario), y la instalación de colectores marginales. Si bien no se ha detectado el agua de escorrentía como una problemática principal a tratar (probablemente por que no se realizaron estudios en época de lluvias), Wenger et al., (2009), hace énfasis en que gran parte de los factores que contaminan el agua de un río provienen del agua de lluvia que escurre por superficies altamente impermeabilizadas. Este es el caso de la cuenca del río Magdalena, que además de tener superficie mayormente impermeable, no cuenta con suficientes áreas verdes que puedan interconectarse entre sí, provocando retardar el flujo de agua corriente directo al río. Un indicador de ello es la presa Anzaldo que ha sufrido desbordamientos en el año 2008 y en el año 2011, provocando problemas al tránsito viario de la zona y otros daños materiales.

En un evento de crecida o tormenta, los colectores marginales pueden desbordarse y contaminar el cauce. Aquí resalta la importancia de educar a una sociedad; el colocar éstas instalaciones es sólo remediar parte del problema, pero no hace consciente a la población de implementar mejores prácticas que los prepare para enfrentar escenarios futuros ante la escasez y cambio climático. Por lo que es importante resaltar la importancia de contemplar opciones como el alcantarillado de tipo separativo, alternativas para la captación de agua de lluvia en las viviendas y el uso de cubiertas

verdes; lo cual podría ser replicado en distintos sectores de la ciudad, no sólo correspondientes a la microcuenca del río Magdalena. Medidas a mediano y largo plazo podrían traer mejor respuestas a futuro, que contemplar sólo las medidas a corto plazo.

En la presa Anzaldo desembocan actualmente otros escurrimientos superficiales altamente contaminados, para los cuales no fueron contempladas medidas de descontaminación ni gestión, tal y como se hizo con su afluente mayor el río Eslava. Por lo que haría falta contemplarse medidas para manejar ésta problemática.

Accesibilidad e interacción con el río

Con la propuesta del Parque Lineal sección I y II del programa de rescate, se pretende generar un espacio público a lo largo del río. Sin embargo, como se ha comentado anteriormente se trata de un corredor muy angosto y que se encuentra fraccionado en distintos puntos. Así, resalta la importancia de relacionarlo con otros puntos en los que pueda generarse espacio público, como la propuesta de centros culturales en edificios abandonados o subutilizados.

El cruce más significativo del corredor propuesto es primeramente con el Periférico, el cual se encuentra poco antes de su incorporación a la presa Anzaldo, e inmediatamente después con el tramo de alrededor de 4km que ha sido entubado. En la presa Anzaldo se propone un espacio público de grandes dimensiones, en el que la población podrá involucrarse con actividades de tipo educativo como por ejemplo el funcionamiento de la presa, y la planta tratadora que se propone en el sitio. En el tramo que sigue, se propone un corredor simbólico, el cual queda fragmentado en distintos tramos por distintas vialidades, aunque la presencia de espacio público es mayor.

Finalmente, en cuanto al último tramo del río antes de incorporarse al drenaje de la ciudad, recorre una área con corredores verdes más amplios, por los que puede traer mejores resultados para la interacción del río con los vecinos. En éste punto, debido a la calidad del agua, se convierte en un canal de agua tratada con objetivos sólo estéticos y aprovechable para el riego del parque Los Viveros y otras zonas verdes cercanas.

En general, el programa contempla la interacción de la sociedad con el río mediante la recuperación y generación de espacio público. Si bien es cierto que los proyectos de recreación y estética mejoran con la presencia de corredores delineados por un río (Forman, 1995), desafortunadamente en éste caso se trata de un corredor verde notoriamente seccionado. A diferencia por ejemplo con el proyecto de recuperación del tramo urbano del río Besòs en Cataluña, en el cual ambos márgenes del río eran ya lo suficientemente amplios como para implementar un corredor verde que incluyera ciclovías y otros servicios que permitieron una interacción continua y más agradable con el río.

En este sentido, las acciones a considerar en el área urbana se convierten esencialmente en un proyecto de paisajismo, tal y cómo menciona Shields et al., (2003), que considera lo más común en entornos urbanos que conviven con un río.

Aspectos generales

Después de realizar el análisis del programa de rescate, se puede decir que el conjunto de estrategias y objetivos establecidos indican que puede lograrse el rescate

por una parte, de los servicios ecosistémicos del río, y por otra la relación social que se espera generar con el medio. Sin embargo, las consideraciones hechas previamente podrían tomarse en cuenta para su mejora.

En muchos sitios se ha optado por recuperar características ribereñas y morfológicas tales como prados húmedos, bosques inundables, meandros, canales secundarios, entre otras. Esto, no sólo con un objetivo de mejora visual, sino para recuperar importantes conexiones laterales entre el canal principal de un río y la tierra adyacente. En el caso de éste río en su interacción con la zona urbana, difícilmente se recupera ésta conexión de procesos físico-químicos y biológicos, por lo que podemos concluir que las cinco dimensiones comentadas por Boon (1992), no han podido ser aplicadas lo largo de todo el río.

En cuanto a los seis criterios que considera URBEM (2004), como los principales para la formulación de un proyecto de recuperación, en el programa analizado no se ha registrado información sobre estudios de impacto ecológico, social y económico concluidos. Con especial importancia resulta el de la nueva presa que se considera en el área natural, con el fin de controlar inundaciones.

El programa de rescate del río Magdalena se contempló en un plazo de cinco años a partir del 2008 cuando se tomó la iniciativa. El documento fue elaborado exitosamente gracias a que fue todo organizado por la comunidad y el equipo de investigación, pero muchos de los proyectos y trabajos pendientes se han visto interrumpidos y los fondos recortados, probablemente por intereses políticos. Esto también ha traído como consecuencia el entorpecimiento del monitoreo y registro de avances y desempeño del programa. Zalakevicius (2000), precisamente identifica factores políticos y de gestión como importantes responsables del mal estado del sistema fluvial. Estos se presentan con frecuencia en México, por ejemplo, durante el proceso de cambio de un gobernante a otro, trayendo consigo nuevas y distintas prioridades.

Un aspecto de especial importancia de éste programa de rescate, reside en la necesidad de contar con una experiencia exitosa de éste tópico dentro de la Ciudad de México. El aprovechamiento integral del agua superficial, el incremento del agua infiltrada a los acuíferos y la concientización de la sociedad respecto al consumo y reutilización del agua, podría justificar la recuperación de otros escurrimientos superficiales importantes de la ciudad que han sido entubados en décadas anteriores. Claro que, adicionalmente a esto, deberá resolverse la palpable deficiencia del sistema de drenaje general de la ciudad.

10. Referencias

- Allan, J. D. y A. S. Flecker, (1993). Biodiversity conservation in running waters. *Bioscience* 43: 32-43.
- Almeida Leñero, Lucía y S. García Juárez, (2009). Hacia una propuesta de educación ambiental en la comunidad de la Magdalena Atlitica. en Castillo, Alicia y E. González Gaudiano. *Educación ambiental y manejo de ecosistemas en México*. Instituto Nacional de Ecología.
- Boon P.J., (1992). Essential Elements in the Case for River Conservation, en: Boon, P.J., P. Calow y G.E. Petts (eds), *River Conservation and Management*, Wiley, Chichester, UK, pp. 11-33.
- Boon, P.J., (1998). River restoration in five dimensions. *Marine and Freshwater Ecosystems* 8: 257-264.
- Cals, M.J.R., R. Postma, A.D. Buijse y E.C.L. Marteijn, (1998). Habitat restoration along the River Rhine in The Netherlands: putting ideas into practice. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 8: 61-70.
- Che, Y., K. Yang, T. Chen y Q. Xu, (2012). Assessing a riverfront rehabilitation project using the comprehensive index of public accessibility. *Ecological Engineering* (40): 80-87.
- CONAGUA, (2009). Estadísticas de la Región Hidrológico-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Primera edición 2009.
- CONAGUA y Consejo de Cuenca del Valle de México, (2013). Medidas preventivas y de mitigación de la sequía en la Cuenca del Valle de México.
- Connin, S., (1991). Characteristics of Successful Riparian Restoration Projects in the Pacific Northwest, Prepared for US Environmental Protection Agency, Region 10, Water Division, Seattle, Washington, Rept. EPA 910/9-91-033.
- Decler, K. , De Rycke, and S. Vermeersch, (2000). Zoning plans: A new policy tool for integrated water management of flemish waterways. En: Conference on River Restoration, Wageningen, The Netherlands 2000, proceedings, edited by H.J. Nijland and M.J.R. Cals
- ECRR -European Centre for River Restoration-, (2002). *Final Technical Report, LIFE Project No: LIFE99 ENV/DK/000619*. National Environmental Research Institute, Denmark.
- Faulkner, S. P., and C. J. Richardson, (1989). Physical and chemical characteristics of freshwater wetland soils, en: Hammer, D. A., (ed.), *Constructed wetlands for wastewater treatment: Municipal, industrial and agricultural*. Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, pp. 41-72
- Forman, Richard T.T., (1995). *Land Mosaics: The ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge University Press. 632 pp.
- Grant, G.E., (2008). A framework for evaluation disciplinary contributions to river restoration, en: 4th International River Restoration Conference of the European Centre for River Restoration (ECRR), Venice, Italy, pp. 113-122.
- Hammer, D. A., (1992). *Creating freshwater wetlands*. Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, 298 pp.
- Helfield, J.M., y M.L. Diamond, (1997). Use of constructed wetlands for urban streams restoration: A critical analysis. *Environmental Management* 21(3): 329-341.
- Herce Vallejo, M. y J. Miró Farrerons, (2002). *El soporte infraestructural de la ciudad*. Ediciones UPC-Universidad Politécnica de Cataluña, 2002. 175pp.
- IAGUA, (2013). La calidad del agua en ríos y acuíferos de la cuenca de México, investigación de la UNAM. (Disponible en: <http://mexico.iagua.es/noticias/mexico/13/12/19/la-calidad-del-agua-en-rios-y-acuiferos-de-la-cuenca-de-mexico-investigacion-de-la-unam-42310>. Consultado el: 1 de febrero 2014).

- Kondolf, G.M., (1996). Lessons learned from river restoration projects in California. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 8: 39-52.
- Kondolf, G.M. y P. Downs, (1996). Catchment approach to channel restoration, en Brookes, A. and Shields, D. (Eds), *River Channel Restoration*, John Wiley, Chichester, pp. 129–148.
- Joint Academies Committee on the Mexico City Water Supply; Commission on Geosciences, Environment, and Resources; Water Science and Technology Board; Division on Earth and Life Studies; National Research Council; Academia Nacional de la Investigacion Cientifica, A.C.; y Academia Nacional de Ingenieria, A.C (1995). *Mexico City's Water Supply: Improving the Outlook for Sustainability*. Washington, DC: The National Academies Press. 256pp.
- Lawrence J.E., M.E. Skold, F.A. Hussain, D.R. Silverman, V.H. Resh, D.L.Sedlak, R.G. Luthy y J.E. McCray, (2013). Hyporheic zona in Urban Streams: A review and opportunities for enhancing water quality and improving aquatic habitat by active management. *Environmental Engineering Science* 30: 480-501.
- Legorreta, Jorge (2006). *El Agua y la Ciudad de México: de Tenochtitlan a la megalópolis del siglo XXI*. 1º Edición. México: Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. 259pp.
- Legorreta, Jorge (2009). *Ríos, lagos y manantiales del Valle de México*. 1º Edición. México: Universidad Autónoma Metropolitana, Gobierno del Distrito Federal. 365pp.
- Leopold, L.B.; Wolman, M.G., (1957). River channel patterns: Braided, meandering and straight. U.S. geological Survey, Professional Paper, N0. 282-A.
- Leopold, L.B., M.G. Wolman y J.P. Miller, (1964). *Fluvial Processes in Geomorphology*, Ed. W.H. Freeman & Co., San Francisco, 522pp.
- Lord, M.L., D. Germanoski y N.E. Allmendinger, (2009). Fluvial geomorphology: Monitoring stream systems in response to a changing environment. En: Young, R., and Norby, L., *Geological Monitoring: Boulder, Colorado*, Geological Society of America, p. 69–103
- Martín Vide, J.P., (2002). *Ingeniería de ríos*. 1º Edición. Barcelona, Edicions Universitat Politecnica de Catalunya, 381pp.
- Pedroli, B., G. De Blust, K. Van Looy y S. Van Rooij, (2002). Setting targets in strategies for river restoration. *Landscape Ecology* 17(1): 5-18.
- Perales Momparler, S. y Andrés Domenech, I., (2000) Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia. Universidad Politécnica de Valencia.
- Petts, J., (2000). *Handbook of environmental impact assessment*. Vol.1–2. Ed. Blackwell Science Ltd, London. 464pp.
- Petts, G.E. y C. Amoros, (1996). *Fluvial Hydrosystems*. Springer, Ed. Chapman & Hall Ltd. London. 322pp.
- Rosgen, D.L., (1985). A stream classification system, en: *Riparian Ecosystems and Their Management*. First North American Riparian Conference. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, RM-120, pp. 91-95.
- Rosgen, D.L., (1994). A classification of natural rivers, *Catena* 22: 169–199.
- Rosgen, D.L., (1997). A Geomorphological Approach To Restoration Of Incised Rivers, en: Wang, S.S.Y., E.J. Langendoen y F.D. Shields, Jr. (eds.), *Proceedings of the Conference on Management of Landscapes*.
- Royal Commission on the Future of the Toronto Waterfront, (1992). *Regeneration: Toronto's waterfront and the sustainable city: Final report*. The Queen's Printer for Ontario, Toronto, Ontario.
- Schama S., (1995). *Landscape and Memory*. London, UK. Harper Collins, 672pp.
- Schueler, T. R., L. Fraley-McNeal, y K. Cappiella. (2009). Is Impervious Cover Still Important? Review of Recent Research. *Journal of Hydrologic Engineering* 14(4): 309-315.
- Schumm S.A., (1977) *The Fluvial System*. Ed. John Wiley and Sons Ltd. New York. 338pp.
- Shields F.D., C.M. Cooper Jr., Scott S. Knight, M.T. Moore, (2003). Stream corridor restoration

research: A long and winding road. *Ecological Engineering* 20: 441–454

Swanson, F. J., S. V. Gregory, J. R. Sedell, and A. G. Campbell. (1982). Land-water interactions: the riparian zone. En R. L. Edmonds ed. *Analysis of Coniferous Forest Ecosystems in the Western United States*. US/IBP Synthesis Series 14. Hutchinson Ross Publishing Co., Stroudsburg, PA. 267-291.

UNAM, GDF y SMA, (2008). Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del Río Magdalena.

UNAM, (2009). El río Magdalena. Un delta de historia en la ciudad. *Revista Humanidades y Ciencias Sociales*, Abril de 2009, Año V, Número 40.

URBEM, (2004). Existing Urban River Rehabilitation Schemes, Final Report (Work packages 2 - 8). Urban River Basin Enhancement Methods Project, fundado por The European Commission under the 5th Framework Programme, Key Action 4 "City of tomorrow and cultural heritage", June 2004.

Vannote R.L., G.W. Minshall, K.W. Cummins, J.R. Sedell, C.E. Cushing, (1980). The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. Ottawa. 37 (1): 130-137.

Walsh, C.J., (2000). Urban impacts on the ecology of receiving waters: a framework for assessment, conservation and restoration. *Hydrobiologia* 431: 107–114.

Ward, J.V. y Stanford, J.A., (1995). Ecological connectivity in alluvial river ecosystems and its disruption by flow regulation. *Regulated Rivers: Research and Management* 11: 105–119.

Wenger, S.J., A.H. Roy, C.R. Jackson, E.S. Bernhardt, T.L. Carter, S. Filoso, C.A. Gibson, W.C. Hession, S.S. Kaushal, E. Martí, J.L. Meyer, M.A. Palmer, M.J. Paul, A.H. Purcell, A. Ramírez, A.D. Rosemond, K.A. Schofield, E.B. Sudduth y C.J. Walsh, (2009). Twenty-six key research questions in urban stream ecology: an assessment of the state of science. *Journal of the North American Benthological Society* 28 (4): 1080-1098.

Zalakevicius, M., (2000). Lithuanian rivers: On the way from degradation to restoration, en: Cals, M.J.R. y H.J. Nijland, *River Restoration in Europe*, Proceedings of Conference on River Restoration, Wageningen, The Netherlands 2000.

Referencias fotografías

Figuras 40 y 41: Cauce de río Magdalena a la altura del 3er y 2do Dinamos.

Recuperado de:

<http://salvandoalriomagdalena.blogspot.com.es/>

<http://www.eluniversaldf.mx/magdalenacontreras/nota33189.html>

Figuras 45 y 46: Valles de la cuenca del río Magdalena en su contexto natural.

Fuente: (Ver referencias).

Recuperado de:

www.mexicodesconocido.com.mx/santa-maria-magdalena-atlitic.html

<http://welikezallstuff.blogspot.com.es/2010/04/parque-ecologico-los-dinamos.html>

Agradezco a CONACYT por el apoyo económico brindado durante la realización de mis estudios de posgrado.

Agradezco a aquellas grandes personas que hacen posible el conocimiento en las aulas, los excelentes docentes del programa de maestría. A mis compañeros, por todo los buenos y malos momentos que vivimos juntos. A todos aquellos que alguna vez han compartido sus conocimientos para enriquecernos a todos.

A mi padre quien me ha heredado el tesoro más valioso que puede dársele a una hija, amor. Quien sin escatimar esfuerzo ha dado todo para mi formación y educación.

A quien la ilusión de su existencia ha sido verme convertida en una persona de provecho. A quien nunca podré pagar con las riquezas más grandes del mundo.