



**Universidad**  
Zaragoza

# LA REHABILITACIÓN FLUVIAL EN EL ÁMBITO URBANO

## ESTUDIO DE CASO: EL RÍO SAR

Máster Propio en Gestión Fluvial Sostenible y Gestión Integrada de Aguas  
(VI Edición). Universidad de Zaragoza.

PROYECTO FIN DE MÁSTER

Abril, 2016



*Autora: Raquel Piñeiro Rebolo*

*Directores: Jesús Horacio García García y José Manuel Álvarez-Campana Gallo*

Con la colaboración de



## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias a mis directores, Horacio y José Manuel, por su disposición, por su apoyo constante, por haberme guiado dejándome buscar el camino, por todo lo que me han enseñado.

Gracias también a Augas de Galicia, por haberme dado la posibilidad de cursar este máster y haber facilitado así el desarrollo de este proyecto.

Y gracias a los responsables, organizadores y docentes del Máster Propio en Gestión Fluvial Sostenible y Gestión Integrada de Aguas. La formación de poco sirve cuando no abre las puertas a la pasión y a la curiosidad.

*"El presente trabajo es un ejercicio práctico de Máster presentado para optar al certificado de aptitud por la autora, realizado en parte como supuesto real y en parte con contenidos académicos. Su contenido, calidad y adecuación a la realidad son de la exclusiva responsabilidad de su autora, así como los cálculos, aseveraciones, conclusiones y recomendaciones. Éstas no tienen por qué coincidir con las de los tutores-directores del trabajo, ni del Máster, ni de sus organismos patrocinadores. La existencia de este trabajo no supone su aprobación ni la aceptación de su contenido."*

*"Un manso río, una vereda estrecha,  
Un campo solitario y un pinar,  
Y el viejo puente rústico y sencillo  
Completando tan grata soledad."*

*En las orillas del Sar, Rosalía de Castro (1884)*

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1. Presentación .....	9
1.2. Justificación.....	10
1.3. Estado de la cuestión .....	11
1.3.1. Urbanización y ríos.....	11
1.3.2. Rehabilitación de ríos urbanos.....	21
1.3.3. Urbanización y ríos en la DHGC.....	26
2. ÁREA DE ESTUDIO .....	31
3. METODOLOGÍA .....	35
3.1. Bases metodológicas.....	35
3.2. Procedimiento metodológico .....	37
3.2.1. Selección de los tramos de estudio.....	37
3.2.2. Inventario de presiones .....	39
3.2.3. Valoración del impacto .....	39
3.2.3.1. Calidad química, fisicoquímica y biológica.....	40
3.2.3.2. Calidad hidrogeomorfológica.....	41
3.2.3.3. Situación de referencia considerada para el río Sar .....	45
3.3. Técnicas de gabinete.....	46
3.3.1. Recopilación de información .....	46
3.3.2. Tratamiento y procesado de la información.....	48
3.4. Técnicas de campo .....	49
4. RESULTADOS .....	52
4.1. Introducción.....	52
4.2. Inventario de presiones .....	52
4.2.1. Fuentes puntuales de contaminación.....	52
4.2.2. Fuentes difusas de contaminación.....	56
4.2.3. Extracciones de agua y alteraciones por regulación de flujo.....	58
4.2.4. Alteraciones morfológicas .....	60
4.2.5. Síntesis .....	61
4.3. Valoración del impacto .....	62
4.3.1. Calidad química, fisicoquímica y biológica.....	62
4.3.1.1. Calidad química, fisicoquímica y biológica según el PHGC 2015-2021 .....	62

4.3.1.2.	Calidad de la vegetación acuática y ripícola .....	64
4.3.2.	Calidad hidrogeomorfológica.....	66
4.3.2.1.	Índice IHG.....	66
4.3.2.2.	Otros indicadores geomorfológicos.....	69
4.3.2.3.	Diversidad de hábitats .....	75
4.3.3.	Síntesis .....	78
5.	DISCUSIÓN .....	81
5.1.	La urbanización como fuente de alteraciones del sistema fluvial .....	81
5.1.1.	Relación entre los impactos detectados y las causas de la degradación.....	81
5.1.1.1.	Zona de estudio: Santiago de Compostela .....	81
5.1.1.2.	Zona de estudio: Ames.....	89
5.1.1.3.	Zona de estudio: Padrón .....	93
5.1.2.	Influencia de las prácticas de gestión en los factores causales .....	100
5.1.3.	Síntesis .....	103
5.2.	Limitaciones, condicionantes y oportunidades para la rehabilitación fluvial en el ámbito urbano .....	105
6.	BASES Y CRITERIOS TÉCNICOS PARA UNA REHABILITACIÓN FLUVIAL .....	110
6.1.	Propuesta de alternativas de rehabilitación .....	110
6.2.	Necesidades y desafíos de la rehabilitación fluvial en el ámbito urbano.....	131
7.	CONCLUSIONES GENERALES .....	136
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	139
	ANEXOS .....	147
	Anexo I.- Resultados de las campañas de campo .....	147
	Anexo II.- Procesado de las variables geomorfológicas.....	147

\*\*\*

## LISTA DE ACRÓNIMOS

DPH: dominio público hidráulico

DHGC: Demarcación Hidrográfica de Galicia-Costa

DMA: Directiva Marco del Agua

PHGC: Plan Hidrológico de Galicia-Costa

## LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

<i>Figura 1.- Representación de las cuatro dimensiones en las que se estructura la continuidad fluvial. ....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 2.- Crecimiento de la población mundial urbana y rural durante el período 1950-2050.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 3.- Vías de afección de la urbanización sobre diferentes ámbitos de los sistemas fluviales.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 4.- Afección de la urbanización del territorio sobre el régimen hidrológico de los sistemas fluviales. ....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 5.- Conceptualización de la sección transversal de un río en función de los usos del suelo. ....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 6.- Conceptos básicos dentro del campo de la recuperación de los sistemas fluviales.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 7.- Ejemplos de rehabilitación fluvial de tramos urbanos.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 8.- Distribución del suelo urbano y población por municipios en la DHGC. ....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 9.- Algunas actuaciones fluviales realizadas en áreas urbanas de la DHGC.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 10.- Plano de localización de la cuenca del río Sar, dentro de la DHGC.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 11.- Dominios ombrotérmicos, evapotranspiración potencial anual y balance hídrico anual en la Comunidad Autónoma de Galicia. ....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 12.- Plano geológico y plano de pendientes de la cuenca del río Sar. ....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 13.- Información relativa a los usos del suelo, estado de las aguas y zonas de protección, y Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIS) en la cuenca del río Sar. ....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 14.- Etapas de un proceso rehabilitación fluvial.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 15.- Síntesis del procedimiento metodológico seguido. ....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 16.- Localización de los tramos de estudio dentro de la cuenca del río Sar.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 17.- Indicadores y variables utilizados para el diagnóstico de los tramos de estudio. ....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 18.- Receptor GPS R6 y colectora de datos TC2 de Trimble. ....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 19.- Representación de los caudales máximos registrados en la estación de aforo del río Sar.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 20.- Algunos de los criterios empleados en campo para la determinación de la sección bankfull. ....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 21.- Subcuencas de saneamiento y drenaje del núcleo urbano de Santiago de Compostela y su correlación con los tramos de estudio . ....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 22.- Localización de las EDARs de Silvouta, Bertamiráns y Padrón dentro de la cuenca del río Sar.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 23.- Representación de las presiones inventariadas y de las Áreas con Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIS) para cada una de las zonas y tramos de estudio.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 24.- Ejemplos de las derivaciones de caudal observadas en los tramos de estudio. ....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 25.- Ejemplos de algunas de las alteraciones longitudinales detectadas en los tramos de estudio.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 26.- Evidencias de la presencia de aliviós de aguas residuales en los tramos de estudio.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 27.- Diferentes tipos de vegetación presentes en los tramos de estudio.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 28.- Representación de las pendientes del cauce en cada uno de los tramos de estudio.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 29.- Comparación de la morfología en planta actual con respecto al año 1956. ....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 30.- Representación de las secciones transversales de los diferentes tramos de estudio. ....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 31.- Sección transversal de un tramo del río Riamonte (Ames) proyectada en la construcción del parque fluvial. ....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 32.- Algunas muestras de las diferentes potencias energéticas encontradas en los tramos de estudio. ..</i>	<i>75</i>
<i>Figura 33.- Tipos de facies identificados en los tramos de estudio.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 34.- Alteraciones geomorfológicas encontradas en los tramos de estudio en la ciudad de Santiago de Compostela. ....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 35.- Acumulaciones de sedimentos y crecimiento de vegetación dentro del cauce en algunos de los tramos de estudio de la ciudad de Santiago de Compostela. ....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 36.- Alteraciones en la calidad biológica detectadas en los tramos de estudio en la ciudad de Santiago de Compostela. ....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 37.- Impactos y factores causales en los tramos de estudio de la ciudad de Santiago de Compostela....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 38.- Alteraciones detectadas en los tramos de estudio del ayuntamiento de Ames. ....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 39.- Impactos y factores causales en los tramos de estudio del ayuntamiento de Ames. ....</i>	<i>93</i>

<i>Figura 40.- Actuaciones sobre el río Sar a su paso por Padrón y el canal de derivación</i> .....	96
<i>Figura 41.- Alteraciones en la calidad biológica detectadas en los tramos de estudio del ayuntamiento de Padrón.</i> .....	98
<i>Figura 42.- Impactos y factores causales en los tramos de estudio del ayuntamiento de Padrón.</i> .....	100
<i>Figura 43.- Ejemplos de diferentes sistemas de TDUS.</i> .....	113
<i>Figura 44.- Ejemplos de aplicación de TDUS.</i> .....	114
<i>Figura 45.- Propuesta de tramos para la recuperación del espacio fluvial y de la funcionalidad de la llanura de inundación.</i> .....	117
<i>Figura 46.- Ejemplo de recuperación de la funcionalidad de la llanura de inundación mediante el retranqueo de mota.</i> .....	117
<i>Figura 47.- Meandros abandonados en la zona de desembocadura del río Sar.</i> .....	119
<i>Figura 48.- Ejemplos de reconexión de meandros.</i> .....	119
<i>Figura 49.- Obstáculos transversales presentes en las zonas de estudio.</i> .....	121
<i>Figura 50.- Proyecto de drenaje rural sostenible de Stroud.</i> .....	122
<i>Figura 51.- Zonas con protecciones de escollera en las márgenes que podrían ser eliminadas.</i> .....	123
<i>Figura 52.- Ejemplos de desencauzamientos.</i> .....	124
<i>Figura 53.- Tramo de estudio en el que se podrían aplicar técnicas de bioingeniería para estabilizar márgenes.</i> .....	125
<i>Figura 54.- Ejemplos de aplicación de técnicas de bioingeniería para la estabilización de márgenes.</i> .....	126
<i>Figura 55.- Ejemplos de naturalización de cauces.</i> .....	128
<i>Figura 56.- Tramos de estudio con vegetación de ribera degradada en los que valorar su recuperación.</i> .....	130
<i>Figura 57.- Proyecto de mejora de la vegetación riparia en el ámbito urbano puesto en marcha por el Departamento de Agricultura del Estado de Tennessee (Estados Unidos).</i> .....	130
<i>Figura 58.- Ejemplos de eliminación de EEI en las riberas fluviales.</i> .....	131

\*\*\*

<i>Tabla 1.- Relación entre las presiones derivadas de la urbanización del suelo y los impactos producidos en los sistemas fluviales.</i> .....	20
<i>Tabla 2.- Sectores seleccionados para la realización del estudio.</i> .....	37
<i>Tabla 3.- Tabla resumen de las presiones inventariadas y detectadas en campo para cada uno de los tramos de estudio.</i> .....	54
<i>Tabla 4.- Plantas de tratamiento de aguas residuales de los principales núcleos de población de la cuenca del río Sar.</i> .....	55
<i>Tabla 5.- Porcentajes de superficie del suelo destinada a uso urbano, uso industrial y a vías de comunicación por cuenca vertiente para cada una de las zonas de estudio.</i> .....	57
<i>Tabla 6.- Resultados de la valoración del estado de las masas de agua para las zonas de estudio.</i> .....	63
<i>Tabla 7.- Resultados totales y parciales (por sección) de la aplicación del índice IHG en los diferentes tramos de estudio.</i> .....	67
<i>Tabla 8.- Variables geomorfológicas de los sectores de estudio.</i> .....	72
<i>Tabla 9.- Resultados de la abundancia y diversidad de hábitats físicos.</i> .....	76
<i>Tabla 10.- Tabla resumen de la valoración de impactos realizada para los tramos de estudio.</i> .....	80
<i>Tabla 11.- Consideraciones de cara a la definición de los objetivos de rehabilitación en cada uno de los tramos.</i> .....	108
<i>Tabla 12.- Propuesta de objetivos para la rehabilitación fluvial de los tramos de estudio.</i> .....	109
<i>Tabla 13.- Algunos procedimientos utilizados para reforzar márgenes que deben utilizarse con antelación o conjuntamente con la regeneración de la cubierta vegetal</i> .....	125



# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Presentación

El trabajo fin de máster que se plantea se enmarca dentro de la VI Edición del Máster Propio en Gestión Fluvial Sostenible y Gestión Integrada de Aguas.

La memoria se estructura en siete bloques: un primer bloque introductorio, seguido de la descripción del área de estudio en un segundo apartado. La metodología empleada para el desarrollo del trabajo, los resultados obtenidos y la discusión componen los bloques tercero, cuarto y quinto respectivamente. Un sexto bloque recoge las propuestas técnicas que se ofrecen al problema planteado, y las conclusiones finales ocupan el último apartado.

Se añaden a la memoria un capítulo de referencias bibliográficas, y dos anexos con los resultados de las campañas de campo.

### Planteamiento de la problemática

La mejora de los sistemas fluviales es un campo en el que se viene trabajando desde hace décadas. La entrada en vigor de normas europeas que centran los objetivos en el buen funcionamiento de los sistemas acuáticos supone el refuerzo de estas líneas de actuación. Dentro de ellas, los ríos urbanos ocupan de momento un lugar modesto, pero despiertan un interés creciente derivado de los nuevos enfoques de gestión de los sistemas fluviales.

En el caso de la Demarcación Hidrográfica de Galicia-Costa (en adelante, DHGC) no existen experiencias que hayan abordado de algún modo este marco de actuación. Profundizar en las consecuencias del proceso urbanizador sobre los ríos de la demarcación supone un avance dentro del conocimiento de los sistemas fluviales, y amplía las perspectivas de actuación dentro de la gestión y la planificación hidrológica.

### Hipótesis de partida

La hipótesis de partida de este trabajo nace del interés por profundizar en las relaciones que se han establecido entre las ciudades y los ríos, en la manera en la que se ha actuado sobre ellos y en particular, en la comprensión de los mecanismos de respuesta de los sistemas fluviales.

De un modo concreto la hipótesis de partida se puede formular de la siguiente manera: la transformación del suelo urbano está afectando a la calidad de los sistemas fluviales, pero estas afecciones pueden revertirse (o al menos mitigarse) dentro un contexto de rehabilitación ambiental.

## Objetivos

Partiendo de la hipótesis planteada, el objetivo general del trabajo se articula en torno a la aproximación a los efectos que la urbanización ha causado sobre los ríos en la DHGC a través del caso concreto del río Sar, al objeto de abrir perspectivas de trabajo futuro para su mejora.

A un nivel más específico, los objetivos son:

- Diagnosticar el estado actual del río Sar a su paso por las zonas más urbanas de la cuenca.
- Identificar los factores de alteración que, derivados de la urbanización del territorio, son responsables de afecciones sobre el sistema fluvial.
- Explorar las opciones de recuperación en un marco de rehabilitación fluvial.
- Identificar las necesidades y desafíos que surgen durante este proceso de cara a estrategias futuras en el marco de la mejora fluvial en el ámbito urbano de la DHGC.

## **1.2. Justificación**

### El tema

La degradación de los ríos a su paso por las áreas más urbanizadas despierta cada vez mayor preocupación, y en un escenario de urbanización creciente, surge la necesidad de atender de modo particular estos tramos urbanos de ríos y los impactos que padecen.

Por otra parte, la consecución de los objetivos ambientales que requiere el nuevo contexto normativo europeo no excluye las masas de agua que hayan sufrido alteraciones físicas producidas por la actividad humana, por lo que en ellas también es necesario alcanzar el buen estado o potencial ecológico.

Ninguna de estas cuestiones puede abordarse sin la adecuada comprensión de los mecanismos responsables de los impactos sobre los cursos fluviales, que en el caso concreto de los entornos urbanos, se encuentra aún dentro de las fases tempranas de su desarrollo.

### El área

En Galicia en general, y en la DHGC en particular, el elevado número de núcleos poblacionales en combinación con una densa red hidrográfica merece un análisis particularizado sobre la influencia que la urbanización ha tenido y está teniendo sobre los cursos fluviales.

El primer nivel territorial de análisis del trabajo se centra en la cuenca del río Sar por la elevada influencia que en ella tiene la actividad humana. En las últimas décadas las intervenciones sobre el río no han dejado de sucederse (azudes, encauzamientos, canalizaciones, rectificaciones, cortas de meandros, limpiezas y dragados del cauce,

desviaciones de cauce, alteraciones de caudal, vertidos, etc.), convirtiendo al río Sar en uno de los ríos más deteriorados de la DHGC.

En un segundo nivel, el trabajo se centra en las zonas más urbanizadas de la cuenca del río Sar, que se corresponden con los núcleos de Santiago de Compostela, Bertamiráns (Ames) y Padrón.

En un tercer nivel de detalle, se ha procedido a la selección de varios tramos fluviales dentro de cada una de las tres zonas indicadas al único efecto de hacer abordable el trabajo dentro de las limitaciones existentes de tiempo y de recursos.

### **1.3.Estado de la cuestión**

Antes de comenzar con el análisis objeto del presente trabajo, resulta conveniente presentar un marco teórico sobre el estado de la cuestión en lo que respecta al eje central del estudio: la urbanización, su efecto sobre los sistemas fluviales, y las posibilidades de recuperación.

Por ello, en el análisis de los antecedentes se abordan los siguientes temas: (i) impactos que la urbanización ocasiona sobre las características y funcionamiento natural de los sistemas fluviales; (ii) experiencias de rehabilitación de ríos en espacios urbanos realizadas en diferentes contextos geográficos; (iii) aproximación al contexto geográfico de estudio a través del análisis de la evolución de los asentamientos urbanos y de las actuaciones realizadas sobre los cursos fluviales, dentro de la DHGC.

#### **1.3.1. Urbanización y ríos**

Los ríos son sistemas naturales caracterizados por una elevada complejidad y diversidad, en cuyo funcionamiento interviene una gran cantidad de variables en continua transformación, tanto espacial como temporalmente (Werrity, 1997). A esta elevada variabilidad natural propia de los sistemas fluviales hay añadir la generada por la acción humana, que con la modificación del paisaje los obliga a rediseñar respuestas mediante procesos de ajuste (Ballarín & Rodríguez, 2013).

La complejidad natural de los sistemas fluviales ha sido recogida por Amoros & Petts (1993) dentro del concepto hidrosistema fluvial, que integra las dimensiones longitudinal, vertical y transversal, determinantes para la adecuada continuidad fluvial, con la dimensión temporal (Figura 1).

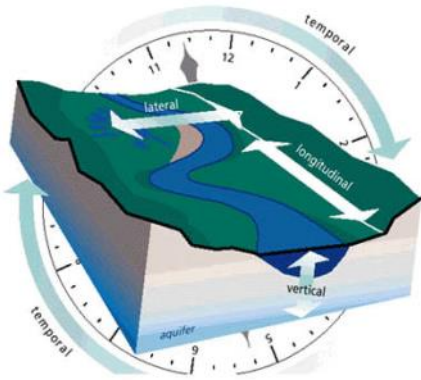


Figura 1.- Representación de las cuatro dimensiones en las que se estructura la continuidad fluvial.

(Fuente: US Environmental Protection Agency).

Continuidad longitudinal: determinada por la existencia continua de flujos de materia, agua y organismos desde cabecera a desembocadura (guarda relación con la hipótesis del “río continuo” establecida por Vannote et al. (1980).

Conectividad lateral: se produce entre cauce, riberas y llanura de inundación, a través de intercambio de agua, sedimentos, materia orgánica, nutrientes y organismos.

Dinámica vertical: conexión con el agua subterránea a través del medio hiporreico, importante por los procesos biogeoquímicos y conexiones biológicas que tienen lugar en él (Alley et al., 2002).

Dimensión temporal: diversas escalas temporales en las que se producen los procesos descritos para las dimensiones anteriores.

La complejidad de procesos que tienen lugar tanto espacial como temporalmente es la responsable de la heterogeneidad física del medio, manifestándose la acción fluvial (entendiendo por ella los procesos de erosión, transporte y sedimentación) como el principal agente encargado de la evolución del paisaje en los sistemas fluviales, y por tanto, de su diversidad (Ward et al., 2002). Es esta heterogeneidad física la que se traduce en la diversidad de hábitats necesaria para albergar las especies acuáticas y ecosistemas terrestres asociados (Ollero & Romeo, 2007).

Teniendo en cuenta este modo de entender los sistemas fluviales, cualquier tipo de afección que se produzca sobre alguno de estos ámbitos constituirá una fuente de alteración del sistema en su conjunto.

### El proceso de urbanización del territorio

Según el informe elaborado por las Naciones Unidas en el año 2014 “*World Urbanization Prospects*”, en el año 2007, y por primera vez en la historia, la población en las áreas urbanas superaba a la población residente en áreas rurales (Figura 2). A partir de ese momento, la población mundial se ha mantenido como eminentemente urbana.

Sin que exista una definición generalmente aceptada del término “urbano”, puede decirse que este se construye en torno a uno o varios de los siguientes aspectos: la concentración o cantidad de población, la presencia de infraestructuras tales como vías de comunicación, redes de agua potable y saneamiento, o el empleo en sectores diferentes del agrario, con umbrales que varían en función de los sistemas estadísticos de clasificación de los diferentes países.

Así, por ejemplo, para el *U.S. Census Bureau*<sup>1</sup> se consideran como urbanizadas aquellas áreas con una población igual o superior a los 50.000 habitantes, junto con las áreas adyacentes

<sup>1</sup> <https://www.census.gov/geo/reference/ua/urban-rural-2010.html> (fecha de consulta: 19/12/2015)

de población superior a 2.500 habitantes. El *USGS National Land Cover Dataset*<sup>2</sup> las define como aquellas en las que por lo menos un 30% de la superficie está construida.

En el caso de España, se consideran como grandes áreas urbanas aquellas con más de 50.000 habitantes (uni o pluri municipales), y como pequeñas áreas urbanas aquellas que aglutinan entre 20.000 y 50.000 habitantes, o entre 5.000 y 20.000 (siempre y cuando cumplan ciertas características de población nuclear, evolución demográfica y población activa por sectores económicos), aunque la clasificación estadística española tradicional determina como urbano el conjunto de entidades de población con 10.001 o más habitantes (Ministerio de Fomento, 2015).

El mismo informe de las Naciones Unidas pone de manifiesto que este proceso de urbanización ha sido especialmente rápido en las últimas décadas, de forma que si en el año 1950 el 70% de la población mundial residía en áreas rurales, en 2014 el 54% se consideraba como urbana. Las previsiones ratifican esta tendencia, esperándose que en el año 2050 más del 60% de la población mundial (hasta un 68% según las previsiones de la Organización Mundial de la Salud<sup>3</sup>) viva en áreas urbanas (Figura 2). En América Latina, el Caribe o Norte América, los valores se sitúan ya en el 80% o incluso por encima.

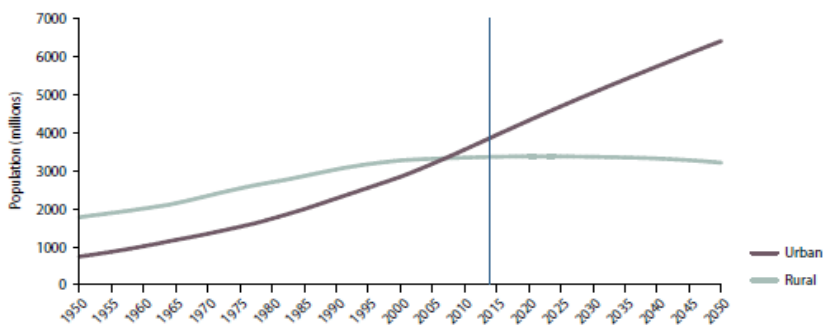


Figura 2.- Crecimiento de la población mundial urbana y rural durante el período 1950-2050.  
Fuente: Naciones Unidas (2014). *World Urbanization Prospects: The 2014 revision, highlights*.

Este cambio demográfico conlleva fuertes transformaciones en el uso del suelo. Ya no sólo se trata de que numerosas ciudades se hagan cada vez más grandes, sino que cobra especial importancia el hecho de que muchas de las ciudades que más rápido están creciendo son asentamientos urbanos relativamente pequeños.

En el caso del territorio español, atendiendo a los resultados del Corine Land Cover 2006 analizados por el Ministerio de Fomento en el Sistema de Información Urbana<sup>4</sup>, el porcentaje de superficie artificial es del 4% sobre el total de su superficie, habiendo sufrido un incremento del 13% entre los años 2000 y 2006. En el caso de Galicia el porcentaje de superficie artificial es menor (1,74%), habiéndose incrementado un 4% desde el año 2000.

<sup>2</sup> <http://landcover.usgs.gov/natl/landcover.php#> (fecha de consulta: 19/12/2015)

<sup>3</sup> <http://apps.who.int/gho/data/node.main.URBPOP?lang=en> (fecha de consulta: 19/12/2015)

<sup>4</sup> [http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG\\_CASTELLANO\\_ESPECIALES/SIU/](http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO_ESPECIALES/SIU/) (fecha de consulta: 19/12/2015)

El paisaje rural se está transformando a gran velocidad en paisaje urbano, y los sistemas fluviales no salen indemnes a esta transformación. Y es que si bien la áreas urbanas no ocupan gran parte de la superficie, sus efectos directos e indirectos sobre el territorio se extienden más allá de sus límites geográficos (Paul & Meyer, 2001; González et al., 2007).

Tanto es así que los efectos de la urbanización sobre los sistemas fluviales son y han sido objeto de numerosos estudios que ahondan en las consecuencias sobre su dinámica y funcionamiento (Baer & Pringle, 2000; Paul & Meyer, 2001; Chin & Gregory, 2005; Meyer et al., 2005; Walsh et al., 2005; Chin, 2006; Findlay & Taylor, 2006; Bernhardt & Palmer, 2007; Gurnell et al., 2007; Alberti, 2010; O'Driscoll et al., 2010; Violin et al., 2011).

### El 'Síndrome del río urbano'

El desarrollo urbano impone modificaciones a la forma y funcionamiento de los sistemas fluviales, especialmente vulnerables a los impactos asociados a los cambios en los usos del suelo. De este modo los ríos sufren, entre otras, afecciones como la alteración del régimen de caudal y de sedimentos por la impermeabilización de superficies, de la calidad del agua por la existencia de vertidos o la ruptura de la continuidad fluvial por canalizaciones y defensas, lo que se traduce en una degradación morfológica y ecológica (Gurnell et al., 2007). De un modo genérico, podría decirse que la urbanización incrementa el aporte de agua y materiales a los ríos, al tiempo que simplifica los cursos fluviales receptores. Despoja por tanto al sistema fluvial de su funcionalidad ecológica, y lo convierte en un efectivo canal de desagüe (Bernhardt & Palmer, 2007).

Al conjunto de los efectos generados por la urbanización sobre los sistemas fluviales se le ha denominado como síndrome del río urbano (Meyer et al., 2005). Aunque existen variaciones en lo que respecta a la intensidad con que se muestran estos síntomas, así como en el nivel de urbanización a partir del cual estos son observados (Walsh et al., 2005), hay coincidencia en señalar una serie de alteraciones como características de la influencia de la urbanización sobre los sistemas acuáticos. Más allá de las diferencias que pueda haber en las cuencas fluviales con respecto a la geología, al clima o a la vegetación, la condición de los ríos urbanos está fuertemente influenciada por la alteración de los flujos de agua, sedimentos, nutrientes y contaminantes (Figura 3) (Bernhardt & Palmer, 2007).

En todo caso, es importante incidir en que la comprensión de los mecanismos responsables de los impactos sobre los cursos fluviales de cuencas urbanizadas es compleja, dada la interacción existente entre los diferentes factores y la diversidad de respuestas que estos generan sobre los sistemas fluviales (Booth, 2005; Meyer et al., 2005; Walsh et al., 2005).

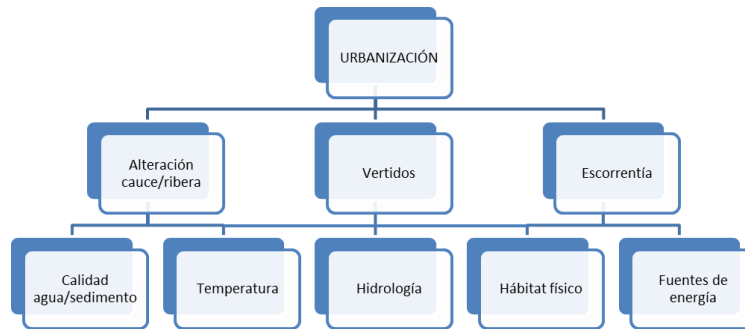


Figura 3.- Vías de afección de la urbanización sobre diferentes ámbitos de los sistemas fluviales.  
Fuente: *US Environmental Protection Agency*.

A la hora de describir las afecciones, estas pueden organizarse según los ámbitos sobre los que influyen: régimen hidrológico, geomorfología, calidad química y fisicoquímica de las aguas, y calidad biológica.

A continuación se resumen las alteraciones producidas en los sistemas fluviales consecuencia de la urbanización de la cuenca descritas y recopiladas en diversos trabajos bibliográficos (Tabla 1):

- Régimen hidrológico:

Los cambios en el régimen hidrológico son los más obvios y consistentes, y por tanto los primeros a los que se hace referencia cuando se habla de las alteraciones experimentadas por los ríos de cuencas urbanizadas (Paul & Meyer, 2001; Walsh et al., 2005; Chin, 2006; Findlay & Taylor, 2006; Bernhardt & Palmer, 2007; González et al., 2007; O’Driscoll et al., 2010).

La impermeabilización de la cuenca altera el régimen natural de caudales al incrementar la cantidad y velocidad de la escorrentía, al tiempo que se reduce la infiltración y evapotranspiración (Figura 4). Como consecuencia, y unido al hecho de que en las áreas urbanas existe un transporte más eficiente de las aguas pluviales a través de los sistemas de drenaje, en épocas de lluvia se genera más agua en menos tiempo. Ello conlleva el peligro asociado de inundaciones, que se ve acrecentado por la habitual ocupación de la llanura de inundación en áreas urbanizadas. En épocas de estiaje, por el contrario, el caudal desciende al haberse disminuido el almacén de agua en el subsuelo y rebajarse las descargas. El intercambio por tanto entre agua subterránea-agua superficial se ve disminuido, y en consecuencia, el tamaño de la zona hiporreica.

Aunque algunos de los estudios inciden en que esta disminución de agua almacenada puede conducir a una reducción del flujo base de los cauces fluviales (Paul & Meyer, 2001; Bernhardt & Palmer, 2007), esta es una respuesta que no ha sido documentada en todos los casos. Si bien es cierto que se producen disminuciones de caudales debido a este y otros aspectos (como las extracciones de agua derivadas de las necesidades de consumo de abastecimiento, riego, limpiezas, etc.), también existen aportaciones de aguas una vez que

ya han sido utilizadas que pueden contrarrestar este efecto, o incluso llegar a generar el contrario (incremento de caudales). En ocasiones las aguas se devuelven a cuencas diferentes de las de procedencia, constituyendo trasvases encubiertos que pueden llegar a suponer un incremento considerable con respecto a las aportaciones naturales propias de la cuenca receptora. Además de este incremento, son susceptibles de producir una regularización de los caudales, dada la constancia en el volumen de los efluentes de las plantas de depuración (Walsh et al., 2005; González et al., 2007).

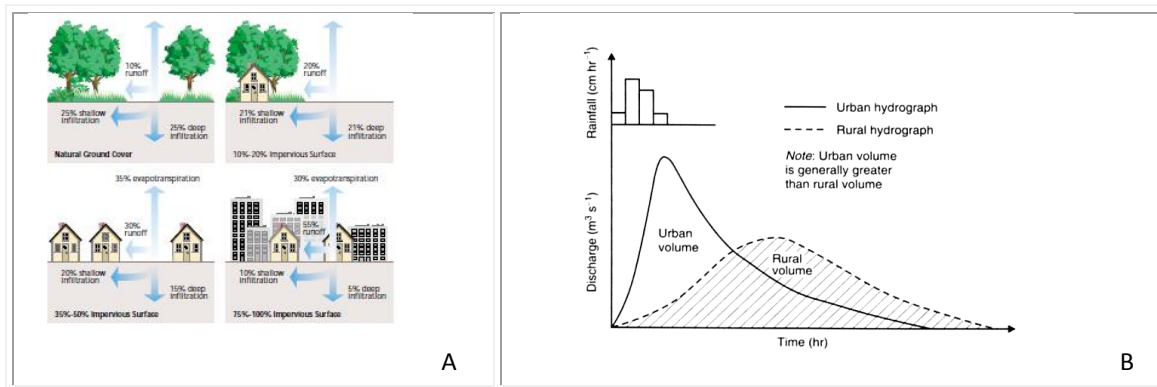


Figura 4.- Afección de la urbanización del territorio sobre el régimen hidrológico de los sistemas fluviales.

(A): relación entre la superficie urbanizada y el volumen de escorrentía. Fuente: FISRWG (1998). (B): cambios en la forma y magnitud del hidrograma asociados a la urbanización de la cuenca. Fuente: (Mount, 1995).

En todo caso, la influencia de la impermeabilización del suelo sobre los sistemas fluviales es tal que a menudo ha sido utilizada como un indicador de perturbación, aunque los efectos varían en función de la cantidad de escorrentía y la permeabilidad de las partes hormigonadas (Paul & Meyer, 2001; Walsh et al., 2005; Chin, 2006; Gurnell et al., 2007).

- Geomorfología:

La alteración geomorfológica de los ríos de las áreas urbanas se produce fundamentalmente por la impermeabilización del territorio y por las obras acometidas buscando la estabilización física del cauce al objeto de minimizar los impactos sobre las infraestructuras colindantes (rectificaciones y obras de defensa más o menos agresivas como escolleras, canalizaciones, motas, etc.). Ambas cuestiones alteran los caudales líquidos y sólidos y fuerzan al río a reajustar sus dimensiones como respuesta.

En el primer caso, la impermeabilización origina una reducción en el aporte de sedimentos, lo que unido al aumento de la escorrentía (intensificación de los aportes) se traduce en un incremento de la erosión. Como consecuencia, se generan procesos de incisión que inicialmente pueden dar lugar al estrechamiento del cauce al depositarse los sedimentos arrastrados en los bordes laterales, pero que en fases posteriores conduce a la erosión de las márgenes al comenzar el cauce a migrar lateralmente, lo que da lugar a su ensanchamiento general cuando no existen barreras físicas laterales que lo impidan (Figura 5) (Paul & Meyer, 2001; Chin & Gregory, 2005; Chin, 2006; Gurnell et al., 2007). Aun existiendo barreras laterales, estos procesos de migración lateral que tiende a experimentar



del río en un intento por recuperar su estabilidad, pueden llegar a ocasionar daños sobre las estructuras de defensa, en contra de lo que inicialmente se pretende con su construcción (Niezgoda & Johnson, 2005). Cabe señalar que aunque los sistemas de drenaje intentan evitar las consecuencias de los picos de máximo caudal en grandes eventos de precipitación, la mayor frecuencia de pequeños eventos en estas cuencas urbanas convencionalmente drenadas pueden ser una causa de mayor peso a la hora de generarse modificaciones morfológicas del canal (Walsh et al., 2005).

En cuanto a los procesos de canalización, el incremento de la energía hidráulica (que no se puede liberar mediante erosión de las márgenes) da lugar asimismo a la incisión del cauce, además de producir su desconexión de los espacios y ecosistemas adyacentes (González et al., 2007; Walsh et al., 2005).

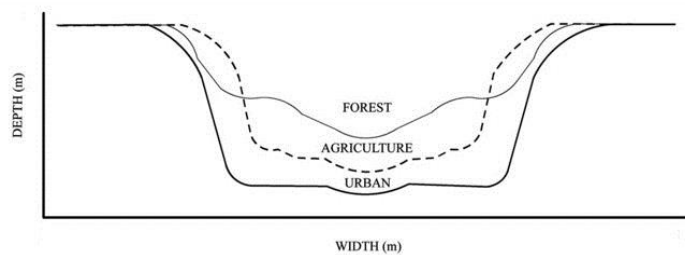


Figura 5.- Conceptualización de la sección transversal de un río en función de los usos del suelo.

En una cuenca urbanizada, el cauce tiende a aumentar las dimensiones como consecuencia de los procesos de erosión.

Fuente: Amanda Keen-Zebert<sup>5</sup>.

- Calidad química y fisicoquímica:

La afección fundamental sobre la calidad química de las aguas en los entornos urbanos se produce por vertidos urbanos e industriales, especialmente cuando no existen (o son deficientes) los sistemas de tratamiento.

En el caso concreto de las descargas de aguas residuales, más allá de las deficiencias que puedan existir en las plantas de tratamiento, que evidentemente condicionan la calidad del agua de salida, los alivios procedentes de los tanques de tormentas y de las propias redes de saneamiento, cuya capacidad se ve excedida durante los episodios de precipitaciones intensas, son responsables de gran parte de los problemas de calidad de las aguas que existen en los entornos urbanos (Findlay & Taylor, 2006; Bernhardt & Palmer, 2007; Gurnell et al., 2007; Paul & Meyer, 2001).

También se detecta en estos ambientes contaminación de carácter difuso producida por los arrastres de sedimentos fruto de la impermeabilización del terreno, que motivan la presencia de elementos contaminantes en los cauces (González et al., 2007; Gurnell et al., 2007).

<sup>5</sup> <http://serc.carleton.edu/60231> (fecha de consulta: 20/02/2016).

Como consecuencia de todo ello, los ríos en cuencas urbanizadas poseen elevadas cantidades de nutrientes (consecuencia no sólo de los incrementos en los aportes, sino también de la disminución de las tasas de eliminación de nutrientes registradas por Meyer et al., 2005 en varias cuencas urbanizadas) y otros parámetros como metales, plaguicidas o contaminantes orgánicos en función de los diferentes usos que existan dentro de la cuenca. En lo que respecta a los nutrientes (formas de fósforo y nitrógeno) y pesticidas, si bien sus concentraciones son habitualmente mayores en ríos de cuencas agrarias, ya se encuentran algunos estudios (recogidos en Paul & Meyer, 2001) que han detectado niveles similares o incluso mayores procedentes de áreas urbanizadas.

En lo que respecta a las condiciones físicas, la desaparición de sombra en los cauces con riberas eliminadas total o parcialmente, así como el ensanchamiento producto de la transformación urbana, pueden ocasionar la alteración del régimen térmico de las aguas (Baer & Pringle, 2000).

- Calidad biológica y afecciones al ecosistema:

Como consecuencia de las afecciones descritas en los anteriores ámbitos (alteraciones del régimen hidrológico, geomorfológicas, y de calidad química y fisicoquímica de las aguas) se produce una disminución tanto en la cantidad como en la calidad de los hábitats presentes, por lo que cabe esperar que ello se traduzca en comunidades biológicas empobrecidas.

Así por ejemplo, la regularización de caudales da lugar a un excesivo crecimiento de macrófitos, mientras que el comportamiento errático de caudales aguas abajo de centrales hidroeléctricas se correlaciona con comunidades de invertebrados bentónicos empobrecidas. La riqueza de las comunidades de peces se ve afectada por la disminución en la complejidad de los hábitats (eliminación por ejemplo de rápidos y remansos), así como por los cambios en la extensión y duración de las inundaciones (Bunn & Arthington, 2002).

Los parámetros microbiológicos también se muestran alterados, especialmente tras episodios de lluvias en los que se incrementa la materia fecal descargada al río a través de vertidos y alivios de los sistemas de saneamiento y depuración. Como consecuencia, las densidades de bacterias que se encuentran en los ríos de entornos urbanos son habitualmente elevadas (Paul & Meyer, 2001).

Los problemas también pueden extenderse más allá del lecho cuando por efecto de la incisión la lámina de agua desciende por debajo de la zona radicular de la vegetación de ribera (Bernhardt & Palmer, 2007). Los encauzamientos u ocupación de las márgenes de los ríos desencadenan también esta problemática.

En cuanto a las invasiones por parte de especies exóticas, estas tienen una mayor probabilidad de ocurrencia con caudales estacionalmente estables, condiciones en las que desplazan a las comunidades autóctonas adaptadas a flujos más variables y a hábitats más heterogéneos (Bunn & Arthington, 2002). De igual modo, estas especies son más

susceptibles de colonizar aquellos cursos fluviales con calidad de agua alterada (González et al., 2007).

Cabe señalar que en las comunidades biológicas existen diferentes afecciones entre las distintas zonas urbanizadas, debido en parte a las diversas alteraciones geomorfológicas y de calidad de las aguas que pueden tener lugar (canales de hormigón o cauces más naturalizados, diferentes grados de contaminación química...) (Bernhardt & Palmer, 2007).

Por último, los impactos sobre la hidromorfología derivados de la urbanización pueden tener efectos importantes sobre funciones clave de los ecosistemas fluviales. En tramos canalizados, por ejemplo, se ha descrito un descenso en la retención de nutrientes, de sedimentos y de materia orgánica, así como en la función respiratoria (Elosegi & Sabater, 2012).

Tabla 1.- Relación entre las presiones derivadas de la urbanización del suelo y los impactos producidos en los sistemas fluviales.

Fuente: elaboración propia a partir de la información recogida en Paul & Meyer, 2001; Bunn & Arthington, 2002; Rocha & Alves, 2004; Walsh et al., 2005; Chin, 2006; Findlay & Taylor, 2006; Bernhardt & Palmer, 2007; González et al., 2007; Gurnell et al., 2007; Ollero & Romeo, 2007.

PRESIONES		IMPACTOS			
		Hidrología	Geomorfología	Calidad FQ-Q	Calidad biológica
Contaminación	Fuentes de contaminación puntual (vertidos, alivios ARUs)			Incremento MO, nutrientes, sustancias químicas. Eutrofización	Alteración comunidades bentos, ictiofauna, macrofitos, algas. Introducción EEI e incremento microbiología
	Fuentes de contaminación difusa (ARUs, agroganad.)			Incremento MO, nutrientes, sustancias químicas. Eutrofización	Alteración comunidades bentos, ictiofauna, macrofitos, algas. Introducción EEI e incremento microbiología
Extracciones y travases	Abastecimiento	Disminución caudal circulante		Disminución capacidad dilución	Reducción diversidad bentos, ictiofauna, macrofitos, veg.ribera
	Extracc.Hidroeléctricas	Disminución caudal circulante		Disminución capacidad dilución	Reducción diversidad bentos, ictiofauna, macrofitos, veg.ribera
	Travases	Incremento caudal circulante en cuenca receptora, regularización caudales	En función del caudal trasvasado	Según calidad cuenca cedente-receptora	Según características cuenca cedente-receptora. Introducción EEI
Morfológicas	Presas y azudes	Alteración régimen de caudales (regularización, disminución número de crecidas)	Incisión, alteración flujo sedimentario, simplificación	Variable según altura de la toma (agua epi-hipolimnética)	Disminución riqueza y diversidad en bentos, ictiofauna, veg.ribera; crecimiento excesivo macrofitos)
	Protección márgenes (encauzamientos, defensas)		Incisión, modificación pendiente, incremento colmatación (cuando existe tendencia)	Alteración régimen térmico	Disminución riqueza y diversidad en bentos, ictiofauna, macrofitos, veg.ribera...
	Dragados		Incisión, alteración flujo sedimentario,		Disminución riqueza y diversidad/desaparición comunidades bcas (bentos)
Usos del suelo	Impermeabilización	Incremento escorrentía, disminución infiltración y ET. Desconexión aguas subterráneas-aguas superficiales	Descenso aporte sedimentos, incisión, ensanchamiento cauce (incremento erosión)	Incremento contaminantes (escorrentía), alteración régimen térmico	Disminución riqueza y diversidad en bentos, ictiofauna, vegetación de ribera.
	Ocupación espacio fluvial	Alteración flujo (incremento velocidad corriente, disminución disipación)	Incremento de erosión lineal y lateral en crecida, incremento de sedimentación en laminación	Incremento contaminantes (ausencia/reducción filtro)	Alteración/Desaparición comunidades bcas (vegetación de ribera)

### 1.3.2. Rehabilitación de ríos urbanos

Existen diferentes conceptos para referirse a un proceso de recuperación de los sistemas fluviales, que difieren básicamente en los objetivos que se consiguen con ellos (Figura 6).

En palabras de Wohl et al. (2005) se entiende por *restauración* una forma de auxiliar, mejorar y establecer los procesos hidrológicos, geomorfológicos y ecológicos en una cuenca hidrográfica degradada, sustituyendo los elementos biológicos del sistema natural perdidos o dañados. Se trata de devolver al sistema fluvial su estructura, territorio y dinámica a partir de la eliminación de las presiones e impactos que ocasionan su degradación (Ollero, 2015).

El término de *rehabilitación* alude a la recuperación de un funcionamiento lo más natural posible, restableciendo algunos elementos, procesos o funciones importantes (Ollero, 2015), pero sin llegar a su estado original. Es un concepto que admite la imposibilidad, en ocasiones, de eliminar todas las presiones e impactos que un sistema fluvial soporta.

Descendiendo en la escala del grado de recuperación se instalan otros conceptos como *mejora*, cuando se consigue incrementar el valor ambiental de un sistema natural aunque no su recuperación integral como sistema, o incluso la *creación o sustitución*, en aquellos casos en los que se construye un sistema natural que sustituye el original por ser este inviable (Ollero, 2015).

En el caso de los ríos urbanos, debido a su estado de degradación, Findlay & Taylor (2006) encuentran como solución más pragmática la *remediación*, que si bien no resulta en la restauración del sistema, promueve mejoras en términos de incremento de la riqueza específica y del funcionamiento del ecosistema. Otros autores (Petts, 2006) consideran más apropiado los términos de rehabilitación o mejora para estos sistemas.



Figura 6.- Conceptos básicos dentro del campo de la recuperación de los sistemas fluviales.

#### Experiencias de rehabilitación fluvial en áreas urbanas

En lo que respecta a la gestión de los sistemas fluviales en el ámbito urbano, los principales objetivos a lo largo del siglo XX han estado centrados en la protección frente a inundaciones y de la salubridad, a costa si era necesario de otras prestaciones públicas o de la salud de los

ecosistemas. Como se ha descrito en apartados anteriores, la urbanización ha tenido un papel predominante en el deterioro de los ecosistemas fluviales. Por ello, aunque estos objetivos siguen siendo prioritarios, han ido surgiendo nuevos enfoques que buscan, además de garantizar la seguridad de los ciudadanos, la mejora de la condición ecológica de los ríos (Walsh et al., 2005).

Cuestiones como la percepción de pérdida de paisaje, de especies y de ecosistemas que se ha venido produciendo como consecuencia del desarrollo económico y demográfico, con la consecuente pérdida de biodiversidad natural y de servicios ambientales, han propiciado el incremento de actividades en restauración fluvial a lo largo de las dos últimas décadas (González del Tánago et al., 2012). El mismo patrón se observa para el caso de los ríos de cuencas urbanizadas: el impacto que los cambios en el uso del suelo ha producido sobre la capacidad de los ecosistemas para ofrecer servicios ambientales (Postel & Richter, 2003) se ha traducido en el inicio de mayores inversiones para la rehabilitación de ríos urbanos.

Estos nuevos enfoques ganan peso con la aprobación de normas europeas como la *Directiva 2000/60/CE, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas* (en adelante DMA), o la *Directiva 2007/60/CE, sobre la evaluación y gestión de los riesgos de inundación* (en adelante Directiva de inundables), que requieren a los Estados Miembros unos planes de gestión de cuencas hidrográficas en los que se incluyan programas de restauración que ayuden a conseguir la recuperación del estado ecológico de los ecosistemas acuáticos.

En el contexto internacional, Estados Unidos se muestra como uno de los países con mayor tradición en restauración fluvial, registrándose actuaciones en este ámbito desde los años setenta. El trabajo realizado por Bernhardt et al. (2005) recopila y analiza los proyectos de restauración llevados a cabo en siete regiones de los Estados Unidos en una base de datos denominada *The National River Restoration Science Synthesis* (NRRSS). Al objeto de servir como una herramienta de transferencia de conocimientos y experiencias, se analizaron 37.000 proyectos de restauración fluvial llevados a cabo a lo largo de treinta años. Este estudio evidencia que los mayores esfuerzos presupuestarios se concentran en áreas urbanas. Apuntan como motivo su mayor estado de degradación, aunque también la necesidad de proteger infraestructuras, o incluso la idea de que el dinero de los contribuyentes debe ser invertido en su entorno más inmediato. Esta información ha sido útil para poner de manifiesto qué tipo de actuaciones se han estado llevando a cabo como proyectos de restauración en ríos de áreas urbanas, siendo las más frecuentes las relacionadas con la gestión de aguas pluviales, la estabilización de taludes para minimizar la erosión, actuaciones sobre la forma del río y el control de la pendiente (en ocasiones para recuperar las condiciones naturales, pero también basados en diseños ingenieriles para minimizar la erosión), y gestión de la vegetación de ribera. Puede observarse por tanto que en ocasiones las actuaciones no responden al verdadero concepto de “restauración” fluvial, aunque así se denominen.

Una experiencia similar al NSSRR se ha llevado a cabo también en Australia, *The Australian River Restoration Database* (ARRD), para intercambio de información y experiencias en el ámbito de la restauración fluvial. Se desconoce el éxito de esta herramienta, dado que en el momento de elaboración del presente trabajo no fue posible localizar información actualizada sobre ella.

En todo caso, las afecciones de la urbanización sobre los ríos han centrado en los Estados Unidos la atención de diversas agencias, organizaciones y gobiernos estatales. Por citar algunos ejemplos, en el estado de California se dispone de un programa específico para la recuperación de ríos urbanos (*The Urban Streams Restoration Program*) que ofrece ayudas a las comunidades desde el año 1985 para acometer este tipo de proyectos. Se buscan como objetivos la reducción de los daños por erosión e inundación, así como la protección del valor natural de los ríos y la promoción de la participación de los ciudadanos. Los proyectos realizados se centran fundamentalmente en pequeños tramos sobre los que se realizan revegetaciones, y actuaciones para mejorar la funcionalidad de la llanura de inundación.

La organización no gubernamental *American Rivers* trata de reconectar a las comunidades con los ríos de sus ciudades a través de diversas actividades, al tiempo que destina esfuerzos al apoyo de distintas actividades de recuperación, con objetivos que buscan en general la revitalización de ciertas zonas de la ciudad, y la mejora de los sistemas de drenaje urbano. Un ejemplo de estas actividades son las conocidas como "*Daylighting*". Esta expresión se refiere a la recuperación de ríos o tramos de ríos canalizados bajo tierra al objeto de devolverles parte de su naturalidad, o al menos, el contacto con el aire libre. Se contempla incluso dentro de este concepto la denominada recuperación cultural, aquella que tiene lugar cuando no se produce el descubrimiento del río, pero se informa a la ciudadanía de los lugares por los que discurría el curso histórico. Casos emblemáticos bajo este epígrafe son el Saw Mill River, en el estado de Nueva York, el Thornton Creek, en Seattle (Washington), Arcadia Creek en Kalamazoo (Michigan), o Bee Branch Creek, en Iowa, aunque se han llevado a cabo y planeado muchos proyectos de este tipo en todo el mundo. Por citar algunos ejemplos, el río Cheonggyecheon en Seúl (Figura 7), o el río Hastings Creek en Vancouver (Canadá).

En Canadá se está llevando a cabo desde el año 1994 una experiencia interesante de gestión integral de cuenca, *The Don River Watershed Plan* (Toronto), con una fuerte presión urbana y residencial. Con este plan se pretenden solucionar los problemas existentes de inundaciones, erosión, calidad del agua y deterioro de las comunidades acuáticas y terrestres asociadas.

En el caso de Europa, si bien la restauración de ríos en general se produce a una menor escala, es cierto que debe enfrentarse a una mayor historia de impactos, con proyectos de encauzamientos y modificaciones sobre los cursos fluviales que se remontan a épocas medievales (Eden & Tunstall, 2006; Palmer et al., 2007).

Los proyectos centrados en áreas urbanas fueron escasos durante el despegue en la década de los noventa de la restauración fluvial (Schanze et al., 2004). En los últimos años se ha producido un incremento considerable, aunque sigan siendo minoría frente a otros proyectos de recuperación. De este modo, se han llevado a cabo programas locales y regionales de recuperación que bien parcialmente o bien de forma exclusiva incorporan ríos de ámbitos urbanos, como es el caso del río Rhin (*The Banks of the Rhine River 2006*, Francia-Alemania), el río Isar en Munich (*Isar Plan*, Alemania) (Figura 7), la recuperación de ríos en Zurich (*Stream concept of the city of Zurich*, Suiza) o en el Reino Unido (*The London Rivers Action Plan*, restauración del río Irwell).



Figura 7.- Ejemplos de rehabilitación fluvial de tramos urbanos. Río Cheonggyecheon antes (A) y después (B) del proyecto de recuperación fluvial. Fuente: *Landscape Architecture Foundation*. (C): proyecto de restauración del río Isar en Munich. Fuente: *Restore Project* (2013).

Especialmente interesantes son las redes europeas que se han establecido como herramientas de transferencia y difusión de experiencias y conocimientos, que aunque focalizadas en la restauración de ríos en general, permiten acercarse a algunas experiencias llevadas a cabo en ríos urbanos. El *European Centre for River Restoration* (ECRR), red europea que integra diferentes centros, organizaciones e instituciones que trabajan en la restauración de ríos, se hace eco por ejemplo de actuaciones realizadas sobre sistemas fluviales que han sufrido alteraciones como rectificaciones, canalizaciones o enterramientos por efecto de la urbanización, y que por tanto permiten conocer diversas técnicas aplicadas en diferentes experiencias a nivel europeo.

El recurso interactivo Wiki, liderado desde varios proyectos europeos (RESTORE, gestionado desde el *River Restoration Centre* del Reino Unido, y REFORM y FORECASTER, liderados por Holanda), recopilan experiencias de restauración fluvial entre las que es posible consultar de igual modo prácticas llevadas a cabo sobre ríos afectados por la urbanización.

Pero hay dos proyectos llevados a cabo en Europa que se centran específicamente en ríos de áreas urbanizadas y que por tanto merece la pena mencionar: el *Urban River Basin Enhancement Methods* (URBEM Project), y el *Environmental Sustainability Indicators for Urban River Management*, dentro del proyecto SMURF (*Sustainable management of urban rivers floodplains*).

El primero de ellos, finalizado en el año 2006, se llevó a cabo al objeto de proporcionar un marco en el que desarrollar proyectos de rehabilitación de ríos urbanos, teniendo en



consideración diferencias regionales en el uso y afecciones de los ríos dentro de Europa. Como resultado, se desarrolló una herramienta para planificar, implementar y mantener proyectos de rehabilitación de ríos urbanos que permitan alcanzar el buen potencial ecológico que promulga la DMA.

En cuanto al proyecto incluido dentro del proyecto SMURF, centrado en un proyecto de restauración urbana en la ciudad de Birmingham (Petts, 2006), la idea consistió en el desarrollo de un sistema de indicadores específicos para la valoración de ríos urbanos, denominado *Urban River Survey* (URS), basado en el índice *River Habitat Survey* (RHS), método desarrollado en el Reino Unido para la evaluación hidromorfológica de los ríos<sup>6</sup>. El objeto del URS es la caracterización de la calidad morfológica (estructura física) de tramos urbanos, de forma que se pueda obtener una predicción de los hábitats existentes que permita establecer recomendaciones de gestión. Actualmente, el URS ha evolucionado hacia el *Stretch habitat Quality Index* (SHQI), combinando las consideraciones físicas del URS, con indicadores de vegetación y de materiales (tipo de sustrato y protección de márgenes).

En el contexto nacional, los esfuerzos a nivel de restauración fluvial pueden concretarse en dos iniciativas: por una parte, la Estrategia Nacional para la Restauración de Ríos (ENRR) se iniciaba en el año 2006 bajo el objetivo general de impulsar la gestión de los ríos de forma que alcancen el buen estado ecológico requerido por la DMA. Por otra parte, vinculado al ECRR, se creaba en el año 2008 el Centro Ibérico de Restauración Fluvial (CIREF), asociación sin ánimo de lucro constituida al objeto de, entre otras cuestiones: defender los valores de los ecosistemas fluviales, colaborando en la lucha contra su degradación por contaminación, dragado, encauzamiento, regulación, embalses y ocupación de sus riberas y zonas inundables; promover el intercambio de información entre los diferentes profesionales que desarrollan proyectos de restauración fluvial o que participan a nivel conceptual en su desarrollo, con el fin de mejorar su nivel técnico.

En lo que respecta al caso concreto de los ríos urbanos, señalar que la ENRR abordaba específicamente este tema en unas mesas de trabajo llevadas a cabo en el año 2007 (González et al., 2007), al objeto de mejorar la formación de los técnicos y la coordinación entre las diferentes administraciones con competencias en la materia.

De todas formas no es fácil conocer las experiencias llevadas a cabo centradas en la rehabilitación de ríos urbanos. No existen bases de datos ni redes de transferencia de conocimiento específicas, lo que dificulta el poder acercarse de forma precisa a este tipo de rehabilitaciones y evaluar qué es lo que se ha estado haciendo en nombre de la restauración de ríos en las áreas urbanas. Aun así, hay experiencias conocidas como son los casos del desencauzamiento del río Gállego en Zaragoza, la rehabilitación del río Huécar a su paso por Cuenca, o la del río Besòs en Barcelona.

---

<sup>6</sup> <http://urbanriversurvey.org/> (fecha de consulta: 19/12/2015)

Según el Informe de Situación de la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos de noviembre de 2012, dentro de las actuaciones realizadas en el marco de la ENRR se observan principalmente obras de estabilización de taludes con técnicas de bioingeniería para su posterior revegetación, que si bien pueden ser discutibles en el marco de auténticas actuaciones de restauración fluvial, pueden tener encaje dentro de actuaciones en áreas con cierto grado de urbanización en las que no haya espacio suficiente para reactivar la dinámica fluvial. No se advierten proyectos que actúen directamente sobre tramos urbanos.

Sí hay sin embargo actuaciones que sin estar centradas sobre tramos urbanos de ríos, repercuten en una mejora de los riesgos de inundación en estas zonas al actuar sobre la recuperación de llanuras de inundación de tramos situados aguas arriba. Tal ha sido el caso por ejemplo del río Órbigo y el arroyo de la Vega, ambos en la provincia de León.

### 1.3.3. Urbanización y ríos en la DHGC

Según la Ley 9/2010, de aguas de Galicia, la DHGC comprende el territorio de las cuencas hidrográficas comprendidas íntegramente dentro de la Comunidad Autónoma de Galicia, junto con las correspondientes aguas de transición y las aguas costeras delimitadas de acuerdo con lo que indica la normativa vigente. Con una superficie de aproximadamente el 44% del territorio gallego (12.991 km<sup>2</sup>), posee el ~75% de la población (2.070.645 habitantes, según el censo de 2013 del Instituto Gallego de Estadística), lo cual refleja la mayor concentración de población que se da en esta zona del territorio gallego. De hecho, acoge cuatro de las seis grandes áreas urbanas definidas en Galicia (Ministerio de Fomento, 2015).

Al ser la zona en la que se concentra la mayor parte de la población gallega, la DHGC es la que en mayor medida ha experimentado el tránsito de la Galicia rural a las regiones urbanas, descrito por Precedo et al. (2008) como un proceso de doble urbanización: una directa, el crecimiento urbano, y otra indirecta, el despoblamiento rural. No obstante, se ha descrito una ralentización en la tendencia de concentración de la población en los núcleos urbanos (con población superior a los 10.000 habitantes) a partir del año 1981 (Fernández et al., 2014). Ello no quiere decir que se haya paralizado el proceso de concentración de la población en las áreas urbanas, sino que son los núcleos urbanos medios y pequeños de las periferias de las grandes ciudades los que experimentan crecimientos poblacionales más intensos. Un aspecto curioso es que estos mismos autores encuentran que este efecto no está produciendo una disminución de la dispersión poblacional característica de Galicia (que con apenas el 5,8% de la población española aglutina la mitad de las entidades de población existentes en España), dado que la pérdida de población que se produce en ciertos municipios medianos (entre 2.000 y 10.000 habitantes) en favor de los núcleos más importantes o de sus alrededores provoca la disminución de su categoría, lo que se traduce en un incremento del porcentaje de población en ayuntamientos pequeños (de menos de 2.000 habitantes).

En todo caso y en lo que a este trabajo respecta, se reconoce en la DHGC un escenario de creciente urbanización, y ante ello, resulta necesario evaluar cuál ha sido el efecto de este proceso de “tránsito de lo rural a lo urbano” sobre los sistemas fluviales.

### Actuaciones fluviales en el ámbito urbano de la DHGC

En la DHGC están incluidos total o parcialmente 47 municipios considerados como urbanos, es decir, con una población superior a los 10.000 habitantes. Con respecto a las grandes áreas urbanas definidas por el Ministerio de Fomento, se engloban dentro de la DHGC el área urbana de Vigo-Pontevedra, de A Coruña, de Santiago de Compostela y de Ferrol (Figura 8).

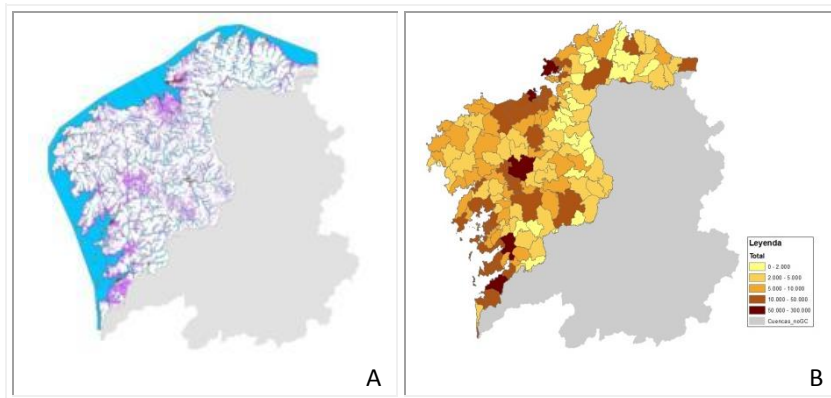


Figura 8.- Distribución del suelo urbano (A) y población por municipios (B) en la DHGC.

Fuente: Plan Hidrológico de Galicia-Costa e Instituto Gallego de Estadística. Datos de población referidos a 2014.

Habiendo revisado los proyectos disponibles en el organismo de cuenca (Aguas de Galicia) sobre las actuaciones llevadas a cabo en diferentes tramos fluviales de los municipios más poblados de la demarcación, puede concluirse lo siguiente:

Muchas de las actuaciones fluviales que se han realizado en áreas urbanas son antiguas, por lo que no es posible hoy en día localizar información sobre su ejecución. Se trata sobre todo de actuaciones convencionales de encauzamientos o canalizaciones soterradas antiguas en ciudades como Vigo (río Lagares), A Coruña (río Mesoiro), Santiago de Compostela (ríos Sar y Corgo), Pontevedra (ríos Lérez y Gafos) o Vilagarcía de Arousa (Río Con). De este modo se ha ganado espacio para urbanizar, aunque como consecuencia algunas de ellas sufren ahora problemas recurrentes de inundaciones (lo que ha conducido a la ejecución de más actuaciones estructurales de defensa) o presentan ríos subterráneos transformados en colectores de aguas residuales.

En ocasiones no se conoce siquiera el destino de tramos fluviales que han quedado sepultados bajo áreas urbanizadas. Llamativo resulta el caso de un afluente del río Con que discurría canalizado por unos garajes sin que se supiera de su situación hasta que en las inundaciones ocurridas en el año 2006 se excedió la capacidad de la conducción y se produjeron inundaciones en los inmuebles (Figura 9).

Algunas de estas actuaciones convencionales se han seguido produciendo de todas formas en los últimos 25 años, bien como defensa ante inundaciones, bien por necesidad de ganar espacio para el desarrollo urbanístico, o bien por ambas causas. Así por ejemplo, y por citar acciones concretas, un tramo del río Mesoiro en A Coruña era enterrado para la construcción del Recinto Ferial en el año 1999, y una parte del río Con a su paso por el municipio de Vilagarcía de Arousa se canalizaba y rectificaba en el año 2005 ante la necesidad de desarrollar una parcela clasificada como suelo urbano. Otro ejemplo lo supone la canalización del río Anllóns a su paso por Carballo iniciada en el año 1995 con motivo de la construcción de la estación depuradora de aguas residuales y el sistema de colectores, que ha transformado el río en un canal (Figura 9).

Dentro del capítulo de protección ante inundaciones, una de las mayores actuaciones a las que se ha sometido un curso fluvial en la DHGC fue la construcción del canal artificial de derivación del río Sar finalizada en el año 1996, que se añadía a las continuas rectificaciones y canalizaciones sufridas por el río a su paso por el ayuntamiento de Padrón.

Como herencia de muchas de estas actuaciones, en la actualidad se multiplican los trabajos encaminados a corregir algunos de los desperfectos ocasionados en el pasado. Así, se han estado acometiendo obras para la reconducción de vertidos a la red de saneamiento en ríos como el Inxerto y Tronco, en Ferrol, el río Mesoiro, en A Coruña, o el río Sar, en Santiago de Compostela. Menos obras se han realizado para la separación de las redes unitarias de aguas pluviales y aguas residuales tan extendidas en las ciudades de la demarcación. Se han realizado algunas actuaciones en el río Lagares, en Vigo, entre los años 1999 y 2001, y en algunas urbanizaciones de recientes creación, como la urbanización de Fontiñas en Santiago de Compostela.

Continuas son también las actuaciones que se llevan a cabo en un intento por luchar contra las respuestas que los ríos manifiestan como consecuencia de la alteración de sus equilibrios erosivo-sedimentarios provocados por las agresiones a las que han sido sometidos. Así, son frecuentes las labores de limpiezas y dragados de cauces y márgenes en los que se producen acumulaciones de sedimentos y vegetación (río Sar a su paso por los ayuntamientos de Padrón, Ames y Santiago de Compostela, río Anllóns en Carballo, río Con en Vilagarcía de Arousa, etc.), así como de protecciones de márgenes afectadas por procesos de erosión (río Sar en Extramundi, río Léz en Pontevedra).

A partir del año 2000 se observan cada vez más intervenciones destinadas a poner en valor los ríos desde un punto de vista recreativo, a través de la construcción de paseos fluviales, sendas peatonales y carriles bici. Son ejemplos los casos del rego dos Pasos en Bertamirás, el río Trabe en Culleredo, el río Arteixo en Arteixo (Figura 9), o el río Gafos en Pontevedra. Algunas de estas actuaciones han estado acompañadas por modificaciones y rectificaciones en los cauces, como los casos del rego dos Pasos o el río Arteixo, y otras (las menos) han intentado mantener unas condiciones más naturales, como ha ocurrido en el tramo inicial del río Gafos.

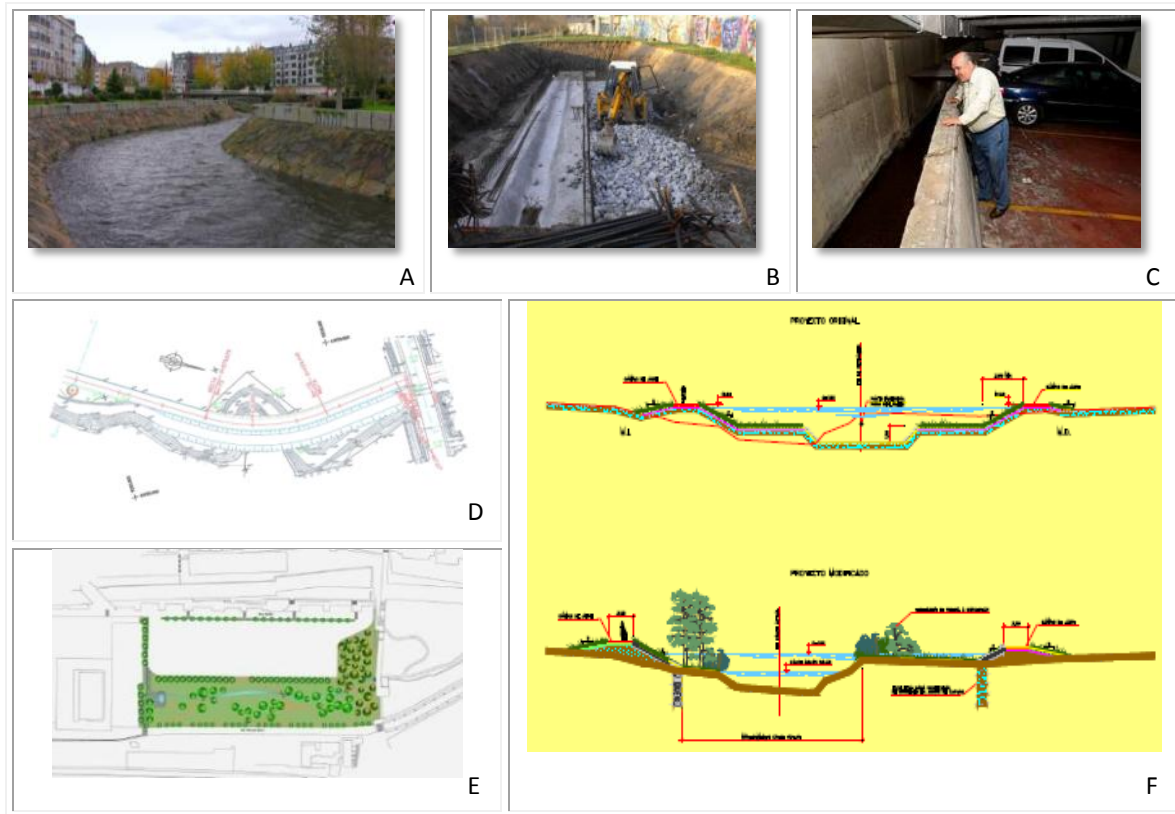


Figura 9.- Algunas actuaciones fluviales realizadas en áreas urbanas de la DHGC.

(A): canalización del río Anllóns a su paso por Carballo. Foto: Luis Miguel Bugallo Sánchez; (B): construcción de un tanque de tormentas en Vigo. Foto: Aguas de Galicia; (C): canalización de un afluente del río Con a través de un garaje en Vilagarcía de Arousa. Foto: A Voz de Galicia; (D): rectificación del río Arteixo para la construcción de un paseo fluvial. Fuente: Aguas de Galicia; (E): proyecto de recuperación del río Corgo en Santiago de Compostela. Fuente: ayuntamiento de Santiago de Compostela; (F): modificación del proyecto de intervención sobre el río Mero. Fuente: Confederación Hidrográfica Miño-Sil.

Pendientes de todas formas quedan las verdaderas actuaciones de rehabilitación fluvial, aquellas encaminadas a la recuperación de un funcionamiento lo más natural posible, aunque no sea factible llegar a su estado original debido a las limitaciones y condicionantes existentes en los entornos más urbanizados. Algunas actuaciones positivas de todas formas se han advertido en este sentido, eso sí, llevadas a cabo tras demandas ciudadanas.

Tal ha sido el caso de la modificación del proyecto que pretendía canalizar y rectificar el tramo del río Mero comprendido entre la presa de Cecebre y la planta potabilizadora de A Telva, al objeto de evitar inundaciones de las edificaciones instaladas en la llanura de inundación (Figura 9). En el año 2006, la movilización ciudadana a través de la plataforma “Río Mero Natural” conseguía modificarlo hacia un proyecto en el que se respetaba el cauce natural, y se construían motas de defensa alejadas del cauce<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> <http://www.ingenieriadelaagua.com/2004/JIA/Jia2009/fs/DO10rev.pdf> (fecha de consulta: 22/12/2016).

La movilización ciudadana para evitar la canalización del río Mero constituye un ejemplo de respuesta civil para la preservación de los valores naturales. Los integrantes de la Plataforma río Mero natural abanderaron la oposición al proyecto de canalización y rectificación a través de diferentes marchas y actos de protesta con los que se pretendía sensibilizar y acercar la población al río. Se buscaba así la paralización del proyecto a través de la respuesta de la sociedad

También destaca la actuación de *daylighting* de un tramo del río Corgo en una zona urbanizada de Santiago de Compostela (Figura 9). En el año 2011, este tramo veía la luz y se creaba un pequeño parque fluvial, dentro de las peticiones aclamadas desde una plataforma vecinal<sup>8</sup>.

---

civil. Y fue esa respuesta la que consiguió que desde la Administración se buscara una solución más “respetuosa” con el río para paliar los problemas de inundación en este tramo del curso fluvial.

Fuentes: <http://www.riomero.org/>; <http://www.lavozdeg Galicia.es/hemeroteca/2002/06/16/1125228.shtml>;

<http://www.lavozdeg Galicia.es/hemeroteca/2002/09/20/1239229.shtml> (fecha de consulta: 24/02/2016).

<sup>8</sup> [http://www.santiagodecompostela.org/hoxe/nova.php?id\\_nova=6796&lg=ing](http://www.santiagodecompostela.org/hoxe/nova.php?id_nova=6796&lg=ing) (fecha de consulta: 17/02/2016)

## 2. ÁREA DE ESTUDIO

El río Sar, con una cuenca de 266 km<sup>2</sup> de superficie, es el último afluente del río Ulla por su margen derecha (Figura 10). Su nacimiento se sitúa dentro del ayuntamiento de Santiago de Compostela, al este de la ciudad (en las brañas de San Marcos) y a 300 metros de altitud, entre vías de comunicación, parcelas de uso agrícola y residencial, y en las proximidades de un polígono industrial. El río Sar abraza a la ciudad de Santiago por la zona sur, al tiempo que uno de sus primeros afluentes, el río Sarela, lo hace por la zona norte.

Desemboca en las aguas de la Ría de Arousa, tras poco más de 48 km de recorrido y haber atravesado cinco municipios, todos ellos pertenecientes a la provincia de A Coruña.

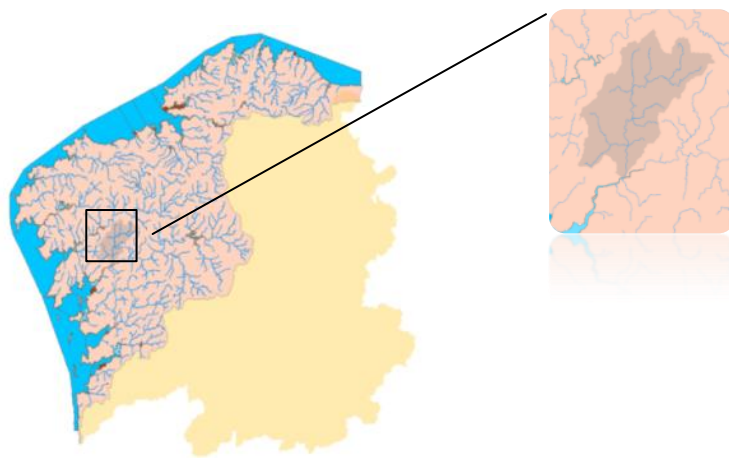


Figura 10.- Plano de localización de la cuenca del río Sar, dentro de la DHGC.

### Clima

En base a los datos de la estación meteorológica situada en Santiago de Compostela<sup>9</sup>, la precipitación anual media se sitúa en torno a los 1.500 mm anuales, con temperaturas medias entre los 13 y los 15 °C.

Según estos datos, a la zona le corresponde el dominio ombrotérmico húmedo-cálido en los sectores altitudinales medios a bajos, pasando a los dominios muy húmedos-templados o cálidos en los sectores de la cuenca más elevados (Figura 11) (Martínez-Cortizas & Pérez-Alberti, 1999; Rodríguez-Gutián & Ramil-Rego, 2007).

Los valores anuales de la evapotranspiración potencial se sitúan entre los 700 y 800 mm en los sectores más elevados de la cuenca, llegando a superarse los 800 mm en los sectores altitudinales medios a bajos (Figura 11) (Martínez-Cortizas & Pérez-Alberti, 1999).

Considerando como aproximación al balance hídrico la diferencia entre la pluviometría y la evapotranspiración potencial, la situación anual es de un exceso hídrico que oscila entre los

<sup>9</sup> Estación de Santiago-San Lázaro (<http://www2.meteogalicia.es/galego/observacion/estacions/listaEstacions.asp>) (fecha de consulta: 22/12/2016).

200 y los 800 mm en función de la zona de la cuenca. Sin embargo, cabe destacar la situación de déficit estival de entre -50 y -200 mm que se produce como consecuencia de la estacionalidad en las precipitaciones (Figura 11) (Martínez-Cortizas & Pérez-Alberti, 1999).

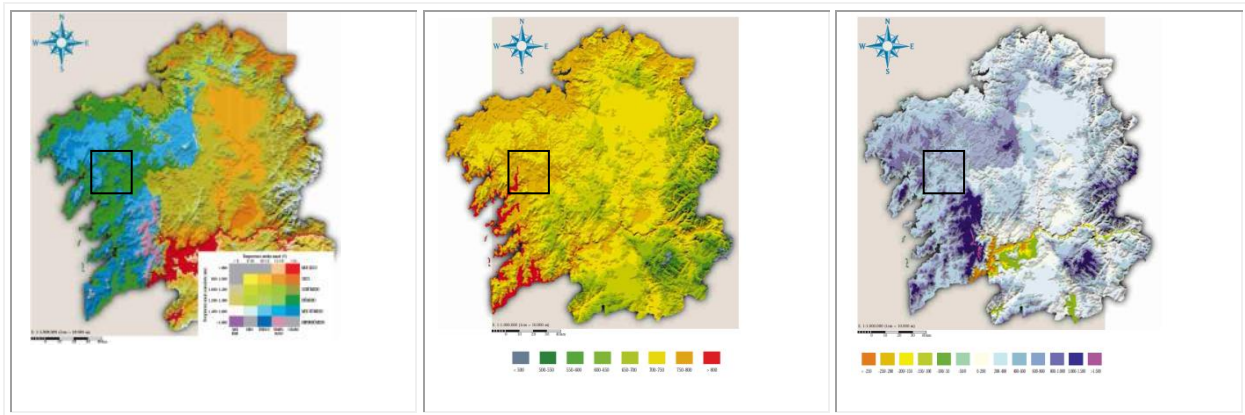


Figura 11.- Dominios ombrotérmicos (A), evapotranspiración potencial anual (mm) (B) y balance hídrico anual (mm) (C) en la Comunidad Autónoma de Galicia.

Se enmarca en negro la zona de la cuenca del río Sar. Fuente: Atlas Climático de Galicia.

### Fisiografía

El río Sar atraviesa en su recorrido sucesivas elevaciones y vaguadas, lo que configura una topografía modelada y de formas redondas. La morfología se caracteriza por un relieve más accidentado en su cuadrante NE, con abundantes montes distribuidos de modo irregular, pero que no llegan a constituir sierras. Ello hace que las pendientes del cauce determinen, en general, dos tramos diferentes: una primera parte de pendientes más elevadas y pequeño calado, en la que incluso se encuentran algunos tramos en los que los rápidos son frecuentes; y otra zona constituida por los tramos medio y final del río, en la que este cambia por completo sus características y pasa a tener abundantes meandros al tiempo que el lecho se hace más profundo y las aguas más lentas (Figura 12).

### Geología

Geológicamente dentro de la cuenca se encuentran tres dominios (Figura 12):

- El dominio del Complejo de Órdenes, constituido fundamentalmente por esquistos y gneises félsicos de la unidad de Santiago-Lalín, y un conjunto de rocas básicas y ultrabásicas formado por anfibolitas y metabasitas en facies anfibolita. Se trata de materiales con permeabilidades bajas a muy bajas-impermeables, asociadas a porosidad intergranular y a porosidad por fracturación. Este dominio aparece en la zona de Santiago de Compostela, en la parte alta del río Sar y su afluente Sarela.
- Un dominio granítico de afinidad alcalina dentro del que se diferencian dos unidades geológicas: la formada por granitos de dos micas del Macizo de Santiago (parte final de los ríos Sar y Sarela en la zona de Santiago de Compostela), y la constituida por granitoides del conjunto granítico de Padrón-Monte Treito (zona media de la



cuenca). Este dominio presenta materiales con baja permeabilidad asociada a porosidad intergranular y a porosidad por fracturación.

- Un dominio formado por depósitos aluviales pertenecientes al período cuaternario (Holoceno) que se encuentra en las zonas más cercanas al río Sar en su tramo bajo, y en la zona de Bertamiráns. Es un dominio con materiales de permeabilidades altas asociadas a porosidad intergranular.

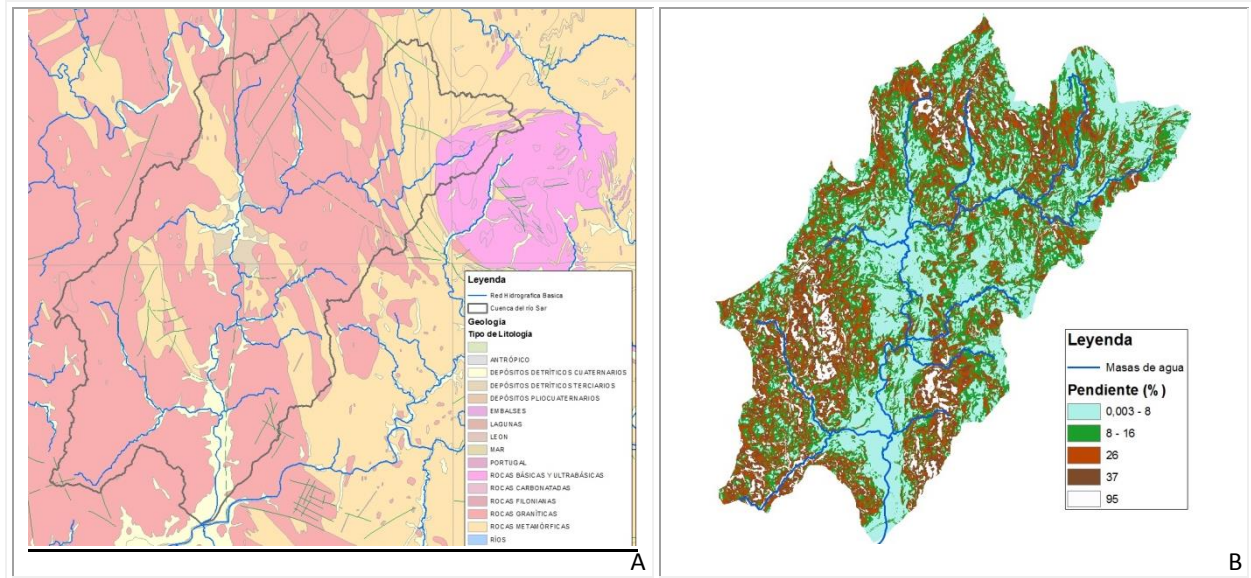


Figura 12.- Plano geológico (A) y plano de pendientes (B) de la cuenca del río Sar.

Fuente: (A) Instituto Geológico y Minero de España en colaboración con el Instituto de Estudios del Territorio de la Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Infraestructuras de la Xunta de Galicia<sup>10</sup>; (B) Elaborado por Augas de Galicia a partir del Modelo Digital del Terreno con paso de malla 5m del Instituto Geográfico Nacional.

### Usos del suelo, zonas de protección y estado de las aguas

Atendiendo a la información del Plan Hidrológico de Galicia Costa 2015-2021<sup>11</sup> (en adelante PHGC 2015-2021) los usos mayoritarios del suelo en la cuenca son los agrícolas y forestales, si bien es destacable la presencia de superficie urbana. Ésta se encuentra sobre todo en la mitad norte de la cuenca, donde se localiza una de las grandes áreas urbanas de la DHGC, correspondiente a Santiago de Compostela y municipios limítrofes (Figura 13).

Gran parte del curso principal del río Sar pertenece a la Zona de Especial Protección comunitaria “Sistema Fluvial Ulla-Deza” (Figura 13). La presencia de hábitats de interés comunitario como los estuarios y los bosques aluviales de *Alnus glutinosa* y *Fraxinus excelsior* son algunos de los motivos de la designación<sup>12</sup>.

La valoración del estado de las aguas evidencia que el río presenta problemas a lo largo de la práctica totalidad de su recorrido (Figura 13). Según la valoración incluida en el PHGC 2015-2021, seis de las nueve masas de agua de la cuenca no alcanzan el buen estado,

<sup>10</sup> <http://mapas.xunta.es/produetos-cartograficos/capas-six/xeoloxia> (fecha de consulta: 16/02/2016)

<sup>11</sup> [http://augas.cmati.xunta.es/tema/c/Planificacion\\_hidroloxica](http://augas.cmati.xunta.es/tema/c/Planificacion_hidroloxica) (fecha de consulta 22/12/2015)

<sup>12</sup> [http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-protegidos/ES1140001\\_tcm7-153495.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-protegidos/ES1140001_tcm7-153495.pdf) (fecha de consulta 16/02/2016).

habiéndose detectado incumplimientos tanto en el estado químico (por presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos) como en el estado ecológico (alteraciones de las comunidades de invertebrados bentónicos, y presencia de diversos parámetros químicos y fisicoquímicos como nutrientes, demanda biológica de oxígeno, conductividad, cobre, etc.).

De modo genérico, las principales presiones a las que el PHGC 2015-2021 responsabiliza de los impactos detectados son presiones por aguas residuales urbanas, presiones difusas por agricultura y alguna presión industrial. Como presiones específicas derivadas de la urbanización, se señalan presiones puntuales por vertidos de aguas residuales urbanas, presiones difusas por urbanización, y presiones hidrogeomorfológicas por la existencia de canalizaciones. En cuanto a las medidas propuestas para la consecución de los objetivos ambientales, estas se refieren únicamente a la mejora del saneamiento y la depuración.

### Zonas Inundables

En la cuenca del río Sar se han definido seis áreas del territorio para las que existe un Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIS) (Figura 13).

Las de mayor envergadura se sitúan en la zona de Ames, en el tramo medio de la cuenca, y en Padrón, en la zona de desembocadura. El resto se localizan en el entorno de Santiago de Compostela y en el río Tinto, afluente de la margen izquierda en la zona media de la cuenca.

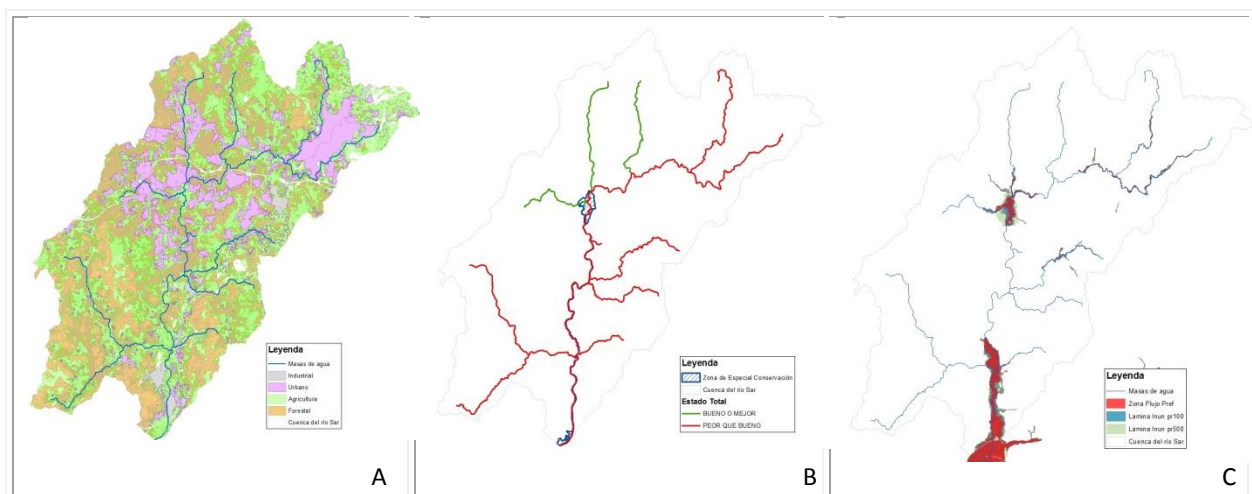


Figura 13.- Información relativa a los usos del suelo (A), estado de las aguas y zonas de protección (B), y Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIS) (C) en la cuenca del río Sar.

Fuente: elaboración propia a partir de la información de Aguas de Galicia.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Bases metodológicas

Teniendo presente el objetivo de este trabajo, la valoración de la afección de la urbanización sobre los ríos en un marco de posible rehabilitación fluvial, es lógico que el enfoque del procedimiento metodológico tenga su punto de partida en las metodologías existentes para abordar los proyectos de restauración fluvial.

La restauración pretende recuperar procesos fluviales, de modo que el sistema fluvial aproxime su funcionamiento al natural o de referencia. Las estrategias en el marco de la restauración fluvial se fundamentan así en un adecuado diagnóstico que permita valorar el estado del sistema con respecto a esa condición de referencia, para posteriormente acometer las medidas necesarias que eliminen o disminuyan las presiones responsables de los impactos sobre los ríos y los acerquen a esa imagen objetivo (González del Tánago & García de Jalón, 2007; Magdaleno & Martínez, 2011; Ollero, 2015).

Esta metodología se muestra acorde con la filosofía sobre la que se fundamenta la DMA a la hora de alcanzar los objetivos ambientales definidos en su articulado, particularmente la consecución del buen estado de las masas de agua. Esta norma establece como primer paso el inventario de las presiones potencialmente significativas que puedan poner en riesgo el cumplimiento de los objetivos ambientales. A través de la valoración del estado de las aguas con una serie de indicadores, se determina el grado de desviación del sistema de lo que sería su condición de referencia (aquella con mínima o nula influencia antrópica), lo que ofrece una medida del impacto que las presiones han ejercido sobre las masas de agua. Con base en estos resultados, se establecen las medidas más efectivas para actuar sobre las presiones responsables del deterioro.

En el caso concreto de los entornos urbanos las implicaciones que existen en torno a la protección y seguridad pública suponen cuando menos una serie de condicionantes, si no limitaciones, a los proyectos de rehabilitación o mejora fluvial. Se debe compaginar, por una parte, la seguridad de las infraestructuras y la protección de las personas frente a las inundaciones, y, por otra, la funcionalidad y dinámica fluvial responsables de proporcionar hábitats para las comunidades biológicas.

Las limitaciones que se imponen conducen a la necesaria reflexión acerca de los objetivos a conseguir con la rehabilitación de los sistemas fluviales. Se debe elegir la opción más conveniente entre los ideales de restauración y las posibilidades reales existentes (Niezgoda & Johnson, 2005; Bernhardt & Palmer, 2007). Es por tanto improbable que un río urbano se pueda restaurar hasta alcanzar su estado natural previo; los objetivos de restauración deben atender a un propósito más pragmático, que persiga el máximo dinamismo y la mínima degradación posibles (Palmer et al., 2005) (Figura 14).



Figura 14.- Etapas de un proceso rehabilitación fluvial:

Determinación de las condiciones de referencia, valoración del grado de impacto en función de la desviación con respecto a las condiciones de referencia, y definición de la imagen objetivo a alcanzar con la rehabilitación fluvial. En la medida en que se consigan eliminar o mitigar las presiones, la imagen objetivo se acercará en mayor o menor medida a las condiciones de referencia.

El cuerpo central de este trabajo lo constituye la parte correspondiente al diagnóstico de la situación actual del río Sar, tratando de comprender los mecanismos que han actuado en su degradación (Figura 15). Con respecto a las otras etapas que conforman el proceso de rehabilitación fluvial (definición de la imagen objetivo y propuestas de actuación), la pretensión es únicamente dejar establecidas unas bases y líneas de actuación que permitan desarrollar trabajos futuros, identificando las necesidades y desafíos que se presentan. Abordarlos de otro modo necesita de estudios de detalle que no son asumibles dentro del alcance del presente trabajo.

Para la realización del diagnóstico se ha seguido un procedimiento basado en tres etapas: (i) selección de los tramos de estudio sobre los que centrar la caracterización fluvial; (ii) recopilación de las presiones derivadas de la urbanización existentes en las cuencas vertientes a los tramos de estudio; y (iii) valoración del impacto sobre el sistema fluvial. Cada una de estas etapas ha requerido de los correspondientes trabajos de gabinete y de campo (Figura 15).

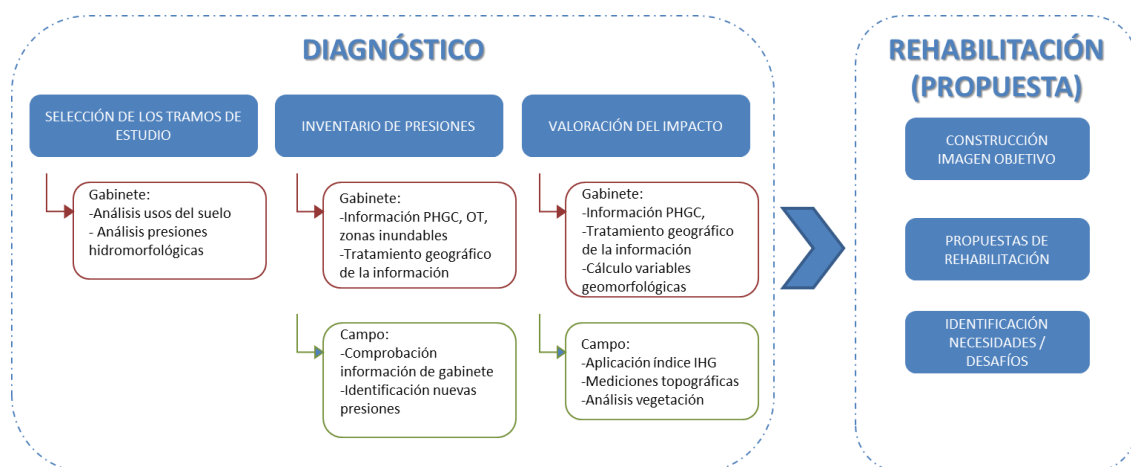


Figura 15.- Síntesis del procedimiento metodológico seguido. PHGC: Plan Hidrológico de Galicia-Costa. OT: ordenación del territorio.

## 3.2. Procedimiento metodológico

### 3.2.1. Selección de los tramos de estudio

Para abordar el análisis de los impactos que la urbanización ha tenido sobre el río Sar se han seleccionado tres zonas: los núcleos urbanos de los ayuntamientos incluidos dentro del área urbana de Santiago de Compostela con mayor presencia en la cuenca del río Sar (Santiago de Compostela y Ames)<sup>13</sup>, y el núcleo urbano de Padrón. El carácter urbano de este último viene definido por la presencia de infraestructuras (edificaciones, vías de comunicación, redes de agua potable y saneamiento) que ocupan la zona baja de la cuenca.

Debido a que no fue posible abarcar toda la extensión del río a su paso por estos núcleos, se procedió a una selección de tramos (denominados sectores) de forma que fuese abordable su estudio en campo.

Los sectores seleccionados han pretendido ser representativos de las diferentes presiones existentes en las zonas de estudio. Para ello, se han seleccionado aquellos sectores representativos de los usos del suelo existentes en el curso del río a su paso por las zonas señaladas anteriormente (núcleos urbanos de Santiago de Compostela, Ames y Padrón), y se han tenido en cuenta las actuaciones acometidas sobre el propio curso fluvial (por ejemplo, presencia de tramos canalizados).

En la Tabla 2 y Figura 16 se muestran los sectores finalmente seleccionados.

Tabla 2.- Sectores seleccionados para la realización del estudio.  
Los datos de población están referidos al 01/01/2014 (censo de Padrón Municipal del INE).

MUNICIPIO	POBLACIÓN	RÍO	CÓD. SECTOR	LONGITUD DEL SECTOR (m)	USOS DEL SUELO
SANTIAGO DE COMPOSTELA	95.800	SARELA	Sarela_Sector1	500	Urbano-Vías comunicación-Agrícola
		SARELA	Sarela_Sector2	600	Urbano-Agrícola
		SARELA	Sarela_Sector3	500	Urbano-Vías comunicación-Agrícola
		SAR	Sar_SC_Sector1	500	Urbano-Vías comunicación-Agrícola-Forestal
		SAR	Sar_SC_Sector2	600	Urbano-Vías comunicación-Agrícola
		SAR	Sar_SC_Sector3	500	Urbano-Industrial-Agrícola-Forestal
AMES	29.975	RIAMONTE	Riamonte_Sector1	500	Urbano
PADRÓN	8.693	SAR	Sar_PD_Sector1	3300	Urbano-Industrial-Agrícola
		SAR	Sar_PD_Sector2 (canal de derivación)	2000	Urbano-Industrial-Agrícola

<sup>13</sup> Según la información del Ministerio de Fomento el Área Urbana de Santiago de Compostela está formada por los municipios de Santiago de Compostela, Ames y Teo ([http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/416CE7FD-A6B0-431D-881B-D1F07664795E/133984/listado\\_2015\\_2.pdf](http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/416CE7FD-A6B0-431D-881B-D1F07664795E/133984/listado_2015_2.pdf)) (fecha de consulta 16/12/2015).

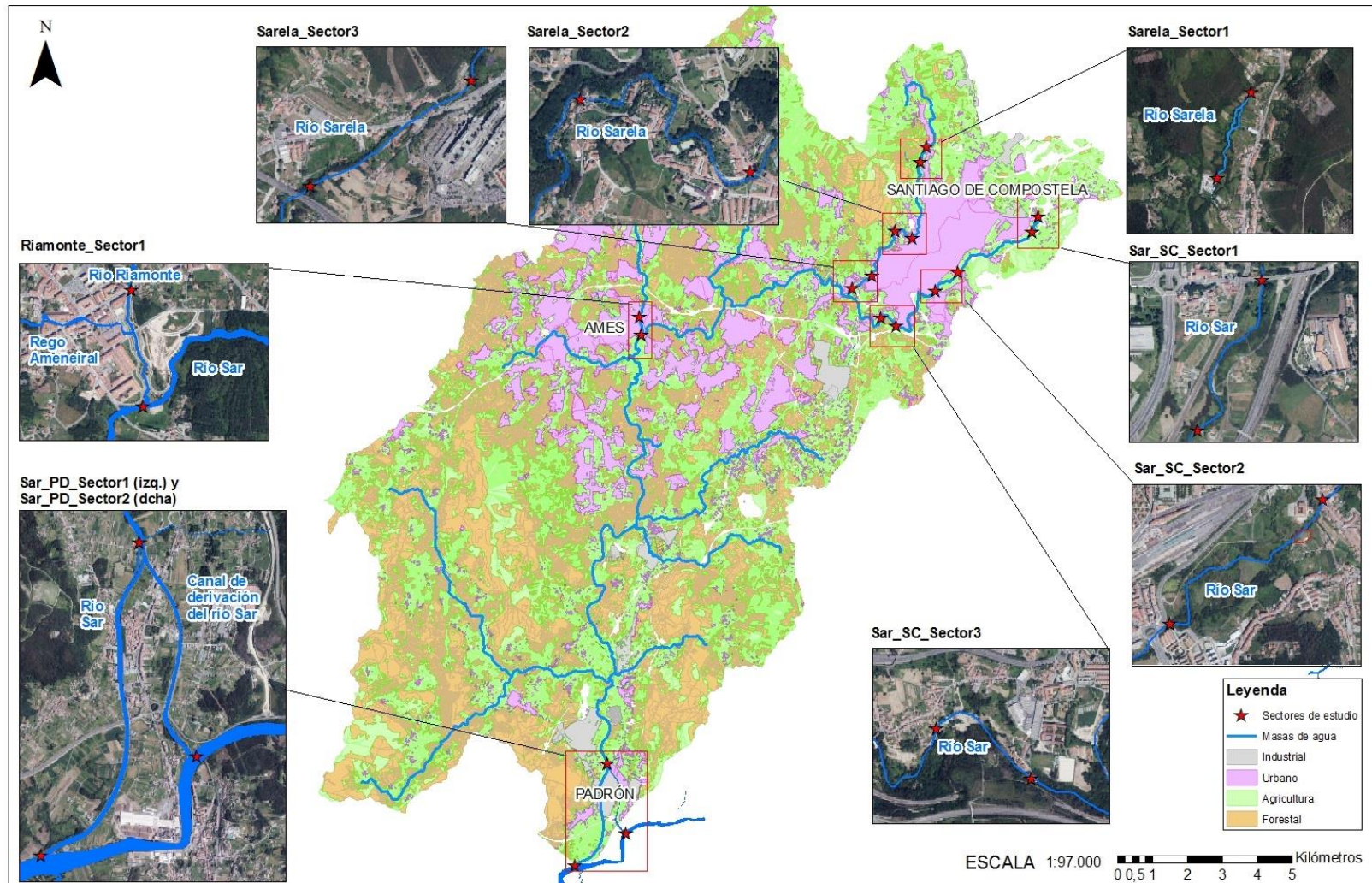


Figura 16.- Localización de los tramos de estudio dentro de la cuenca del río Sar.

En el plano de fondo se representa la cuenca del río Sar con los usos del suelo (industrial, urbano, agrario y forestal), y se identifican las tres zonas de estudio (Santiago de Compostela, Ames y Padrón). Enmarcados en rojo se muestran los sectores de estudio finalmente considerados, las estrellas rojas señalan los puntos de inicio y fin para cada uno. Se ofrece una vista de detalle para cada uno de los sectores.

### 3.2.2. Inventario de presiones

Como un primer paso para el análisis de la situación del río Sar, se han analizado las diferentes tipologías de presiones existentes en las cuencas vertientes a los tramos de estudio. Las presiones consideradas han sido las siguientes:

- Fuentes puntuales de contaminación:

Las presiones por fuentes puntuales de contaminación se asocian a los vertidos procedentes de instalaciones y actividades urbanas (vertidos de plantas de tratamiento de aguas residuales, alivios de la red de saneamiento, vertidos de redes de aguas pluviales procedentes de escorrentía), industriales u otro tipo de actividades económicas.

- Fuentes difusas de contaminación:

Las principales presiones por contaminación difusa se asocian a los cambios antrópicos de los usos del suelo. En este caso importan las presiones derivadas de los usos urbanos e industriales del suelo, así como de la presencia de vías de comunicación.

- Extracciones de agua:

En este caso se ha buscado información acerca de las extracciones para abastecimiento humano, para uso industrial y para riego (aunque esta última no tiene gran incidencia en las áreas de estudio).

- Alteraciones morfológicas:

Se han considerado como alteraciones transversales las presas, los azudes y los puentes. Así mismo, se han considerado las alteraciones debidas a modificaciones longitudinales como canalizaciones, protecciones de márgenes y coberturas de cauces, y otro tipo de alteraciones producidas por el desarrollo de actividades humanas sobre el cauce, como los dragados.

- Alteraciones por regulación de flujo:

Se ha tenido en cuenta la incidencia de la regulación significativa del flujo de agua que se asocia a los desvíos de agua, que implican una presión por extracción sobre la masa de agua de origen y otra por incorporación de un volumen ajeno en la masa de agua de destino.

### 3.2.3. Valoración del impacto

Como se ha visto en los antecedentes de este estudio, las afecciones derivadas de la urbanización (impactos) se producen sobre cuatro ámbitos fundamentales: régimen hidrológico, geomorfología, calidad química y fisicoquímica, y calidad biológica. Para la valoración del impacto sobre los tramos seleccionados se ha procedido a una revisión de los

indicadores disponibles que mejor pueden caracterizar estos cuatro aspectos (los indicadores finalmente seleccionados se incluyen en la Figura 17). De este modo:

### 3.2.3.1. Calidad química, fisicoquímica y biológica

Para la valoración de la calidad química, fisicoquímica y biológica se han utilizado los resultados de los indicadores definidos por Aguas de Galicia dentro del PHGC 2015-2021 para la valoración del estado de las masas de agua. Estos son:

- Calidad química:

Valorada a través del cumplimiento de las normas de calidad establecidas en los Anexos I y II del Real Decreto 60/2011, del 21 de febrero, sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas<sup>14</sup> (recientemente derogado por el Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental).

- Calidad fisicoquímica:

Se basa en el cumplimiento de las normas de calidad establecidas en el PHGC 2015-2021 para la temperatura, las condiciones de oxigenación (oxígeno disuelto, saturación de oxígeno y DBO<sub>5</sub>), la salinidad (conductividad eléctrica a 20°C), las condiciones de acidificación (pH), y los nutrientes (compuestos de nitrógeno y fósforo).

- Calidad biológica:

Valoración de la fauna bentónica de invertebrados a través del sistema “multimétrico específico de tipo” o METI, recogido en el Anexo II de la Instrucción de Planificación Hidrológica de la Demarcación Hidrográfica de Galicia-Costa<sup>15</sup>.

Con respecto a la vegetación, al margen de las valoraciones incluidas dentro de la calidad hidrogeomorfológica (en la que se incluye la vegetación de ribera), se ha realizado dentro de este trabajo una pequeña caracterización del estado de la vegetación de ribera y de las plantas acuáticas presentes en los tramos de estudio al objeto de complementar la información disponible (ver apartado 3.4). No se ha aplicado ningún índice específico, porque la época disponible para el muestreo no era la idónea para realizar este tipo de caracterización (teniendo en consideración la fenología y el periodo vegetativo, la época más favorable para los muestreos se encuentra entre primavera y otoño).

---

<sup>14</sup> Aunque este Real Decreto ha sido recientemente derogado por el *Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental*, la valoración del estado incluida en el PHGC 2015-2021 se ha realizado conforme a las directrices del RD 60/2011.

<sup>15</sup> [http://www.xunta.es/dog/Publicados/2015/20150429/AnuncioO143-270415-0001\\_es.html](http://www.xunta.es/dog/Publicados/2015/20150429/AnuncioO143-270415-0001_es.html) (fecha de consulta 29/12/2015).



### 3.2.3.2. Calidad hidrogeomorfológica

Profundizar en el aspecto hidrológico y geomorfológico de los tramos de estudio requiere de la búsqueda de indicadores específicos, por la especial relevancia de las afecciones que la urbanización genera sobre estos ámbitos.

Los indicadores hidromorfológicos que se han venido utilizando mayoritariamente en el marco de la valoración del estado de las aguas son el índice QBR (Índice de Calidad del Bosque de Ribera, (Munné et al., 2003), y el índice IHF (Índice de hábitat fluvial, Pardo et al., 2002). En el índice QBR el foco se pone especialmente en la valoración del estado de la vegetación de ribera, haciendo alguna reseña al grado de naturalidad del cauce fluvial. En el caso del IHF, basado en el índice RHS (*River Habitat Survey*) y desarrollado para ríos mediterráneos, la valoración se centra en los aspectos físicos del cauce relacionados con la heterogeneidad de hábitats, pero no valora los aspectos hidromorfológicos por sí mismos.

El índice de valoración hidrogeomorfológica IHG, desarrollado por Ollero y otros (Ollero et al., 2008; Ollero et al., 2011) se basa en la afección de las presiones humanas sobre el funcionamiento hidrológico y geomorfológico del sistema fluvial, así como sobre la propia morfología de cauce y riberas. Realiza la valoración de diferentes parámetros distribuidos en tres agrupaciones –calidad funcional del sistema fluvial, calidad del cauce y calidad de las riberas– a través de la cual es posible clasificar los tramos en una de las cinco clases de estado definidas (muy buena, buena, moderada, deficiente, y muy mala). Permite cuantificar los impactos y establecer una relación entre estos, y las presiones que los originan. Por ello, la utilización del IHG se ha considerado especialmente útil para su aplicación a este trabajo.

Para la aplicación del índice IHG se requiere de una subdivisión de los tramos fluviales en sectores en base a unos criterios que deben ser, en coherencia con el índice, hidrogeomorfológicos. Sin embargo, se acepta que para la valoración de detalle de tramos más cortos, como por ejemplo en ámbitos urbanos, se proceda a una división en sectores de longitud regular, sin que necesariamente respondan a criterios hidrogeomorfológicos (Ollero, 2009). Los sectores seleccionados para el presente trabajo (apartado 3.2.1.) cumplen por tanto los criterios señalados.

Como complemento al IHG se han aplicado una serie de variables geomorfológicas con objeto de completar la caracterización en este ámbito. Las variables geomorfológicas seleccionadas han sido:

- Tazado en planta:

En análisis de la morfología del cauce constituye una herramienta básica para analizar los cambios de la morfología en planta, indicador de la dinámica o actividad del río. Es posible además su valoración con respecto al pasado a través de fotografía aérea antigua, lo que permite analizar los cambios producidos con el paso del tiempo.

Para proceder a su evaluación se ha empleado el índice de sinuosidad (Is). El cálculo de la sinuosidad Schumm (1963) puede analizarse a través de diferentes métodos según sea el objeto de cálculo (longitud del cauce, longitud central de meandros, longitud del talweg, longitud del valle...) (Leopold & Wolman, 1956; Brice, 1964; Mueller, 1968). En este trabajo se ha estimado el Is según el método propuesto por Brice (1964), basado en la relación *longitud del cauce/longitud del eje central de meandros*.

En cuanto a los umbrales empleados para diferenciar los cauces rectos de los sinuosos, y estos de los meandriformes, varían según los diferentes autores (Leopold & Wolman, 1956; Miall, 1977; Morisawa, 1985). En este estudio se han adoptado los utilizados por Díaz & Ollero (2005) para la clasificación geomorfológica de los cursos fluviales de la cuenca del Ebro, y por Horacio (2014) para los ríos de Galicia: < 1.05 recto, de 1.05 a 1.3 sinuoso, de 1.3 a 1.5 moderadamente meandriforme y > 1.5 meandriforme.

- Pendiente del cauce y morfología del cauce:

La pendiente de cauce es una variable fundamental para la caracterización de la dinámica fluvial, influyendo también en otras variables geomorfológicas importantes (e.g. caudal geomórfico o la potencia específica).

La morfología del fondo del cauce (facies) también es importante como indicador de funcionalidad. La existencia de diferentes hábitats físicos (pozas, resaltes, saltos, rápidos,...) se encuentra asociada a diversos tipos de flujo, y a su vez se correlaciona con los hábitats funcionales soporte de las comunidades biológicas (Newson et al., 1998).

Para la caracterización de los tramos de estudio se ha utilizado la adaptación realizada por Horacio (2014) a la clasificación de Montgomery & Buffington (1997) para el sistema fluvial gallego, resultando los siguientes tipos: *bedrock* (desarrollado sobre roca), *cascade* (propio de sectores con pendientes muy pronunciadas), *step-pool* (secuencia de saltos y pozas característica de tramos de montaña con pendientes elevadas), *run* o *rapid* (común en tramos de pendiente moderada-alta de cauces relativamente estrechos), *riffle-pool* (secuencia de resaltes y pozas asociada a tramos con un gradiente energético más bajo) y *table* (presente en sectores de pendiente muy baja, fundamentalmente en valles abiertos). Se ha añadido el sufijo “antrópico” cuando la aparición de las facies está se debe a la presencia de algún elemento artificial (por ejemplo, azudes).

- Sección y estructura transversal:

La sección *bankfull*, o de cauce lleno, ofrece información sobre la correcta funcionalidad hidrológica y permite la estimación del caudal *bankfull*.

Para su definición, deben establecerse los límites del cauce lleno o cauce menor, distinguibles en campo a través de la observación de la topografía de las orillas y de la

vegetación, así como de los restos de crecidas (Harrelson et al., 1994; Ollero, 2009; SNCZI, 2011).

Se incluye también la relación anchura/profundidad ( $W/D$ ), definida como la relación entre la anchura de la superficie *bankfull* respecto de la profundidad media del cauce en estado *bankfull*. Su determinación proporciona una valoración rápida de la inestabilidad del canal.

- Caudal *bankfull*:

El caudal *bankfull* se define como aquel que circula por el cauce hasta el punto previo al desborde (Wolman & Leopold, 1957). Normalmente se asocia con el caudal de mayor actividad y eficiencia geomorfológica o caudal generador (Ollero et al., 2011), ya que los procesos de erosión, transporte y sedimentación alcanzan su mayor actividad con caudales cercanos al *bankfull* (Harrelson et al., 1994). Se asume que este caudal se produce con cierta recurrencia, asociado a períodos medios de retorno inferiores a los tres años (Wolman & Leopold, 1957; Leopold, 1994; Ollero, 2015).

Su aplicación para tramos alterados como los de entornos urbanos no deja de estar libre de cierta controversia, dado que las modificaciones en la forma están influenciadas por las alteraciones derivadas de la urbanización (como por ejemplo la incisión, o ensanchamiento) (Niezgoda & Johnson, 2005). En todo caso valores anormales del caudal *bankfull* pueden estar indicando impactos o procesos de reajuste del cauce (Ollero et al., 2011).

Su cálculo se ha realizado a través de la fórmula de Manning a partir de los datos de sección, pendiente, radio hidráulico, y de la estimación de la rugosidad:

$$Q_b = A [(R^{2/3}S^{1/2})/n]$$

Siendo  $A$  la sección *bankfull* ( $m^2$ ),  $R$  el radio hidráulico (m),  $S$  la pendiente (m/m) y  $n$  el coeficiente de rugosidad de Manning.

Una de las grandes dificultades a la hora de aplicar esta fórmula radica en la estimación del coeficiente de rugosidad de Manning. Para la aplicación a este trabajo se han empleado los valores propuestos por Chow (1959), aunque dada la sensibilidad de este parámetro, de proseguirse con la línea de investigación iniciada en este trabajo sería recomendable su comprobación a través de algún otro procedimiento, al objeto de testar su exactitud.

- Potencia específica:

Se relaciona con la energía del río, que determina la capacidad para transportar. Su valor ofrece información sobre el funcionamiento hidrogeomorfológico en general, y valores anormales pueden indicar, al igual que en el caso del caudal *bankfull*, impactos y procesos de reajuste del cauce (Ollero et al., 2011).

Se calcula según la fórmula

$$\Omega = (\rho * g * Q_b * S) / w$$

Siendo  $\rho$  la densidad del agua ( $1.000 \text{ kg/m}^3$ ),  $g$  la aceleración de la gravedad ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ),  $Q_b$  en caudal *bankfull* ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $S$  la pendiente local ( $\text{m/m}$ ) y  $w$  la anchura *bankfull* ( $\text{m}$ ).

- Abundancia y diversidad de hábitats físicos:

Los trabajos desarrollados por Gurnell et al. (2007) analizan la aplicación del índice URS (*Urban River Survey*) para la caracterización de la calidad morfológica en varios tramos urbanos de ríos europeos. En ellos se establece una correlación entre el tipo y nivel de intervención en la morfología fluvial (definido por forma en planta, la sección transversal, y las actuaciones de encauzamiento y/o refuerzo de márgenes) con la abundancia y diversidad de hábitats físicos esperable.

Las observaciones de Gurnell et al. (2007) muestran que los cauces con refuerzo de las márgenes o de las márgenes y lecho presentan una baja abundancia y diversidad de hábitats físicos, a diferencia de aquellos que presentan un nivel menor de intervención. La abundancia y diversidad de hábitats es particularmente baja cuando los cauces, además de intervenciones de refuerzo, han sido rectificadas y presentan secciones incrementadas.

Sin ser intención de este trabajo la aplicación del indicador URS, sí se consideran interesantes las recomendaciones que puedan ser extrapolables de cara a las actuaciones de rehabilitación fluvial. Por ello, se ha procedido a la clasificación de los tramos en función de la morfología en planta y de la sección transversal apuntada por Gurnell et al. (2007):

Morfología en planta:

- Cauce recto con intervención: el curso fluvial muestra una morfología recta y presenta intervenciones (canalizaciones, protecciones de márgenes...).
- Cauce meandriforme con intervención: el curso fluvial muestra una morfología meandriforme (sinuosa/meandriforme), y presenta intervenciones (canalizaciones, protecciones de márgenes...).
- Cauce en recuperación: se trata de ríos rectos o sinuosos/meandriformes con intervenciones pero que muestran reajustes inducidos por los procesos fluviales.
- Cauce seminatural: sin signos aparentes de intervención en la morfología en planta.

Sección transversal:

- Sección incrementada con respecto a lo que cabría esperar en condiciones no alteradas
- Sección modificada a sección trapezoidal
- Sistema de doble canal
- Sección a la que se han eliminado elementos que obstaculicen el flujo de agua (árboles, arbustos,...)

- Sección restaurada
- Sección seminatural

### 3.2.3.3. Situación de referencia considerada para el río Sar

Como se ha explicado en las bases metodológicas, el proceso de valoración del impacto que sufre el sistema fluvial se realiza a través de la consideración de unas condiciones de referencia que permiten cuantificar, por comparación, el grado de desviación entre ellas y los valores observados.

La definición de estas condiciones de referencia parte de una clasificación previa de grupos de ríos o tramos fluviales con condiciones naturales ambientales homogéneas a los que se les presupone una estructura y funcionamiento semejante del ecosistema (REFCOND, 2003; Ibisate et al., 2015). Las condiciones de referencia se definen así para cada uno de los tipos contenidos en la clasificación.

En lo que respecta a la elaboración de este trabajo, según lo establecido en el PHGC 2015-2021, al río Sar le corresponden las condiciones de referencia definidas para los tipos de río siguientes (apartado 2.2.1.2.1. de la Instrucción de Planificación Hidrológica de la Demarcación Hidrográfica de Galicia-Costa):

- 21: ríos cántabro-atlánticos silíceos (tramos de la parte alta de la cuenca);
- 31: pequeños ejes cántabro-atlánticos silíceos (tramos medio y bajo de la cuenca).

Estas condiciones de referencia aplican únicamente para los elementos de calidad fisicoquímica y biológica considerados dentro del PHGC 2015-2021<sup>16</sup>. Como resultado, los índices aplicados a estos elementos disponen de una escala de valoración que clasifica los resultados en función de su desviación con respecto a las condiciones de referencia (Figura 17).

Para el resto de los indicadores y descriptores empleados en el presente trabajo (calidad hidrogeomorfológica y vegetación) se ha recurrido a ortofotografías antiguas y a la búsqueda de referentes bibliográficos para encontrar información relativa a la que sería la situación de referencia o, en su defecto, la situación correspondiente a un río en su estado natural (Figura 17).

Para una mejor comprensión del documento, las condiciones naturales o de referencia teóricas que se han considerado para este último caso se han ido incluyendo dentro de la

---

<sup>16</sup> Las condiciones de referencia para los indicadores fisicoquímicos y biológicos para cada una de las tipologías definidas dentro de la DHGC pueden consultarse en la normativa del PHGC 2015-2021 (Orden del 29 de enero de 2016 por el que se dispone la publicación de la normativa del Plan hidrológico de la demarcación hidrográfica de Galicia-Costa, aprobado por el Real decreto 11/2016, del 8 de enero).

descripción de los resultados obtenidos para cada uno de los indicadores y variables analizados (punto 4.3).

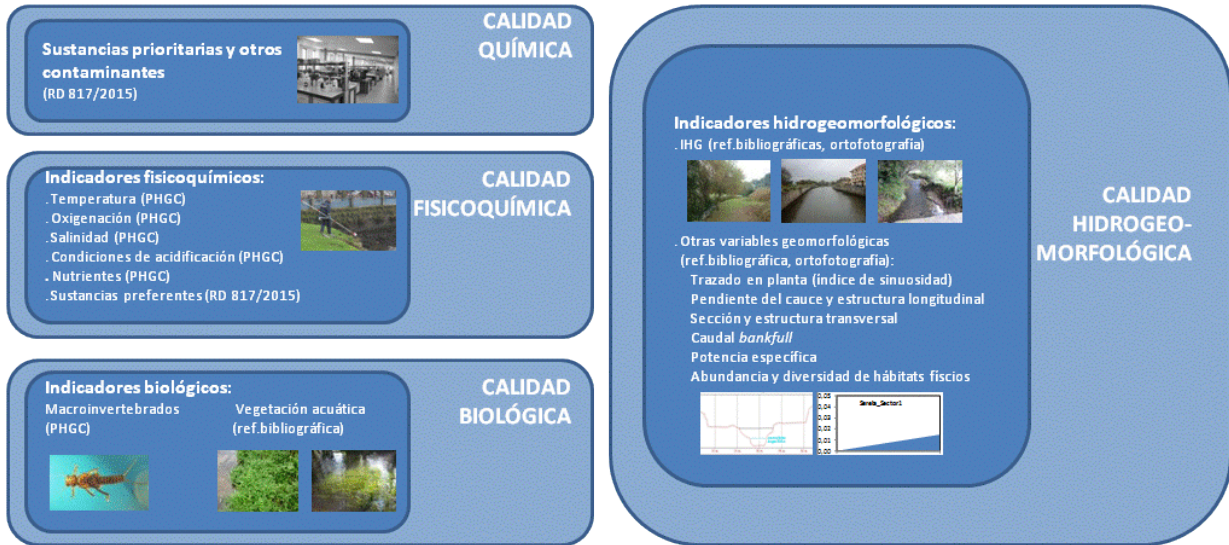


Figura 17.- Indicadores y variables utilizados para el diagnóstico de los tramos de estudio.

Se incluyen entre paréntesis las reseñas empleadas para determinar la situación de referencia aplicable al río Sar. Fuente: modificado de Aguas de Galicia.

### 3.3. Técnicas de gabinete

#### 3.3.1. Recopilación de información

##### Información hidrológica

Se ha recopilado la información disponible en Aguas de Galicia con respecto a la red hidrográfica básica de la DHGC, las masas de agua definidas de acuerdo a la DMA y sus cuencas vertientes. Toda esta información se ha obtenido en formato *shapefile*, y es de consulta pública en el visor de información geográfica de la DHGC<sup>17</sup> (IDE DHGC).

No ha sido posible localizar mucha información del régimen hidrológico. La única estación de aforo presente en la cuenca del río Sar de la que se pueden extraer datos de caudales está alejada de los tramos de estudio. Se ha contado únicamente con la información proporcionada por el Servicio de Planificación Hidrológica de Aguas de Galicia respecto de la estimación del caudal en régimen natural para cada uno de los tramos de estudio<sup>18</sup>.

<sup>17</sup> <http://visorgis.cmati.xunta.es/dhgc/> (fecha de consulta 29/12/2015)

<sup>18</sup> Caudales obtenidos por Aguas de Galicia con el Modelo Hidrológico distribuido SIMPA, desarrollado por el CEDEX, y adaptado a las características de la DHGC en base a los datos de aforos, pluviómetros y pluviógrafos. Los valores de caudal obtenidos son en régimen natural y de carácter mensual.

### Información sobre presiones y estado de las masas de agua

En cuanto a la información existente de presiones, se ha recurrido al inventario disponible en Aguas de Galicia con motivo de la realización del PHGC 2015-2021. En este inventario se recogen las consideradas por el órgano de cuenca como “presiones potencialmente significativas”, esto es, aquellas susceptibles de generar un impacto sobre las masas de agua, en base a la consideración de ciertos umbrales (en términos generales, estos umbrales son los especificados en el apartado 3.2 de la Instrucción de Planificación Hidrológica de la DHGC).

Señalar que con respecto a las fuentes puntuales de contaminación, la información del inventario se ha completado con información disponible en el Plan de Control de Vertidos de Aguas de Galicia, y para las extracciones por abastecimiento, se han consultado también los informes disponibles dentro del plan de abastecimiento de Galicia (Plan Auga<sup>19</sup>) para verificar los puntos de captación de agua de las redes municipales de abastecimiento.

En lo que respecta a la valoración del estado de las aguas, se ha recopilado la información disponible en Aguas de Galicia relativa a los resultados de los indicadores aplicados para el cálculo del estado químico y ecológico disponibles para los tramos de estudio.

### Información sobre Zonas Inundables

Con motivo de los trabajos realizados en cumplimiento de la Directiva de Inundables, se ha recopilado la información disponible en Aguas de Galicia sobre las áreas del territorio para las que existe un Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs), dado que coinciden con alguno de los tramos de estudio seleccionados para este trabajo. Para estas zonas se dispone de información relativa a la superficie ocupada por la zona de flujo preferente y láminas de inundación para los períodos de retorno de 100 y 500 años, las estimaciones de las zonas ocupadas por el DPH probable, la zona de servidumbre y la zona de policía, y los caudales asociados al DPH (máxima crecida ordinaria), a la zona de flujo preferente y a las zonas inundables.

Toda esta información se ha obtenido en formato *shapefile*, y es de consulta pública en el visor de información geográfica de la DHGC (IDE DHGC).

### Ordenación del Territorio

A través del Sistema de Información de Ordenación del Territorio y Urbanismo de Galicia<sup>20</sup> (SIOTUGA), es posible acceder a la información sobre los planes de ordenación municipal. Existe además la posibilidad de visualizar para cada municipio los diferentes recintos con sus

<sup>19</sup> [http://augas.cmati.xunta.es/seccion-tema/c/Planificacion\\_do\\_abastecemento?content=/Portal-Web/Contidos\\_Augas\\_Galicia/Seccions/plan-auga/seccion.html](http://augas.cmati.xunta.es/seccion-tema/c/Planificacion_do_abastecemento?content=/Portal-Web/Contidos_Augas_Galicia/Seccions/plan-auga/seccion.html) (fecha de consulta 29/12/2015)

<sup>20</sup> [http://www.planeamentourbanistico.xunta.es/siotuga/inicio.php?lang=es\\_ES](http://www.planeamentourbanistico.xunta.es/siotuga/inicio.php?lang=es_ES) (fecha de consulta 29/12/2015)

respectivas clasificaciones del suelo. A través de este portal se ha accedido a la clasificación actual del suelo en los entornos de los tramos fluviales de estudio.

### Fotografía aérea

Las imágenes de fotografía aérea antigua se han consultado en el portal del Centro Nacional de Información Geográfica, del Instituto Geográfico Nacional (Fototeca digital del IGN<sup>21</sup>). En él se han consultado los fotogramas de la zona de estudio correspondientes al vuelo Americano Serie A del año 1945, vuelo Americano Serie B del año 1956, y vuelo Nacional del año 1980.

También se han empleado las ortofotografías aéreas del año 2014 y de máxima actualidad (fecha de última actualización 2015-05-27) realizadas dentro del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) del IGN<sup>22</sup>.

### **3.3.2. Tratamiento y procesado de la información**

#### Tratamiento geográfico

Se ha procesado de la información geoespacial (información hidrológica, de presiones, estado de las masas de agua y zonas inundables) a través del software ArcGIS 10.2.2, con objeto de extraer la información necesaria para cada uno de los tramos de estudio.

En algunos casos ha sido necesario digitalizar los tramos fluviales para un mayor ajuste a la realidad. La red hidrográfica básica de la DHGC elaborada por Aguas de Galicia se ha realizado a una escala 1:25.000, lo que supone que no se adapte bien a la escala de detalle del presente trabajo. Estos nuevos tramos han sido digitalizados a escala 1:3.000, utilizando como base la ortofotografía aérea del PNOA de máxima actualidad.

#### Cálculo de variables geomorfológicas

Para el procesamiento de los datos de las secciones transversales obtenidos en campo se ha empleado el software de Microsoft Silverlight, mediante el que se han obtenido las medidas necesarias para el cálculo de las variables geomorfológicas: sección *bankfull*, radio hidráulico, anchura de la superficie *bankfull*, profundidad máxima y profundidad media del canal en estado *bankfull*.

Con respecto al cálculo del índice de sinuosidad (*Is*), se ha utilizado como base la ortofotografía aérea del PNOA de máxima actualidad.

---

<sup>21</sup> <http://fototeca.cnig.es/> (fecha de consulta 29/12/2015)

<sup>22</sup> <http://pnoa.ign.es/> (fecha de consulta 29/12/2015)



### 3.4. Técnicas de campo

Durante el mes de octubre se realizaron varias campañas de campo al objeto de, por una parte, verificar y complementar la información recopilada en gabinete y, por otra, buscar aquellos otros síntomas no visibles en las fotografías aéreas y que son necesarios para la caracterización de los tramos de estudio en base a la metodología expuesta en apartados anteriores.

#### Índice IHG

Para la correcta aplicación del índice, en los recorridos de campo se ha procedido, entre otras cuestiones, a la comprobación de determinados síntomas como: la incisión, simplificación o estrechamiento del cauce, el reconocimiento de la conexión de los tramos con las vertientes, comprobar el estado de las defensas y el embalsamiento de infraestructuras transversales, reconocer evidencias de erosión y sedimentación, el estado de la vegetación de ribera, y la presencia de especies exóticas invasoras.

#### Mediciones topográficas

En lo que respecta a los trabajos topográficos necesarios para la medición de las variables geomorfológicas detalladas en el apartado 3.2.3, se realizaron diversos perfiles transversales distribuidos a lo largo de los tramos de estudio en puntos representativos, midiendo además la cota topográfica de la lámina de agua y la velocidad de la corriente en cada perfil. Para ello se empleó un equipo integrado por un receptor GPS R6 y colectora de datos TC2 de Trimble, además de un jalón de fibra de carbono con nivel esférico (Figura 18).



Figura 18.- Receptor GPS R6 y colectora de datos TC2 de Trimble.

Los datos topográficos en campo han sido tomados en el marco de una contratación de Aguas de Galicia para la realización de diversas tareas de campo. En todo caso, han correspondido a la autora en el marco del presente trabajo todas las decisiones acerca de la selección de los puntos para la realización de los perfiles, la aplicación en campo de los criterios para la determinación de los umbrales de la sección *bankfull* y demás variables, y el tratamiento posterior de la información en gabinete detallado en el apartado 3.3.2.

#### Pendiente del cauce

La pendiente se ha calculado a través de la diferencia de la cota de la lámina de agua entre los diferentes perfiles realizados para cada uno de los tramos (Ollero et al., 2011).

### Identificación del caudal *bankfull*

Para la identificación del nivel *bankfull* se emplearon diferentes indicadores (Harrelson et al., 1994; SNCZI, 2011):

- Evidencias de las crecidas de semanas anteriores observadas en campo. En semanas previas a los recorridos de campo se registró un evento de precipitación que dejó numerosas evidencias en campo. Los registros de la estación de aforo existente en el río Sar muestran que no se trató de una avenida extraordinaria (Figura 19). Tampoco puede asegurarse que se corresponda con la crecida ordinaria que define al caudal *bankfull*, dado que los registros históricos disponibles son todavía muy escasos. En todo caso, se tomaron en consideración las evidencias observadas, en conjunción con los dos criterios restantes.
- Límites de desbordamiento del cauce menor, a través de cambios en la pendiente de las orillas (Figura 20).
- Tipo de vegetación existente, considerando el límite inferior de la vegetación permanente en la orilla, la presencia de especies menos tolerantes a las crecidas, o algún cambio en la densidad o tipo de vegetación (Figura 20).
- En los tramos con alteraciones antrópicas de las márgenes (escolleras o canalizaciones) se ha atendido a las evidencias dejadas por la crecida de las semanas anteriores (por la existencia de restos de basuras o por el abatimiento de vegetación que a veces crece entre las piedras de las escolleras). Cuando esto no fue posible, se recurrió a la marca dejada por el agua en el propio material de revestimiento (Figura 20).

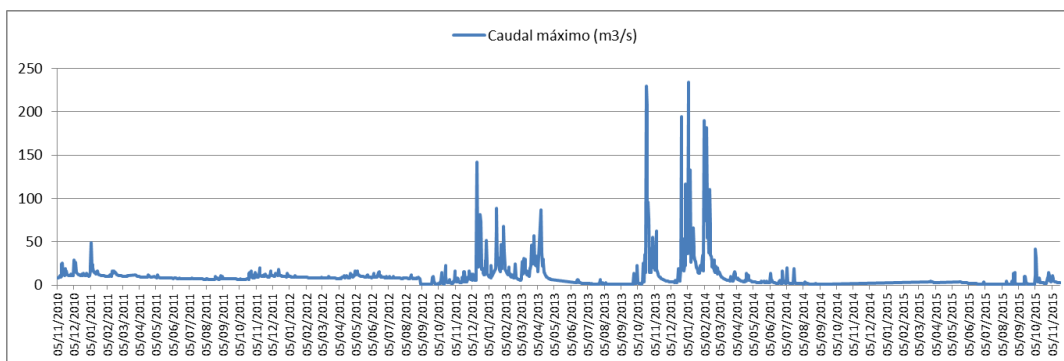


Figura 19.- Representación de los caudales máximos registrados en la estación de aforo del río Sar. Las evidencias registradas en campo se corresponden con las lluvias de principios de octubre de 2015. Fuente: Meteogalicia.

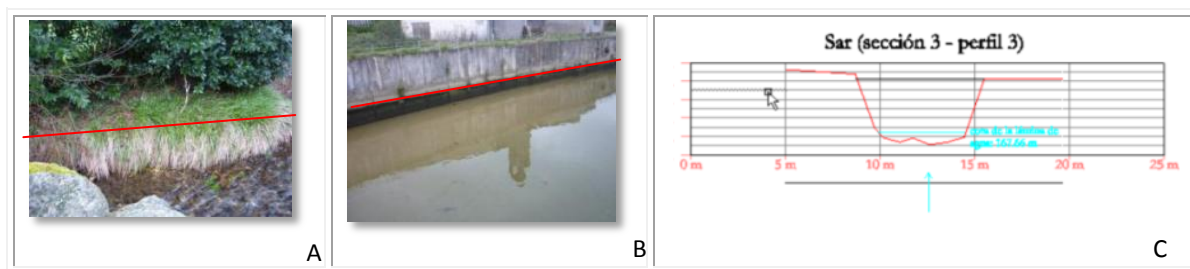


Figura 20.- Algunos de los criterios empleados en campo para la determinación de la sección *bankfull*. (A): tipo de vegetación existente; (B) marca dejada por el agua en el hormigón; (C): cambios en la pendiente de las orillas.

Tras estas explicaciones, es evidente que la determinación de la sección *bankfull* posee una fuerte componente subjetiva. Por ello, resulta conveniente realizar una advertencia sobre la precisión de los resultados obtenidos, que no han sido testados ni validados por ninguna otra técnica ni estudio. Pretenden ser tan sólo una primera aproximación, que debería ser confirmada y/o reforzada en trabajos posteriores.

### Vegetación

Se ha realizado una pequeña caracterización de la vegetación presente en los tramos de estudio, sin pretender hacer un inventario exhaustivo. Se ha tratado sobre todo de identificar aquellas especies que pudieran estar reflejando algún tipo de impacto sobre el sistema fluvial. Para ello se han considerado las siguientes comunidades vegetales:

- Vegetación hidrofítica: plantas acuáticas en sentido estricto, que enraízan en el fondo y desenvuelven sus órganos asimiladores sumergidos o en la superficie del agua.
- Vegetación helofítica: plantas acuáticas de los bordes de los cauces o de las islas en los cauces, cuyo sistema radicular y base del tallo permanece inundado por lo menos una parte del año.
- Vegetación ripícola: vegetación terrestre que se engloba dentro del concepto de vegetación edafohigrófila, por ser comunidades más dependientes de la humedad de los suelos sobre los que se desarrollan que de la humedad climática del territorio (en contraposición con la vegetación climatófila).

De este modo, se tiene en cuenta toda la vegetación influida por la presencia permanente o temporal del agua del río, lo que en ciertos estudios ya se denomina en su conjunto como vegetación de ribera (Freire & Guitián, 2005).

Para la catalogación o no de una especie como exótica e invasora (en adelante EEI), se ha tenido en consideración su aparición en el Reglamento europeo sobre la prevención y la gestión de la introducción y propagación de EEI<sup>23</sup>, en el Catálogo Español de EEI<sup>24</sup>, así como su documentación en diversas publicaciones de la Xunta de Galicia (Xunta de Galicia, 2006; 2007).

---

<sup>23</sup> Reglamento (UE) n ° 1143/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de octubre de 2014 , sobre la prevención y la gestión de la introducción y propagación de especies exóticas invasoras.

<sup>24</sup> [http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-especies/especies-exoticas-invasoras/ce\\_eei\\_flora.aspx](http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-especies/especies-exoticas-invasoras/ce_eei_flora.aspx) (fecha de consulta 29/12/2015).

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Introducción

La presentación de los resultados se ha estructurado en dos bloques: un primer apartado dedicado a la presentación de los factores de alteración identificados sobre los tramos de estudio (presiones), y un segundo apartado en el que se describen los resultados del análisis de la condición del río (valoración del impacto).

Aunque el inventario de presiones está focalizado en los tramos seleccionados para el estudio, se ha optado por considerar también (al menos a nivel de inventario, aunque no se pueda profundizar sobre su impacto) algunas presiones relevantes situadas fuera de este ámbito, de las que se ha tenido conocimiento de que ejercen alteraciones sobre la calidad fluvial.

El segundo de los bloques incluye la valoración del grado de impacto soportado por los tramos fluviales. Por una parte, se incluyen los resultados de la cuantificación del impacto ofrecida por los indicadores de la valoración del estado de las aguas y el IHG. Por otra parte, se describen los resultados obtenidos para el resto de indicadores y variables analizados para los que no es posible obtener una cuantificación del impacto (variables geomorfológicas y vegetación), pero que permiten igualmente identificar la presencia de factores de alteración.

Por último, dentro del análisis de la valoración del impacto se ha incluido una aproximación a la abundancia y diversidad de hábitats físicos esperable a partir del tipo y nivel de intervención en la morfología fluvial de los tramos, tomando como referencia los trabajos de Gurnell et al. (2007).

El detalle de los resultados obtenidos del proceso de recopilación de información en gabinete, así como de los recorridos de campo y del procesado posterior de las variables geomorfológicas puede consultarse en las fichas que se adjuntan en el Anexo I.- Resultados de las campañas de campo, y Anexo II.- Procesado de las variables geomorfológicas.

### 4.2. Inventario de presiones

#### 4.2.1. Fuentes puntuales de contaminación

La mayor parte de los vertidos registrados se corresponden con vertidos de carácter urbano (Tabla 3). Únicamente en el caso del tramo de estudio de Padrón (tramo Sar\_PD\_Sector1) aparece inventariado un vertido industrial que se corresponde con el efluente de la EDAR del Polígono Industrial de Pazos (aguas arriba de los tramos de estudio), al que se le unen también las aguas pluviales del polígono y el caudal aliviado por la EDAR, y en el que se han constatado episodios de contaminación.

En el caso de los vertidos urbanos no hay constatación de aportes producidos por vertidos directos al río. Según la información disponible, estos tendrían a producirse por roturas o filtraciones de la red de saneamiento y en su mayoría han sido enmendados.

La mayor parte de los sistemas de saneamiento de las zonas de estudio se componen de redes unitarias, lo que supone que en tiempo de lluvias se viertan a través de aliviaderos las aguas que superan la capacidad de los colectores. Se tiene constancia de la existencia de redes separativas de aguas pluviales pero sólo en algunas áreas de más reciente urbanización, como es el caso de la urbanización de Fontiñas en la ciudad de Santiago de Compostela.

Como resultado, dentro de los vertidos urbanos registrados en las zonas de estudio los mayores aportes se producen a consecuencia de los alivios de la red de saneamiento, y a través de las redes de aguas pluviales. También se encuentran en algunos casos conexiones de aguas residuales a las redes de aguas pluviales.

En el caso concreto de Santiago de Compostela, según los estudios realizados por la Universidad de A Coruña<sup>25</sup>, el sistema de saneamiento y drenaje puede diferenciarse en tres zonas: casco antiguo, ensanche, y nuevos asentamientos (Figura 21). Las zonas más densamente urbanizadas se sitúan en la parte intermedia de ambas cuencas (ríos Sar y Sarela), con mayor incidencia sobre el río Sar. Por lo tanto, estas zonas son las más expuestas a recibir tanto las descargas derivadas de los sistemas de saneamiento como de las aguas pluviales y de escorrentía.

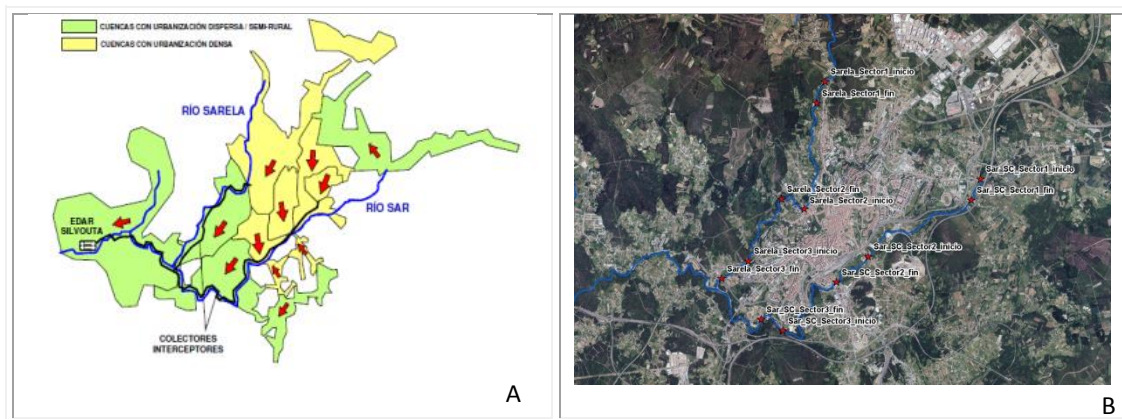


Figura 21.- Subcuencas de saneamiento y drenaje del núcleo urbano de Santiago de Compostela<sup>26</sup> (A) y su correlación con los tramos de estudio (B).

Los datos disponibles son coherentes con dicha afirmación, ya que la mayor concentración de aportes contaminantes se encuentra en la parte central del río Sar (Tabla 3), zona en la que se localiza el tramo de estudio Sar\_SC\_Sector2 (Figura 21). En él desembocan varios vertidos de aguas pluviales con aportes directos de aguas residuales urbanas y con conexiones de los alivios de la red de saneamiento.

<sup>25</sup> <http://www.ingenieriadelagua.com/2004/JIA/Jia2009/fs/CO13rev.pdf> (fecha de consulta 06/02/2016)

<sup>26</sup> Fuente: Ibidem.

Tabla 3.- Tabla resumen de las presiones inventariadas y detectadas en campo para cada uno de los tramos de estudio.  
N.d.: no detectadas. Zfp: zona de flujo preferente.

SECTOR DE ESTUDIO	FUENTES PUNTALES CONTAMINACIÓN		USOS DEL SUELO		EXTRACCIONES Y REGULACIÓN DE FLUJO		PRESIONES MORFOLÓGICAS							
	Nº Vertidos Urbanos	Nº Vertidos Industriales	Spf. Urbanizada (%)	Ocupación ARPSIS	Extracciones	Regulación de flujo	TRANSVERSALES		LONGITUDINALES					
							Puentes	Azudes	Canaliz.	Protección márgenes	Redes saneam.	Vías comunic.	Motas	Dragados
Sarela_Sector1	1	n.d.	29	no	n.d.	n.d.	0	2	n.d.	si (puntual)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Sarela_Sector2	2	n.d.		si (zfp)	n.d.	n.d.	4	3	n.d.	sí	sí	n.d.	n.d.	n.d.
Sarela_Sector3	2	n.d.		no	n.d.	n.d.	2	3	n.d.	sí	n.d.	sí	n.d.	n.d.
Sar_SC_Sector1	3	n.d.	41	no	n.d.	n.d.	2	1	n.d.	si (puntual)	n.d.	sí	n.d.	n.d.
Sar_SC_Sector2	5	n.d.		si	n.d.	n.d.	3	3	n.d.	si (puntual)	n.d.	n.d.	n.d.	si
Sar_SC_Sector3	2	n.d.		si	n.d.	n.d.	1	0	n.d.	sí	sí	n.d.	n.d.	n.d.
Riamonte_Sector1	1	n.d.	22	si	n.d.	n.d.	4	2	afluente	sí	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Sar_PD_Sector1	9	1	23	si (zfp)	n.d.	sí	6	1 (deriv.)	no	sí	sí	sí	sí	n.d.
Sar_PD_Sector2	3	n.d.		si (zfp)	n.d.	sí	10	1 (deriv.)	si	sí	n.d.	sí	n.d.	sí

Pero las zonas de nacimiento tanto del río Sar como de su afluente Sarela tampoco están libres de contaminación. El carácter “urbano” de estos ríos desde su nacimiento se traduce en la existencia de algunos vertidos: en el caso del río Sarela, de la red de saneamiento (de una estación de bombeo de aguas residuales); y en el caso del río Sar, de aguas pluviales con conexiones de aguas residuales.

El río Sar a su paso por Padrón también recibe varios aportes contaminantes, tanto al cauce que discurre por el centro de la villa como al canal de derivación. La mayor parte de ellos se corresponden con alivios de la red de saneamiento, aunque también se encuentran vertidos de aguas pluviales con aportes de aguas residuales.

En el caso del núcleo de Bertamiráns (Ames), existe en el río Riamonte un vertido inventariado de aguas pluviales a las que se incorporan aguas residuales urbanas y alivios de la red de saneamiento.

En todos estos casos, la naturaleza de los vertidos (alivios y redes de aguas pluviales) no hace posible que se disponga de datos de caudal.

Al margen de los vertidos que se producen directamente a los tramos de estudio, es importante localizar aquellas otras fuentes de contaminación que, asociadas directamente a los núcleos de población, tienen sus puntos de descarga en zonas más alejadas. Tal es el caso de las EDARs, habitualmente localizadas en áreas menos pobladas. Existen tres EDARs asociadas a las zonas de estudio: la de Santiago de Compostela, la de Bertamiráns, y la de Padrón. La EDAR de Padrón, localizada cerca de la desembocadura del río Sar, se encuentra entre los vertidos inventariados dentro de uno de los tramos de estudio (Sar\_PD\_Sector1). En las otras dos EDARs los puntos de vertido están alejados de los tramos estudiados (Figura 22). No obstante, se han tenido en consideración en el inventario dada su influencia sobre el río Sar (en la Tabla 4 se exponen algunos datos sobre su vertido).

Tabla 4.- Plantas de tratamiento de aguas residuales de los principales núcleos de población de la cuenca del río Sar. Datos de caudales medios de diseño de las plantas y observaciones acerca de su funcionamiento.

EDAR	CAUDAL MEDIO DE DISEÑO <sup>[1]</sup> (m <sup>3</sup> /d)	HABITANTES EQUIVALENTES DE DISEÑO <sup>[1]</sup>	POBLACIÓN TRATADA	OBSERVACIONES
<b>Santiago de Compostela (Silvouta)</b>	54.560	184.000	95.800	Alivio en cabecera de EDAR de 20.065 m <sup>3</sup> /d (percentil 90) de agua sin tratar <sup>[2]</sup>
<b>Bertamiráns</b>	2.600	13.000	37.494	Insuficiente capacidad de tratamiento (probable alivio en cabecera de EDAR de aprox. 4.900 m <sup>3</sup> /d)
<b>Padrón</b>	5.148	18.000	8.693	-

[1] Según información disponible en la página web de Aguas de Galicia (<http://augas.cmati.xunta.es/saneamento-e-depuracion>)

[2] Según “Proyecto de adecuación del vertido de la EDAR de Silvouta. Santiago de Compostela”. Clave: 01.315-330/2111.

Como puede observarse en la Tabla 4, los casos más extremos en cuanto a la posible afección al medio receptor lo suponen las EDARs de Silvouta, que depura las aguas

residuales de Santiago de Compostela, y de Bertamiráns, que recibe las aguas residuales de Ames y Brión.

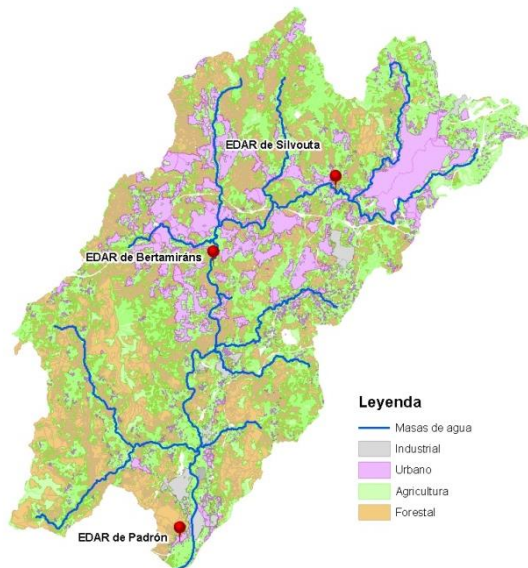


Figura 22.- Localización de las EDARs de Silvouta, Bertamiráns y Padrón dentro de la cuenca del río Sar.

Las superficies de color rosa se corresponden con suelo urbano. Como se puede observar, las EDARs se encuentran alejadas de las zonas más urbanizadas.

En el caso de Silvouta, aproximadamente un 30% de las aguas residuales que llegan a la EDAR (hasta un 36% en el año 2006, según el Proyecto de adecuación del vertido de la EDAR de Silvouta) se alivian en cabecera de la planta al río Sar sin haber sufrido ningún tipo de tratamiento, incluso en tiempo seco. La capacidad de admisión de la planta se supera prácticamente a diario, algo a lo que contribuyen las infiltraciones de agua de río que se producen en el deficiente sistema de colectores (actualmente están siendo objeto de trabajos de mejora<sup>27</sup>).

En el caso de la EDAR de Bertamiráns, la comparación de los habitantes equivalentes de diseño con respecto a la población real conectada refleja que la capacidad de esta planta también es insuficiente para depurar todo el caudal que recibe, del que aproximadamente un 60% se estaría aliviando en cabecera de la planta.

#### 4.2.2. Fuentes difusas de contaminación

En la Tabla 5 se detalla el porcentaje de uso del suelo dedicado a superficie urbanizada (considerando el sumatorio de la superficie destinada a los usos urbano, industrial y vías de comunicación) para cada cuenca vertiente y tramos de río de las diferentes zonas de estudio (ver también Figura 23).

No se puede realizar una asunción de que la totalidad de la superficie destinada a estos tres usos se corresponde con superficie impermeabilizada, dado que se observa que existen

<sup>27</sup> Anuncio de la licitación para la contratación de servicios para la redacción del proyecto del colector interceptor general del Río Sarela [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-B-2015-32959](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-B-2015-32959). Anuncio por el que se somete a información pública el Proyecto del colector interceptor general del río Sar [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-B-2015-17723](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-B-2015-17723) (fecha de consulta: 10/01/2016).



algunas zonas verdes bajo suelo clasificado como urbano, pero proporcionan en todo caso una idea general bastante aproximada.

Sumando la superficie ocupada por los tres tipos de usos del suelo, la zona de estudio de Santiago de Compostela es la que presenta un mayor porcentaje: el 41% de la superficie de la cuenca vertiente al río Sar, y el 29% de la superficie de la cuenca vertiente al río Sarela. En los casos de Ames y Padrón los porcentajes descienden, aunque se mantienen por encima del 20%.

En general, el suelo destinado a uso urbano es el que mayor porcentaje acapara, entre el 20% del caso de Ames y el 27% del río Sar en Santiago de Compostela, excepto en el caso de Padrón, en el que el uso industrial es el predominante (12% de superficie, frente al 5% de suelo de uso urbano). Las vías de comunicación suponen entre un 3% y un 11% (este último en la cuenca vertiente al río Sar en Santiago de Compostela), y el uso industrial es en general bajo (entre el 0% y el 4%) exceptuando el caso de Padrón señalado antes.

Tabla 5.- Porcentajes de superficie del suelo destinada a uso urbano, uso industrial y a vías de comunicación por cuenca vertiente para cada una de las zonas de estudio.

	ZONA DE ESTUDIO (CUENCA VERTIENTE)			
	Río Sar (Santiago de Compostela)	Río Sarela (Santiago de Compostela)	Río Riamonte (Ames)	Río Sar (Padrón)
<b>Superficie total cuenca (ha)</b>	2.513	1.776	2.302	1.758
<b>Uso urbano (%)</b>	27%	25%	20%	5%
<b>Uso industrial (%)</b>	4%	1%	0%	12%
<b>Uso vías comunicación (%)</b>	11%	3%	3%	6%
<b>Total superficie urbanizada (%)</b>	<b>41%</b>	<b>29%</b>	<b>22%</b>	<b>23%</b>

La ocupación con infraestructuras de las zonas inundables es otra cuestión común a varios de los tramos estudiados. De los nueve tramos, seis se localizan dentro de una ARPSIS (Áreas con Riesgo Potencial Significativo de Inundación) (Tabla 3). La ocupación por edificaciones de la zona de flujo preferente (definida como aquella en la que, para la avenida de 100 años de periodo de retorno, se pueden producir graves daños sobre las personas y los bienes<sup>28</sup>) se ha observado en los tramos “Sarela\_Sector2”, “Sar\_PD\_Sector1” y “Sar\_PD\_Sector2”. En el caso de Padrón, la ocupación se extiende también a instalaciones industriales. Si se consideran las zonas inundables asociadas a los períodos de retorno de los 100 y 500 años, la ocupación por infraestructuras se produce en todos los tramos incluidos en ARPSIS excepto en “Sar\_SC\_Sector3” (Figura 23).

El análisis de la clasificación del suelo incluida en los diferentes instrumentos municipales de ordenación del territorio (Planes de Gestión y Ordenación Municipal, PGOM) es reflejo de esta situación. Abundan los suelos calificados como urbanizables o urbanos de uso

<sup>28</sup> Según el artículo 9.2 del Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminar I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.

residencial en los terrenos colindantes a los ríos (en una o en ambas márgenes), como ocurre en los casos de los tramos Sarela\_Sector2, Sarela\_Sector3, Sar\_SC\_Sector3, Riamonte\_Sector1, Sar\_PD\_Sector1 y Sar\_PD\_Sector2). En otros casos se han mantenido franjas libres de este tipo de calificación que han evitado su urbanización masiva (Sarela\_Sector1, Sar\_SC\_Sector1, Sar\_SC\_Sector2). Ello no implica que no se encuentren algunas edificaciones dentro de estas franjas, probablemente construidas con anterioridad, pero ha ayudado a mantener un espacio relativamente libre de infraestructuras en el entorno fluvial.

#### 4.2.3. Extracciones de agua y alteraciones por regulación de flujo

Tomando como base los datos que figuran en el PHGC 2015-2021, no existen en el inventario extracciones de agua para abastecimiento o uso industrial. Tan sólo se encuentran tres captaciones subterráneas para riego, una en el tramo Sarela\_Sector2 y otras dos en el tramo Sar\_PD\_Sector1, con volúmenes autorizados de extracción muy bajos ( $0,001 \text{ hm}^3/\text{año}$ ). No se han observado evidencias de extracciones en campo más allá de las derivaciones de caudal señaladas más adelante.

Las presiones más relevantes asociadas a desvíos de agua tienen lugar a consecuencia de la captación de agua para el abastecimiento de los núcleos urbanos de los ayuntamientos de Santiago de Compostela y de Ames. Según los informes disponibles dentro del plan de abastecimiento de Galicia y el PHGC 2015-2021, la captación de agua del río Tambre sirve fundamentalmente para abastecer las demandas urbanas de los ayuntamientos de Santiago, Ames y Brión. Posteriormente, estas aguas son transferidas al río Sar a través de los efluentes de las EDARs de Silvouta (principalmente) y de Bertamiráns.

A falta de datos exactos acerca de la cantidad de agua captada, se ha utilizado la estimación realizada en el PHGC 2015-2021 para las unidades de demanda urbana e industrial de los tres ayuntamientos<sup>29</sup>. Los resultados suponen un total de  $12,3 \text{ hm}^3/\text{año}$  de agua superficial que estarían siendo transferidos desde la cuenca del río Tambre al río Sar.

Teniendo en cuenta los caudales vertidos por la EDAR de Silvouta ( $0,86 \text{ m}^3/\text{s}$  considerando el alivio de la cabecera de planta) el resultado es que más de un 30% del caudal aportado al río Sar en este punto procede de otra cuenca. El resto del caudal procedería de captaciones de aguas subterráneas o de otros puntos de la cuenca del río Sar (que no se consideran relevantes vistas las extracciones registradas), de aguas pluviales o de otra índole recogidas a través de la red de saneamiento (mayoritariamente unitaria), y de las infiltraciones de agua del río en el sistema de colectores de saneamiento. Si a esto se añade que el caudal medio mensual en régimen natural estimado para el río Sar en este tramo es de  $1,65 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $0,28 \text{ m}^3/\text{s}$  en los meses de estiaje), se concluye que en escasos metros el río Sar ve incrementados sus caudales medios en un 50%, y hasta en un 300% en época de estiaje.

<sup>29</sup> Según el Anejo V del PHGC 2015-2021 (Sistemas de Explotación y Balances).



Figura 23.- Representación de las presiones inventariadas y de las Áreas con Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIS) para cada una de las zonas y tramos de estudio (ver leyendas). En la fila superior se muestran las presiones, y en la inferior, las ARPSIS (ver leyendas). Los planos de la izquierda se corresponden con la zona de estudio de Santiago de Compostela. Los planos del centro de la figura se corresponden con la zona de estudio de Ames. Los planos de la derecha se corresponden con la zona de estudio de Padrón.

El canal de derivación del río Sar antes del núcleo urbano de Padrón supone otro de los grandes desvíos existentes en la cuenca (Figura 24). Dimensionado para derivar un caudal de 475 m<sup>3</sup>/s (considerando un caudal punta del río Sar en esa zona de 751 m<sup>3</sup>/s para un período de retorno de 1.000 años), no se dispone de datos reales del caudal derivado.

Además, se han observado en campo algunos canales de derivación para antiguos molinos hoy en desuso (Sarela\_Sector1, Sarela\_Sector3, Sar\_SC\_Sector1), que en todo caso retornan el caudal dentro de los propios tramos de estudio (Figura 24).



Figura 24.- Ejemplos de las derivaciones de caudal observadas en los tramos de estudio.

(A): inicio del canal de derivación del río Sar en Padrón (el azud que se ve en la imagen desvía los caudales del río Sar, en primer plano, hacia el canal de derivación, a la derecha de la imagen); (B): canal de derivación en el tramo Sarela\_Sector1. (C): canal de derivación en el tramo Sarela\_Sector3. La flecha azul señala el desvío del canal de derivación.

#### 4.2.4. Alteraciones morfológicas

Las alteraciones morfológicas en los tramos estudiados son las más frecuentes (Tabla 3; Figura 23). Las alteraciones transversales más observadas son los puentes y pasarelas, presentes en la práctica totalidad de los tramos a excepción del tramo Sarela\_Sector1. Los casos más acusados son el canal de derivación del río Sar en Padrón (Sar\_PD\_Sector2), que presenta hasta 10 puentes en poco más de 2 km de longitud, y el río Sarela (Sarela\_Sector2), con cuatro obstáculos de este tipo en 600 metros de longitud.

Los azudes son también abundantes, y están presentes en casi todos los tramos (excepto en el tramo Sar\_SC\_Sector3). De algunos de ellos parten canales de derivación (Sarela\_Sector1, Sarela\_Sector3, Sar\_SC\_Sector1) (Figura 24) con destino a molinos actualmente en desuso. Para otros no se observa uso aparente en la actualidad, aunque podrían haberse dedicado a canales de riego debido a los usos tradicionalmente agrarios que había en las zonas de estudio en épocas pasadas. Un caso particular lo supone el azud existente en los tramos del río Sar en Padrón, construido para la derivación de parte de los caudales hasta el río Ulla (Figura 24).

En cuanto a las alteraciones longitudinales, las canalizaciones y/o protecciones de márgenes (muros, escolleras, paredes de las edificaciones, etc.) se han observado en todos los tramos de estudio. El canal de derivación del río Sar (Sar\_PD\_Sector2) es el caso más evidente, con muros de hormigón y lecho de grava artificial (Figura 25).

En el caso del tramo Riamonte\_Sector1, el cauce ha sido completamente transformado en un doble canal trapezoidal delimitado por muros y por gaviones en toda su longitud. Además, un afluente (rego Ameneiral) ha sido canalizado bajo el núcleo urbano de Bertamiráns (Figura 25).

Los trayectos con escolleras en las márgenes son frecuentes y se suceden de modo más o menos continuo en los tramos de estudio, particularmente en los ríos Sar y Sarela en el entorno de la ciudad de Santiago de Compostela. En algunos tramos la escollera es antigua y está parcialmente destruida (Sarela\_Sector1, Sar\_SC\_Sector1, Sar\_SC\_Sector2), por lo que su presencia no es continua en el tramo (por ello no se representan en la Figura 23). En otros casos se mantiene en buen estado o incluso es de nueva construcción (Sarela\_Sector2, Sarela\_Sector3, Sar\_SC\_Sector3) (Figura 25).

También ocurre que las propias edificaciones constituyen las márgenes de los cursos fluviales (Sarela\_Sector2, Sarela\_Sector3, Sar\_SC\_Sector3, Sar\_PD\_Sector1). Los muros de mampostería se han observado en los tramos Sar\_SC\_Sector2, Sar\_PD\_Sector1 y Riamonte\_Sector1.

Otro tipo de alteraciones longitudinales las componen las propias redes de saneamiento, que transcurren paralelas al cauce (Sarela\_Sector2, Sar\_SC\_Sector3, Sar\_PD\_Sector1) (Figura 25), las vías de comunicación (Sarela\_Sector3, Sar\_SC\_Sector1, Sar\_PD\_Sector1), y las motas de defensa para evitar inundaciones de terrenos adyacentes (Sar\_PD\_Sector1).

Se tiene constancia de dragados realizados en los tramos Sar\_SC\_Sector2 y Sar\_PD\_Sector2, ambos al objeto de eliminar sedimentos y vegetación del cauce (proyectos OH.415.1092 y OH.415.1033 respectivamente).



Figura 25.- Ejemplos de algunas de las alteraciones longitudinales detectadas en los tramos de estudio.

(A): canalización en el tramo Sar\_PD\_Sector2; (B): escollera en el tramo Sar\_SC\_Sector 3; (C): defensas con gaviones dentro del cauce menor y mayor en el tramo Riamonte\_Sector1; (D): colector de saneamiento en el tramo Sar\_SC\_Sector3.

#### 4.2.5. Síntesis

Además de la propia presión generada por la ocupación del suelo, las presiones que mayor importancia tienen dentro de las zonas de estudio son las presiones morfológicas transversales (puentes y azudes) y longitudinales por protección de márgenes, junto con los vertidos de carácter urbano (Tabla 3).

La cuenca alta del río Sar (zona de Santiago de Compostela) es la zona con mayor superficie urbanizada dentro de la cuenca vertiente. Sin embargo, no es la que mayor presiones concentra si exceptuamos las derivadas de la existencia de azudes. Aunque se registran tramos especialmente afectados por ocupación urbanística y por protecciones de márgenes, es la zona baja de la cuenca (Padrón) donde se identifican las presiones más significativas en cuanto a vertidos, alteraciones morfológicas longitudinales y ocupación de la llanura de inundación.

En el caso de la zona de Ames, la ocupación de la llanura de inundación y las alteraciones morfológicas longitudinales también son muy relevantes, aunque en menor medida que en el caso de Padrón.

### **4.3. Valoración del impacto**

#### **4.3.1. Calidad química, fisicoquímica y biológica**

##### **4.3.1.1. Calidad química, fisicoquímica y biológica según el PHGC 2015-2021**

La valoración del estado de las aguas incluida en el PHGC 2015-2021 se realiza a nivel de masa de agua, que constituye la unidad de gestión en la planificación hidrológica. La escala de detalle empleada en este trabajo, en el que se valoran pequeños tramos fluviales, no permite disponer de resultados específicos para cada uno de ellos. La valoración del estado de calidad es coincidente en aquellos tramos de estudio incluidos en una misma masa de agua, como sucede, por ejemplo, en Santiago de Compostela.

En el río Riamonte el punto de control de la masa de agua no está ubicado en el tramo de estudio, sino aguas arriba y en un sector más rural, por lo que no puede considerarse como representativo de la calidad del tramo urbano. Además hay masas de agua para las que no se dispone de puntos de control, o por lo menos no se cuenta con resultados analíticos dentro del período de elaboración del plan hidrológico. En estas situaciones la valoración del estado de las aguas se ha realizada a criterio de experto en función de las presiones inventariadas en el PHGC 2015-2021. Por último, el canal artificial de derivación del río Sar en Padrón no se considera masa de agua, por lo que no se dispone para él de valoración del estado.

En la Tabla 6 se presentan los resultados disponibles para las diferentes zonas y tramos de estudio.

Tabla 6.- Resultados de la valoración del estado de las masas de agua para las zonas de estudio. Datos según el PHGC 2015-2021.

MUNICIPIO	CÓD. SECTOR	MASA DE AGUA	ESTACIÓN DE CONTROL	ESTADO QUÍMICO	ESTADO ECOLÓGICO	ESTADO TOTAL	MOTIVO INCUMPLIMIENTO
SANTIAGO DE COMPOSTELA	Sarela_Sector1						Criterio de experto (asociado a presiones puntuales por vertidos de ARUs y presiones difusas urbanas)
	Sarela_Sector2	ES.014.NR.244. 100.06.00	No	Bueno	Moderado	Peor que bueno	
	Sarela_Sector3						
	Sar_SC_Sector1						Criterio de experto (asociado a presiones puntuales por vertidos de ARUs y presiones difusas por usos agrícolas)
	Sar_SC_Sector2	ES.014.NR.244. 100.01.00	No	Bueno	Deficiente	Peor que bueno	
	Sar_SC_Sector3						
AMES	Riamonte_Sector1	ES.014.NR.244. 100.14.00	Sí (aguas arriba del tramo)	Bueno	Muy bueno	Bueno o mejor	-
PADRÓN	Sar_PD_Sector1	ES.014.MR.244. 100.04.00	Sí	Bueno	Deficiente	Peor que bueno	Macroinvertebrados, DBO5, Fósforo total, Fosfatos y Cianuros
	Sar_PD_Sector2	No	No	-	-	-	No valorado

Los resultados de la valoración reflejan que, exceptuando el caso del río Riamonte, las masas de agua en las que se incluyen los tramos de estudio no alcanzan el buen estado. Los problemas en general se relacionan con vertidos de aguas residuales y con contaminación difusa de origen urbano (se considera como contaminación difusa de origen urbano la producida por las aguas de escorrentía y por alivios o deficiencias de los sistemas de saneamiento). El estado químico se ha calificado como bueno en todos los tramos.

En los recorridos de campo realizados para el presente trabajo se ha podido constatar la problemática comentada (Figura 26). Como consecuencia de las intensas lluvias de principios de octubre, en varios de los tramos se encontraron abundantes restos de basuras entre las evidencias de la crecida, reflejo de la presencia de alivios o vertidos de aguas residuales. Los tramos más afectados fueron Sar\_SC\_Sector2 y Sar\_SC\_Sector3. Aunque no forma parte de los tramos estudiados, también se incluyen fotografías de la zona en la que se produce el vertido (y alivio) de la EDAR de Silvouta, y el tramo del río Sar en Ames antes de recibir las aguas del río Riamonte. En ellas se muestra el impacto generado por las aguas residuales de Santiago de Compostela sobre el río Sar.



Figura 26.- Evidencias de la presencia de alivios de aguas residuales en los tramos de estudio.

(A): tapa levantada de una alcantarilla en las proximidades del cauce en el tramo Sar\_SC\_Sector2; (B): río Sar en el tramo Sar\_SC\_Sector2; (C): río Sar tras el alivio de la EDAR de Silvouta.

#### 4.3.1.2. Calidad de la vegetación acuática y ripícola

Como complemento a la calidad biológica se ha realizado una breve caracterización de la vegetación acuática y ripícola presente en los tramos de estudio.

En un sistema fluvial natural, la vegetación acuática y ripícola tiende a disponerse en bandas horizontales, paralelas al cauce, hasta que llega a contactar con la vegetación climatófila. En una primera banda se sitúa la vegetación hidrofítica y helofítica, seguida por la vegetación ripícola arbórea y arbustiva adaptada a suelos inundados e inestables, con mayores requerimientos hídricos y que soportan los efectos de crecidas y avenidas. Posteriormente se localizan aquellas especies que requieren mayor estabilidad y nivel freático elevado, seguidas por las adaptadas a capas freáticas más profundas y oscilantes. En último lugar se encuentra la vegetación climatófila, en ocasiones entremezclada con la vegetación de ribera (Lara et al., 2007).

En las zonas de estudio, en lo que respecta a la primera banda de vegetación (vegetación acuática propia del cauce del río y herbáceas de las riberas), se observan básicamente helófitos de los géneros *Oenanthe*, *Carex*, *Iris*, *Apium*, algunos de ellos con preferencias por suelos ricos en nitrógeno (*Iris*, *Apium*) (Freire & Guitián, 2005) (Figura 27). En algunos casos se han observado también hidrófitos del género *Ranunculus* (Sarela\_Sector3) y *Callitriche* (Sarela\_Sector2). En el sector del tramo bajo del río Sar (Sar\_PD\_Sector1) se ha detectado una extensa cobertura de hidrófitos de la especie *Ceratophyllum demersum*, propia de aguas estancadas o de curso muy lento y de escasas fluctuaciones cuyo crecimiento se ve favorecido por la eutrofización<sup>30</sup>, junto con especies de otros géneros como *Callitriche* y *Potamogeton*. En el tramo Sar\_SC\_Sector3, con gran presencia de cantos y bloques en el cauce, no se ha observado vegetación en su interior. En el tramo Sar\_PD\_2 (canal de derivación de hormigón del río Sar) no se ha detectado vegetación ni el interior del cauce ni en la ribera.

<sup>30</sup> En TAXAGUA: Tesoro taxonómico para la clasificación del estado ecológico de las masas de agua continentales. Flora acuática: macrófitos (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente); y en el Protocolo de laboratorio y cálculo de métricas de otro tipo de flora acuática (macrófitos) en lagos. OFALAM-2013, VERSIÓN 1 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).



Con respecto a la vegetación ripícola, la comunidad característica de la zona de estudio se corresponde con alisedas oligotróficas atlánticas (Lara et al., 2007), y concretamente con la asociación *Senecioni bayonensis-Alnetum glutinosae* (Amigo et al., 1987). Ello implica un estrato arbóreo dominado por el aliso (*Alnus glutinosa*), acompañado por sauces (*Salix* spp.) y fresnos (*Fraxinus angustifolia*), y un sotobosque compuesto por especies arbustivas espinosas como *Rubus* sp., pteridófitos y herbáceas entre las que se pueden encontrar especies nitrófilas de los géneros *Urtica*, *Rumex* y *Apium*. La presencia de estas especies nitrófilas es habitual debido a los aportes continuos de materiales arrastrados por los ríos (Lara et al., 2007). Atendiendo a la habitual disposición en bandas de vegetación explicada en el párrafo anterior, los sauces, especies flexibles y con gran capacidad de regeneración, se sitúan en primera línea del cauce, seguidos por alisos y fresnos. Por último se sitúan las especies características de la vegetación climatófila (*Quercus*, *Laurus*, *Corylus*, brezales).

Analizando la vegetación presente en las zonas de estudio se observan alteraciones con respecto a esta organización teórica. En primer lugar, porque existen discontinuidades asociadas sobre todo a la existencia de prados o zonas de cultivo (especialmente en los tramos Sarela\_Sector1, Sar\_SC\_Sector1, Sar\_SC\_Sector2 y alguna parte del tramo Sar\_PD\_Sector1), y a edificaciones o protecciones de márgenes, que dan lugar a riberas especialmente degradadas en los tramos Sarela\_Sector2, Sarela\_Sector3, Sar\_SC\_Sector3 y en los dos tramos de estudio de la zona de Padrón (Figura 27).

Además, en las zonas en las que la vegetación se mantiene no se aprecia la zonificación horizontal propia de estas comunidades. El estrato arbóreo y arbustivo está formado por una alineación al borde del cauce, compuesta fundamentalmente por ejemplares de *Alnus glutinosa* y *Salix* spp., características de las primeras líneas de ribera, que se entremezclan con especies de transición o climatófilas como *Quercus robur*, *Laurus nobilis* y *Corylus avellana*, en función del tramo de estudio.

Lo mismo ocurre con la estratificación vertical, siendo el sotobosque prácticamente inexistente, a excepción de algunos pteridófitos que se mantienen en los tramos Sarela\_Sector1 y Sar\_SC\_Sector1. En el sector herbáceo abundan en general representantes de géneros helófitos como *Rubus*, *Rumex* y *Urtica*, con apetencias por suelos ricos en nitrógeno (Freire & Guitián, 2005). Aunque estos son habituales en las márgenes fluviales, conviene destacar su elevada presencia ya desde los tramos localizados en el curso alto del río (tramos Sarela\_Sector1 y Sar\_SC\_Sector1).

En el caso de la zona de Ames (Riamonte\_Sector1), las especies existentes proceden de la repoblación efectuada cuando se modificó el cauce del río, sin que haya quedado rastro alguno de la vegetación de ribera original (Figura 27).

Las EEI se han detectado en todos los tramos excepto en el curso alto del río Sarela (Sarela\_Sector1) (Figura 27). Aparecen de modo generalizado las especies siguientes:

- *Robinia pseudoacacia* en el estrato arbóreo, especie con capacidad para modificar las condiciones naturales del terreno en el que se encuentra al formar un humus rico en nitrógeno. Ello favorece, a su vez, la presencia de especies oportunistas (Xunta de Galicia, 2007).
- *Tradescantia fluminensis* en estrato herbáceo, especie que suele naturalizarse en espacios antrópicos pero que también crece sobre suelos frescos y con cierta nitrofilia. Afecta a la regeneración de especies nativas al formar alfombras monoespecíficas en hábitats naturales (Xunta de Galicia, 2007).

Aunque también se han detectado manchas de *Cortaderia selloana* (Sar\_SC\_Sector1, Sar\_SC\_Sector2), caña común (*Arundo donax*, en Sar\_PD\_Sector2) y *Phytolacca americana* (Sar\_PD\_Sector1, Sar\_PD\_Sector2). Todas ellas son propias de medios alterados, y en el caso de *Arundo donax* y *Phytolacca americana*, también de zonas con alta nitrofilia.

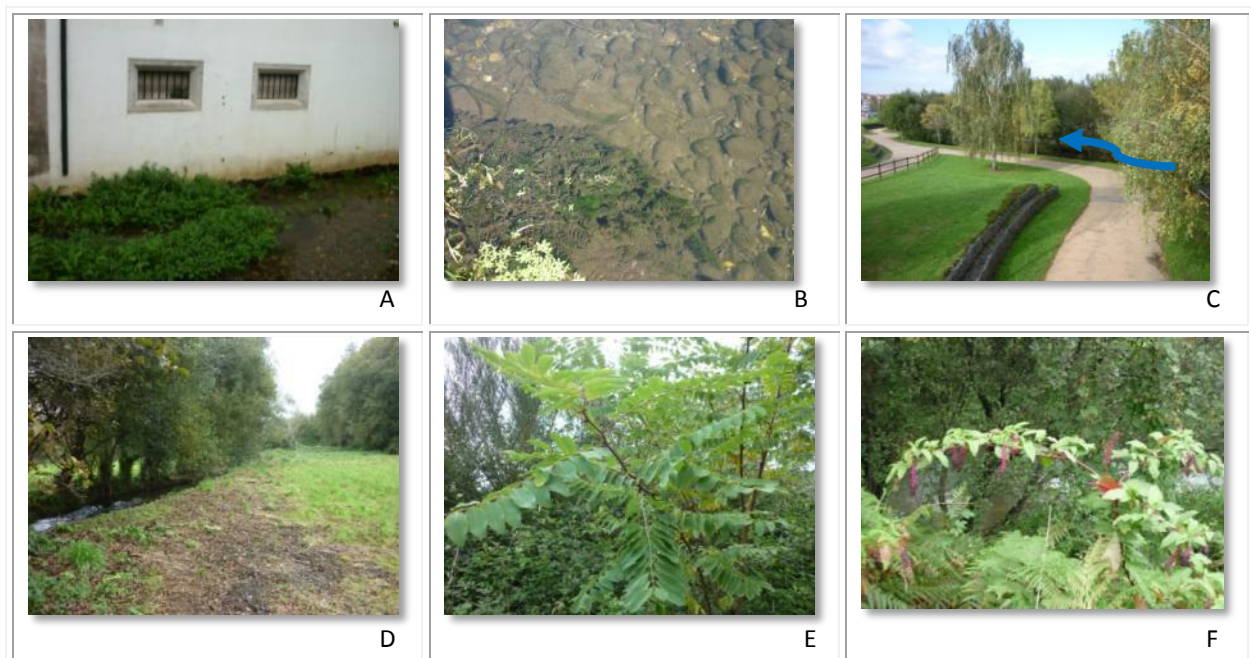


Figura 27.- Diferentes tipos de vegetación presentes en los tramos de estudio.

(A): representantes del género *Apium* en el tramo Sarela\_Sector2; (B): *Ceratophyllum demersum* en Sar\_PD\_Sector1; (C): bosque de ribera prácticamente inexistentes en el tramo Riamonte\_Sector1. La flecha azul indica la zona por donde circula el río; (D): discontinuidades en el bosque de ribera asociadas a prados en el tramo Sar\_SC\_Sector2; (E): ejemplar de *Robinia pseudoacacia* en el tramo Sar\_PD\_Sector1; (F): ejemplar de *Phytolacca americana* en el tramo Sar\_PD\_Sector1.

### 4.3.2. Calidad hidromorfológica

#### 4.3.2.1. Índice IHG

Los resultados de la aplicación del índice IHG apuntan a una baja calidad hidromorfológica en todos los tramos de estudio (Tabla 7). Los mejores resultados se obtienen en el curso alto del río Sarela (Sarela\_Sector1), así como en los dos primeros tramos del río Sar a su paso por Santiago de Compostela (Sar\_SC\_Sector1 y Sar\_SC\_Sector2), cuya calidad hidromorfológica total es moderada. Los peores

resultados se alcanzan en los tramos del río Sar a su paso por la localidad de Padrón, con una calidad muy mala. Los restantes sectores obtienen una calidad deficiente.

Tabla 7.- Resultados totales y parciales (por sección) de la aplicación del índice IHG en los diferentes tramos de estudio.

Los colores se corresponden con las cinco clases de calidad definidas en el índice: azul- muy buena; verde- buena; amarillo- moderada; naranja- deficiente; rojo- muy mala.

SECCIÓN ÍNDICE IHG	SARELA_ SECTOR1	SARELA_ SECTOR2	SARELA_ SECTOR3	SAR_ SC_ SECTOR1	SAR_ SC_ SECTOR2	SAR_ SC_ SECTOR3	RIAMONTE	SECTOR1 SAR_ PD_ SECTOR1	SECTOR2 SAR_ PD_ SECTOR2
<b>1. CALIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA</b>	<b>21</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>19</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
1.1 Naturalidad del régimen de caudal	8	8	8	8	6	8	8	0	0
1.2 Disponibilidad y movilidad de sedimentos	8	6	6	8	5	6	5	2	1
1.3 Funcionalidad de la llanura de inundación	5	0	0	3	4	1	0	0	0
<b>2. CALIDAD DEL CAUCE</b>	<b>21</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>4</b>
2.1 Naturalidad del trazado y de la morfología en planta	9	2	2	9	9	2	2	0	0
2.2 Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales	7	4	6	7	5	6	5	5	4
2.3 Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral	5	0	0	4	6	0	0	0	0
<b>3. CALIDAD DE LAS RIBERAS</b>	<b>15</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>17</b>	<b>15</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
3.1 Continuidad longitudinal	7	4	5	8	6	3	2	1	0
3.2 Anchura del corredor ribereño	2	2	2	4	4	1	1	0	0
3.3 Estructura, naturalidad y conectividad transversal	6	1	1	5	5	0	1	0	0
<b>TOTAL ÍNDICE IHG</b>	<b>57</b>	<b>27</b>	<b>30</b>	<b>55</b>	<b>50</b>	<b>27</b>	<b>24</b>	<b>8</b>	<b>5</b>

Dentro de las diferentes secciones valoradas por el índice, los peores resultados se obtienen en el apartado encargado de evaluar la calidad del corredor ribereño (Sección IHG 3. Calidad de las riberas). En coherencia con lo que se señalaba en el apartado de calidad de la vegetación acuática y ripícola, las principales alteraciones se deben a la reducción de la anchura del corredor ribereño, con puntuaciones prácticamente nulas excepto para los tramos Sar\_SC\_Sector1 y Sar\_SC\_Sector2. También se obtienen pésimas puntuaciones a causa de la pérdida de estructura y naturalidad (esta última por presencia de EEI) en las riberas supervivientes, excepto en el caso de nuevo de los tramos Sarela\_Sector1 y Sar\_SC\_Sector2, así como en Sar\_SC\_Sector1. La continuidad longitudinal también se ha visto afectada en todos los tramos (por presencia de edificaciones, pastos o prados abandonados), aunque con menor intensidad en los sectores más cercanos a los nacimientos de los ríos (Sarela\_Sector1 y Sar\_SC\_Sector1) y en el tramo Sar\_SC\_Sector2. Especialmente grave resulta la situación del río Sar en su último tramo en Santiago de

Compostela (Sar\_SC\_Sector3), del río Riamonte en Ames, y de los dos tramos del río Sar en Padrón.

La calidad funcional del sistema se encuentra particularmente alterada en la zona de Padrón. La derivación de parte del caudal del río (líquido y sólido) a través del canal, junto con la construcción de defensas y la sobreelevación de la llanura de inundación, han supuesto la completa alteración del motor funcional del sistema: la materia (caudales líquidos y sólidos) y la energía (regulación de la energía a través de la llanura de inundación).

En cuanto al resto de los tramos, la funcionalidad de la llanura de inundación se muestra también seriamente alterada, con valores prácticamente nulos excepto en los tramos Sarela\_Sector1 (el único que alcanza una calidad buena) y Sar\_SC\_Sector2. En cuanto a la disponibilidad y movilidad de sedimentos los problemas detectados se deben fundamentalmente a desconexiones con el valle y llanura de inundación. La naturalidad del régimen de caudal ha sido uno de los aspectos más complicados de valorar por la inexistencia de registros que permitan su análisis. Se han atribuido alteraciones al hecho de que se registran vertidos de alivios de aguas residuales y de aguas pluviales (más abundantes en el caso del tramo Sar\_SC\_Sector2), pero no están cuantificados. Ello, junto con la ausencia de datos de caudal del río, complica precisar la magnitud de la alteración.

La calidad del cauce es buena en los sectores más cercanos a los nacimientos de los ríos (Sarela\_Sector1 y Sar\_SC\_Sector1) y en el tramo Sar\_SC\_Sector2, aunque presentan afecciones a la naturalidad de las márgenes debido a la existencia puntual de protecciones de escollera. Exceptuando estos tramos, las alteraciones más importantes se deben a las canalizaciones, muros, edificaciones y protecciones de márgenes que obstaculizan la movilidad lateral. La morfología en planta se encuentra alterada de modo general debido a cambios menores como retranqueo o alguna rectificación, aunque destaca nuevamente el caso de Padrón, en el que el río se ha rectificado completamente. Los azudes y puentes son las alteraciones más frecuentes en cuanto a la ruptura de la continuidad longitudinal de los cursos fluviales.

Como se explicaba en el apartado 4.2.3. el vertido de la EDAR de Santiago de Compostela supone un incremento de los caudales del río Sar de un 50%, que llega a ser del 300% en época de estiaje. El impacto sobre la calidad hidrogeomorfológica previsible por este incremento de caudal líquido y sólido (dado que se trata de aguas residuales) debe formar parte de los impactos producidos por la urbanización sobre el río Sar. Por limitaciones de tiempo no ha podido incluirse el segmento del río afectado dentro del presente trabajo, pero resultaría interesante verificar la magnitud de este impacto en trabajos futuros.

#### 4.3.2.2. Otros indicadores geomorfológicos

##### *Pendiente del cauce*

Los valores de la pendiente del cauce en las zonas de estudio no son en general elevados. En ningún caso se alcanzan 0,02m/m (Tabla 8; Figura 28Tabla 3), lo que se corresponde con gradientes energéticos de medios a bajos. Aun así se observan diferencias entre las zonas de estudio, con pendientes más elevadas en el río Sarela (aunque hay un ligero descenso en su tramo intermedio) y en el tramo alto del río Sar, en los que los valores oscilan entre 0,013 y 0,02m/m. A partir de la zona de cabecera, la pendiente del río Sar va disminuyendo a valores de entre el 0,006 y 0,008m/m a su paso por Santiago de Compostela, y a valores de 0,001m/m en la zona de desembocadura (Padrón). El río Riamonte, en el municipio de Ames, tiene pendientes también bajas, de 0,002m/m.

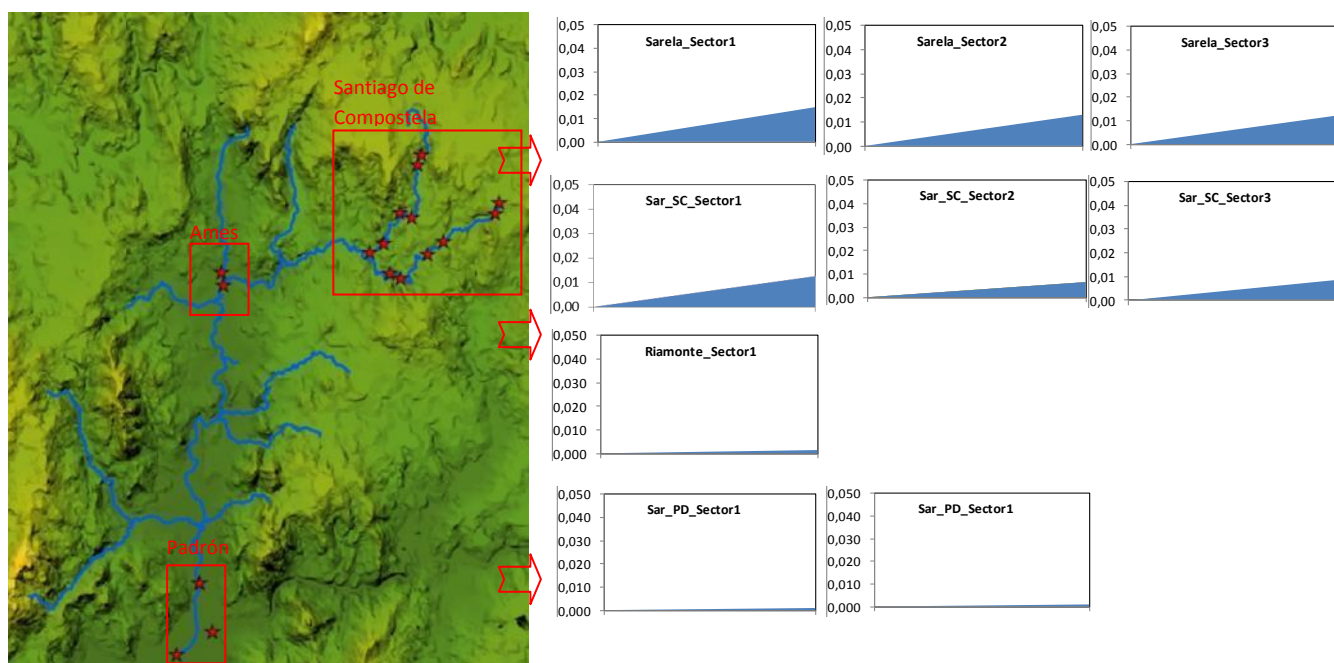


Figura 28.- Representación de las pendientes del cauce en cada uno de los tramos de estudio. Valores expresados en m/m. Mapa de relieve elaborado por Aguas de Galicia a partir de la imagen del satélite Landsat.

##### *Trazado en planta*

El trazado de un cauce está estrechamente relacionado, entre otros factores ambientales, con elementos físicos como la pendiente, el caudal y la carga transportada (Conesa, 1992). En general los ríos tienden a presentar niveles de baja a moderada sinuosidad en los tramos altos y medios, mientras que los valores de sinuosidad máxima se asocian en mayor medida con las zonas bajas (FISRWG, 1998). Los tramos rectilíneos son poco frecuentes en el medio natural, y su presencia está asociada normalmente a cuestiones estructurales (Conesa, 1992).

La morfología en planta de los tramos estudiados se corresponde casi en su totalidad con ríos sinuosos (Tabla 8), con la única excepción la supone el tramo meandriforme del río

Sarela a su paso por Santiago de Compostela (tramo Sarela\_Sector2). Aun sí, dentro de la morfología de carácter sinuoso se encuentran diferencias entre los tramos: Sarela\_Sector3, Sar\_PD\_Sector1 y Sar\_PD\_Sector2 presentan un valor del índice de sinuosidad muy próximo al valor límite para los cauces rectos (valores de 1,06 y 1,07 frente al umbral de 1,05), mientras que Sar\_SC\_Sector2 se queda al borde de alcanzar la categoría de moderadamente meandriforme (valor de 1,28 frente al umbral de 1,3).

Para analizar hasta qué punto ha variado la sinuosidad con el cambio en los usos del suelo, se ha calculado el índice de sinuosidad sobre los fotogramas del vuelo Americano Serie B del año 1956. El uso agrícola en las márgenes de los ríos ya estaba presente incluso en las fotografías del año 1946 (Vuelo Americano serie A), por lo que las comparaciones con respecto a una situación natural de referencia no son posibles. Además, ocurre que en algunos tramos la vegetación de ribera presenta ahora mayor cobertura, por lo que algunas pequeñas diferencias en el índice pueden atribuirse a la mayor dificultad para seguir el trazado del río en la ortofotografía del PNOA de máxima actualidad (2015). Con todo, hay algunos tramos en los que se observan diferencias destacables. La más acusada es la del tramo Sar\_PD\_Sector1, que presentaba una morfología marcadamente meandriforme ( $I_s=1,81$ , que ha descendido hasta 1,07) (Figura 29). En los tramos Sar\_SC\_Sector2 y Sar\_Sector3 también se observa, aunque de forma más leve, un descenso en la sinuosidad. Sar\_SC\_Sector2 alcanzaba la categoría de moderadamente meandriforme, no así Sar\_SC\_Sector3, que se quedaba ligeramente por debajo.

Un caso también resaltable es el del río Riamonte (Ames). La sinuosidad apenas varía con respecto al año 1956, pero la observable hoy en día puede calificarse como artificial. Los meandros fueron “redibujados” con la construcción del parque fluvial, de modo que se ha convertido en una sinuosidad permanente (Figura 29).

Para el resto de los tramos, los resultados parecen indicar que las intervenciones que se han producido sobre ellos en las últimas décadas no han supuesto modificaciones muy evidentes en el trazado en planta con respecto al existente en las ortofotografías antiguas.

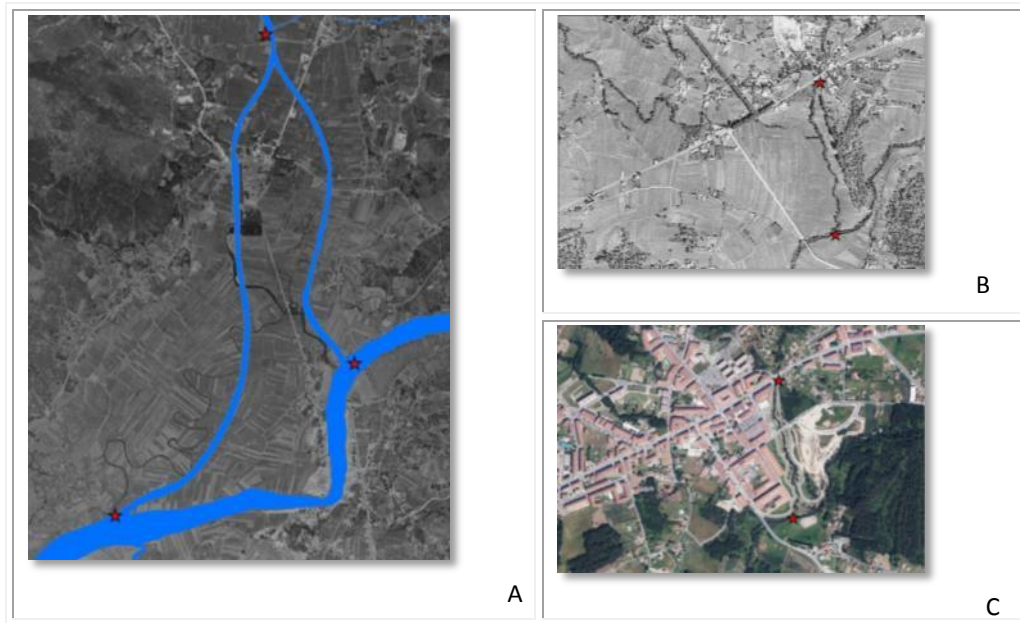


Figura 29.- Comparación de la morfología en planta actual con respecto al año 1956.  
(A): ortofotografía del año 1956 del río Sar en la zona de desembocadura. Se representa en color azul el trazado actual del río Sar, junto con el canal de derivación. (B y C): río Riamonte a su paso por Bertamiráns en la ortofotografía del año 1956 (B) y en la ortofotografía del año 2015 (C).

Tabla 8.- Variables geomorfológicas de los sectores de estudio.

Sin=sinuoso; mod.meand.=moderadamente meandriforme; meand.=meandriforme

MUNICIPIO	SECTOR DE ESTUDIO	TRAZADO EN PLANTA				PENDIENTE DEL CAUCE Y ESTRUCTURA LONGITUDINAL		SECCIÓN Y ESTRUCTURA VERTICAL	CAUDAL BANKFULL Y POTENCIA ESPECÍFICA		
		Is (PNOA 2015)		Is (Am.Serie B 1956)		Gurnell <i>et al.</i> (2007)	Pte del cauce (m/m)	Facies	Relación w/d	Caudal bankfull (m <sup>3</sup> /s)	Pot.específica (w/m <sup>2</sup> )
SANTIAGO DE COMPOSTELA	Sarela_Sector1	1,12	sin.	1,2	sin.	En recuperación	0,015	<i>Riffle-pool/Table antrópico</i>	6,74	6,44	327
	Sarela_Sector2	1,52	meand.	1,5	meand.	Meandriforme (interv.)	0,010	<i>Run/Table antrópico</i>	8,49	10,09	206
	Sarela_Sector3	1,06	sin.	1	sin.	Recto (interv.)	0,013	<i>Run/Table antrópico</i>	7,69	7,71	317
	Sar_SC_Sector1	1,19	sin.	1,2	sin.	En recuperación	0,013	<i>Riffle-pool/Table antrópico</i>	6,73	15,88	313
	Sar_SC_Sector2	1,28	sin.	1,4	mod. meand.	En recuperación	0,006	<i>Riffle-pool/Table antrópico</i>	5,31	11,07	117
	Sar_SC_Sector3	1,20	sin.	1,3	sin.	Meandriforme (interv.)	0,008	<i>Riffle-pool/Run</i>	4,31	25,51	272
AMES	Riamonte_Sector1	1,07	sin.	1,1	sin.	Meandriforme (interv.)	0,002	<i>Table antrópico</i>	4,80	8,80	18
PADRÓN	Sar_PD_Sector1	1,07	sin.	1,8	meand.	Recto (interv.)	0,001	<i>Table</i>	10,54	59,87	11
	Sar_PD_Sector2	1,06	sin.	-	-	Recto (interv.)	0,001	<i>Table</i>	30,00	49,77	20



### *Sección y estructura transversal*

Los datos referentes a la sección transversal muestran en general una baja relación anchura/profundidad (en adelante, relación  $w/d$ ), con valores comprendidos entre 4 y 9 (Tabla 8; Figura 30). Se encuentran fuera de este rango los sectores del tramo bajo del río Sar, para los que se obtienen relaciones de 10,5 y 30 (Sar\_PD\_Sector1 y Sar\_PS\_sector2 respectivamente).

Aunque esta relación varía según el tipo de cauces, a raíz de las observaciones realizadas en diversos estudios de campo se considera el valor de 12 como el más frecuente<sup>31</sup>. Este valor se corresponde con cauces naturales, en los que este cociente es reflejo de los procesos físicos que determinan la distribución de la energía y los procesos de erosión y transporte de sedimentos. En el caso que nos ocupa es frecuente que algunos aspectos morfológicos se correspondan más con actuaciones humanas (canalizaciones, encauzamientos, modificaciones de las secciones...) que con los propios procesos fluviales, lo que debe ser tenido en cuenta a la hora de interpretar esta relación.

Comparando las relaciones  $w/d$  obtenidas en los diferentes tramos, se observa que los valores más elevados corresponden a los tramos Sarela\_Sector2 y Sarela\_Sector3, en los que la sección transversal ha sido fuertemente modificada por infraestructuras (edificaciones, escolleras y muros) y por tanto el ancho del cauce está determinado por estas construcciones. En el río Sar en Santiago de Compostela se observa la disminución de la relación  $w/d$  a lo largo de los tres tramos de estudio. La profundidad del cauce se incrementa entre ellos en mayor medida que el ancho, particularmente entre el segundo y tercer sector.

En el caso del río Riamonte, la transformación del cauce en un sistema de doble canal trapezoidal dimensionado para caudales concretos (caudal medio anual y avenida de los 100 años), no permite estimar en campo la sección *bankfull*. Lo que sí se ha podido verificar es la transformación de la sección transversal del río con respecto al cauce previo a raíz de la ejecución del proyecto. Como se puede observar en la Figura 31, se ha incrementado considerablemente la anchura del cauce y se ha excavado la llanura de inundación para adecuar la forma de los canales a los caudales de diseño.

En los tramos de estudio de Padrón, la elevada relación  $w/d$  del segundo sector (Sar\_PD\_Sector2) no es más que el reflejo de las dimensiones proyectadas del canal artificial, calculadas para poder albergar el 63% del caudal que llevaría el río Sar en el punto de derivación en la avenida de los 1000 años. Ello ha supuesto un ancho muy extenso para los caudales que normalmente circulan por el canal.

<sup>31</sup> Según estudios realizados por la Agencial Ambiental de los Estados Unidos (USEPA: [http://cfpub.epa.gov/watertrain/moduleFrame.cfm?parent\\_object\\_id=1262](http://cfpub.epa.gov/watertrain/moduleFrame.cfm?parent_object_id=1262)) (fecha de consulta: 09/01/2016)

La sección transversal del tramo Sar\_PD\_Sector1 también se encuentra modificada debido a las rectificaciones a las que fue sometido, aunque en este caso no se dispone de datos relativos a la sección original del río. La baja relación  $w/d$  de este tramo de desembocadura podría estar reflejando un proceso de incisión fluvial.

### *Potencia específica*

El caudal *bankfull* y la potencia específica de los tramos de estudio reflejan también las alteraciones ejercidas por las actuaciones fluviales sobre ellos, aunque de nuevo debe advertirse sobre el carácter no concluyente de esta información que debe ser analizada con cautela.

Los caudales con mayor competencia se sitúan en los sectores con mayor pendiente (tramo alto de río Sar, y tramos alto y final del río Sarela) (Tabla 8; Figura 30). En ellos los valores de la potencia oscilan entre los 310 y 330  $w/m^2$ . En el río Sarela, el tramo intermedio (Sarela\_Sector2) presenta caudales superiores asociados a una mayor sección *bankfull* (se recuerda que está condicionada por estructuras longitudinales) pero con menor potencia específica por la menor pendiente del tramo. En los dos tramos restantes del río Sar a su paso por Santiago de Compostela (Sar\_SC\_Sector2 y Sar\_SC\_Sector3), la caída de la pendiente se relaciona con una menor potencia específica en el tramo Sar\_SC\_Sector2, en el que la potencia desciende a valores cercanos a 100  $w/m^2$ . En el tramo Sar\_SC\_Sector3, sin embargo, tanto el caudal *bankfull* como la potencia se incrementan y alcanzan valores superiores a los 25  $m^3/s$  y 270  $w/m^2$  respectivamente, debido al aumento de la sección transversal).

Tanto en el tramo de estudio del río Riamonte como en los tramos del Sar en Padrón, la potencia cae drásticamente a valores inferiores a los 20  $w/m^2$ , como es propio de tramos de baja pendiente.

Estos datos han encontrado cierta correspondencia con algunas observaciones de campo. Así, en el tramo Sarela\_Sector3, uno de los que mayor potencia específica presenta, se han apreciado evidencias de erosión en la solera de una vivienda cercana al cauce. En el sector Sar\_SC\_Sector3, la elevada presencia de cantos y bloques en el cauce procedentes de las escolleras de las márgenes ponen también de manifiesto su potencia energética. En las zonas de Ames (Bertamiráns) y Padrón se han encontrado acumulaciones de sedimentos propias de zonas de baja potencia energética (Figura 32).

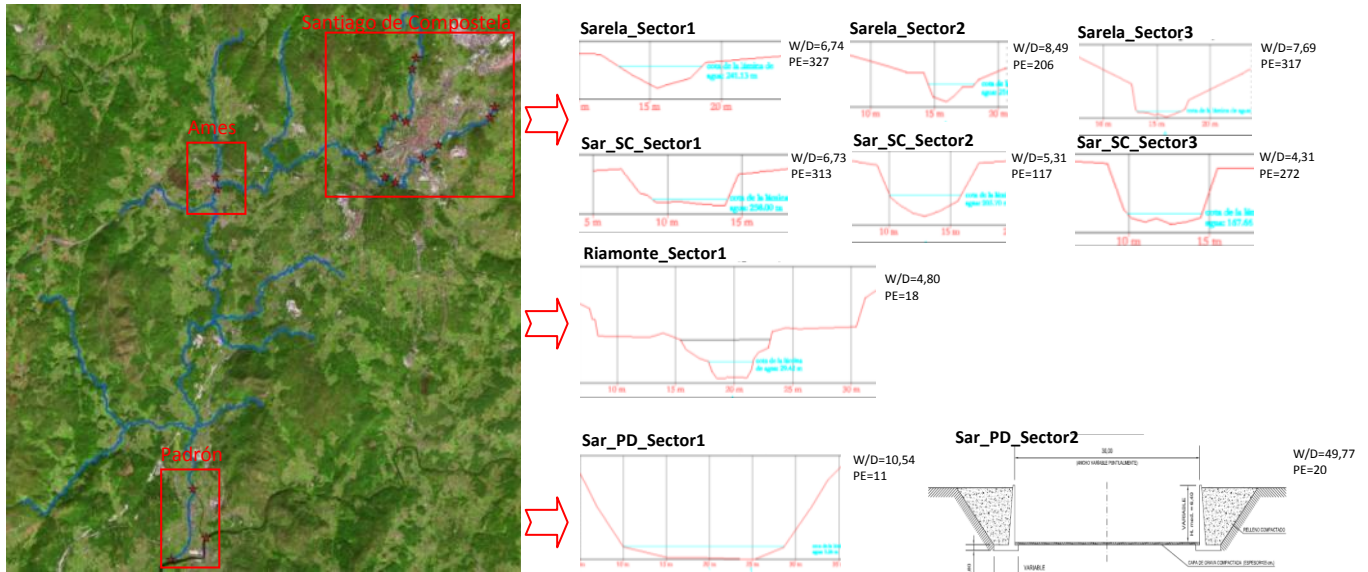


Figura 30.- Representación de las secciones transversales de los diferentes tramos de estudio. Para cada uno de ellos se especifica la relación anchura/profundidad (W/D) y la potencia específica (PE).

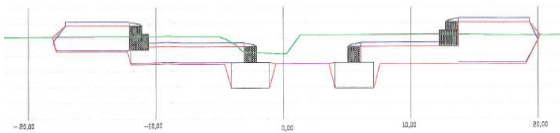


Figura 31.- Sección transversal de un tramo del río Riamonte (Ames) proyectada en la construcción del parque fluvial. Fuente: proyecto de construcción OH.415.461 (Aguas de Galicia). En verde, la sección transversal del cauce previa a la intervención. En rojo, la sección transversal proyectada en la intervención.

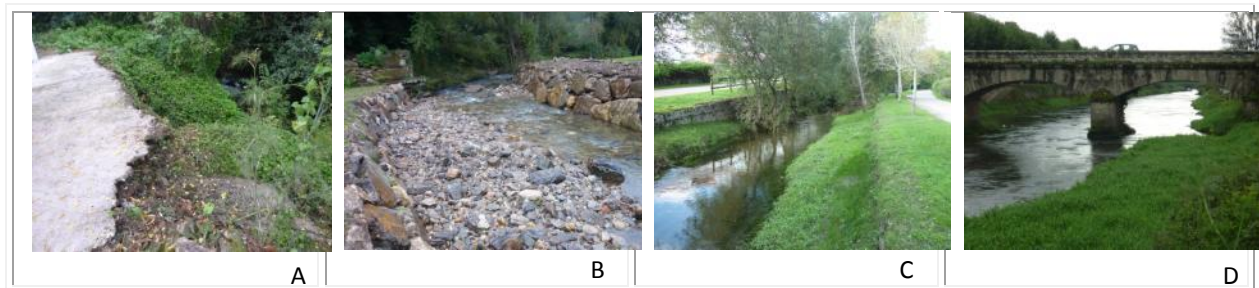


Figura 32.- Algunas muestras de las diferentes potencias energéticas encontradas en los tramos de estudio. (A): solera erosionándose en la margen derecha del cauce en el tramo Sarela\_Sector3; (B): depósitos en el cauce de piedras de procedentes de la erosión de la escollera en el tramo Sar\_SC\_Sector3; (C): estrechamiento del cauce por acumulación de sedimentos en el tramo Riamonte\_Sector1; (D): estrechamiento del cauce por acumulación de sedimentos en el tramo Sar\_PD\_Sector1.

#### 4.3.2.3. Diversidad de hábitats

A partir del tipo y nivel de intervención en la morfología fluvial de los tramos de estudio (definido por forma en planta, la sección transversal, y las actuaciones de encauzamiento y/o refuerzo de márgenes) se ha efectuado una correlación con la abundancia y diversidad de hábitats físicos observados por Gurnell et al. (2007) en función de las posibles combinaciones entre estos aspectos.

La clasificación de acuerdo a las clases de morfología en planta resulta en tres grupos diferenciados:

- Cauce en recuperación (ríos con intervenciones pero que muestran reajustes inducidos por los procesos fluviales): Sarela\_Sector1, Sar\_SC\_Sector1 y Sar\_SC\_Sector2, que presentan tramos con ausencia de protecciones en las márgenes y cierta distancia con respecto a estructuras como edificaciones y vías de comunicación.
- Cauce recto con intervención (morfología recta con presencia de intervenciones): Sarela\_Sector3, Sar\_PD\_Sector1 y Sar\_SC\_Sector2, que poseen una morfología rectilínea (aunque el índice de sinuosidad no los llega a clasificar como cauces rectos) y presentan intervenciones de las márgenes por escolleras, edificaciones y canalizaciones.
- Cauce meandriforme con intervención (morfología sinuosa/meandriforme con presencia de intervenciones): Sarela\_Sector2, Sar\_SC\_Sector3 y Riamonte\_Sector3, cuyo caso es igual al anterior pero presentan una morfología más sinuosa.

Para la clasificación de la sección transversal, en los tramos de estudio tan sólo en Sar\_SC\_Sector3 y Sar\_PD\_Sector2 se ha podido constatar el incremento del ancho del cauce. En el caso de la zona de Ames (Riamonte\_Sector2), el cauce se ha transformado a un sistema de doble canal. Para el resto de los tramos, no se ha encontrado una correspondencia directa con las opciones señaladas dentro de la metodología propuesta por los autores. Se ha tomado la decisión de asimilarlos a una sección modificada, dado que los usos agrícolas del pasado y los urbanos actuales es probable que hayan producido, en mayor o menor medida, alguna modificación de las secciones.

Con base en estas consideraciones, la abundancia y diversidad de hábitats físicos que se esperaría encontrar en los tramos de estudio se muestra en la Tabla 9. Los valores más bajos corresponden al tramo Sar\_PD\_Sector2, mientras que un valor intermedio sólo se alcanza en los tramos Sarela\_Sector1, Sar\_SC\_Sector1 y Sar\_SC\_Sector2. Para los demás, la situación corresponde a la de baja abundancia y diversidad de hábitats.

Tabla 9.- Resultados de la abundancia y diversidad de hábitats físicos.

Se muestran los resultados esperables en cada uno de los tramos en función del tipo y nivel de intervención en la morfología fluvial (según Gurnell et al., 2007).

<i>MUNICIPIO</i>	<i>SECTOR DE ESTUDIO</i>	<i>Forma en planta</i>	<i>Sección transversal</i>	<i>Refuerzo/protección</i>	<i>Abundancia y diversidad de hábitats</i>
<b>SANTIAGO DE COMPOSTELA</b>	<b>Sarela_Sector1</b>	En recuperación	Modificada	Ambas márgenes (puntual)	Intermedia
	<b>Sarela_Sector2</b>	Meandriforme (interv.)	Modificada	Ambas márgenes	Baja
	<b>Sarela_Sector3</b>	Recto (interv.)	Modificada	Ambas márgenes	Baja
	<b>Sar_SC_Sector1</b>	En recuperación	Modificada	Ambas márgenes (puntual)	Intermedia

	Sar_SC_Sector2	En recuperación	Modificada	Ambas márgenes (puntual)	Intermedia
	Sar_SC_Sector3	Meandriforme (interv.)	Aumentada	Ambas márgenes	Baja
AMES	Riamonte_Sector1	Meandriforme (interv.)	Doble canal	Ambas márgenes	Baja
PADRÓN	Sar_PD_Sector1	Recto (interv.)	Modificada	Ambas márgenes	Baja
	Sar_PD_Sector2	Recto (interv.)	Aumentada	Ambas márgenes y lecho	Muy baja

Con respecto al tipo de facies (Tabla 8; Figura 33) el más común en la zona alta de la cuenca (ríos Sar y Sarela a su paso por Santiago de Compostela) es el *riffle-pool*. Esta facies se ha descrito como la de mayor frecuencia de aparición, independientemente de la morfología del cauce, asociado a gradientes energéticos medios-bajos (FISRWG, 1998; Newson et al., 1998). Este tipo aparece combinado con tramos tipo *table* antrópico (en Sarela\_Sector 1, Sar\_SC\_Sector1 y Sar\_SC\_Sector2), facies característica de cauces de pendiente baja o muy baja, pero que en estos sectores aparece asociada a la existencia de azudes, o con algún tramo más rápido, tipo *run* (Sar\_SC\_Sector3).

También se observa la combinación de tipos *run/table* antrópico (en Sarela\_Sector2 y Sarela\_Sector3), en los que tramos tipo tabla se asocian nuevamente a la presencia de obstáculos en el cauce.

En los sectores de estudio de Ames y Padrón, con pendientes del cauce muy bajas, se observan tramos tipo *table*.

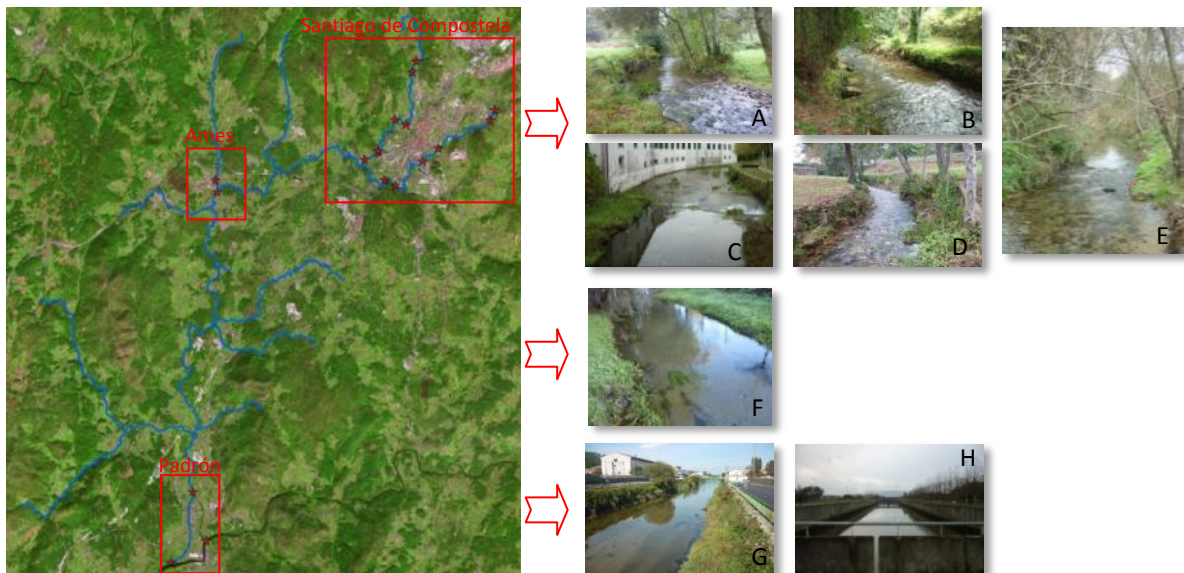


Figura 33.- Tipos de facies identificados en los tramos de estudio.  
 (A): *Riffle-pool* (Sarela\_Sector1); (B): *Run* (Sarela\_Sector2); (C): *Table* antrópico (Sarela\_Sector2); (D): *Run* (Sarela\_Sector3); (E): *Riffle-pool* (Sar\_SC\_Sector3); (F): *Table* antrópico (Riamonte\_Sector1); (G): *Table* (Sar\_PD\_Sector1); (H): *Table* (Sar\_PD\_Sector2).

### 4.3.3. Síntesis

En la Tabla 10 se resumen los resultados de la valoración de impactos realizada para los tramos de estudio. En lo que respecta a la calidad hidromorfológica, además del índice IHG se muestran algunos de los resultados obtenidos en la caracterización de la vegetación de ribera (alteración y presencia de EEI). Estos aspectos se incluyen en la tabla sólo a efectos de una visualización más completa de los resultados, ya que su valoración se realiza dentro del IHG.

Analizando los resultados de los diferentes indicadores, es evidente la presencia de impactos sobre todos los ámbitos de la calidad fluvial (físicoquímica, biológica e hidrogeomorfológica). Las afecciones con mayor presencia en los tramos estudiados son la alteración de la calidad físicoquímica de las aguas, la alteración de la anchura, estructura y naturalidad de las riberas, la pérdida de naturalidad de las márgenes de los cauces y de su movilidad lateral, y la alteración de la funcionalidad de la llanura de inundación.

Aunque los impactos están presentes en todos los tramos, es posible encontrar diferencias entre ellos en función del grado de alteración que presentan.

Por una parte, los tramos asociados a los nacimientos de los ríos (Sarela\_Sector1 y Sar\_SC\_Sector1) y el tramo Sar\_SC\_Sector2, muestran en general un menor grado de impacto. Aunque con deficiencias en la calidad físicoquímica de las aguas y presencia de especies nitrófilas dentro de la vegetación del cauce y de ribera, estos tramos presentan una alteración menos acusada sobre su calidad hidrogeomorfológica debido a la mejor funcionalidad de la llanura de inundación, la mayor naturalidad del cauce, y una vegetación de ribera menos alterada. Aun así, se observan en los tramos Sar\_SC\_Sector2 y Sar\_SC\_Sector3 evidencias de inestabilidad que indican que el río se encuentra en un proceso de ajuste de su sección transversal.

Por otra parte, el resto de los tramos de la zona de estudio de Santiago de Compostela presentan mayor grado de alteración, dado que a las deficiencias en la calidad físicoquímica y biológica se añade la degradación de aspectos como la funcionalidad de la llanura de inundación, la naturalidad de las márgenes o la calidad de la ribera. De igual modo, se observan evidencias de inestabilidad en las márgenes de algunos tramos.

La zona de la cuenca baja (Padrón) es la más alterada en todos los ámbitos (calidad físicoquímica, biológica, e hidrogeomorfológica). La presencia de un punto de control para la valoración del estado de las aguas ha permitido constatar la deficiente calidad ecológica del río Sar a escasos kilómetros de su desembocadura, y tanto la funcionalidad del sistema fluvial como el cauce y las riberas se encuentran en un estado de muy mala calidad. En el caso del canal de derivación del río Sar la situación se encuentra particularmente agravada. Aunque no se dispone de información acerca de la calidad química y físicoquímica de las

aguas, las caracterizaciones realizadas con respecto a su calidad biológica e hidromorfológica ponen de manifiesto su pésima calidad en todos los aspectos estudiados.

El caso del río Riamonte (Ames), la mala calidad hidrogeomorfológica contrasta con la buena valoración de su estado ecológico, aunque hay que tener en consideración que el punto de control empleado para su valoración está situado aguas arriba del sector de estudio. En este caso, la baja calidad hidrogeomorfológica se debe a la deficiente funcionalidad de la llanura de inundación, a la alteración de la naturalidad del trazado y márgenes del cauce, y a la baja calidad de sus riberas.

Tabla 10.- Tabla resumen de la valoración de impactos realizada para los tramos de estudio.  
 Spp.N: especies nitrófilas. Spp.Eutr.: especies cuyo crecimiento se ve favorecido por la eutrofización.

MUNICIPIO	SECTORES DE ESTUDIO	CALIDAD QUÍMICA/FISICOQUÍMICA/BIOLÓGICA (ESTADO DE LAS AGUAS)		CALIDAD BIOLÓGICA	CALIDAD HIDROGEOMORFOLÓGICA			
		Estado Ecológico	Estado Químico	Presencia spp.N/spp.Eutr.	IHG	Vegetación ribera	Presencia EEI	Abundancia y diversidad de hábitats físicos
SANTIAGO DE COMPOSTELA	Sarela_Sector1	Moderado	Bueno	Moderada	Moderado	Alterada	n.d.	Intermedia
	Sarela_Sector2			Alta	Deficiente	Muy alterada	Moderada	Baja
	Sarela_Sector3			Alta	Deficiente	Muy alterada	Alta	Baja
	Sar_SC_Sector1	Deficiente	Bueno	Moderada	Moderado	Alterada	Moderada	Intermedia
	Sar_SC_Sector2			Alta	Moderado	Alterada	Moderada	Intermedia
	Sar_SC_Sector3			Alta	Deficiente	Muy alterada	Moderada	Baja
AMES	Riamonte_Sector1	Muy bueno	Bueno	Moderada	Deficiente	Muy alterada	Moderada	Baja
PADRÓN	Sar_PD_Sector1	Deficiente	Bueno	Alta	Muy malo	Muy alterada	Alta	Baja
	Sar_PD_Sector2	-	-	-	Muy malo	Muy alterada	Alta	Muy baja



## 5. DISCUSIÓN

### 5.1. La urbanización como fuente de alteraciones del sistema fluvial

#### 5.1.1. Relación entre los impactos detectados y las causas de la degradación

El estudio de la situación actual del río Sar a su paso por las zonas urbanas de Santiago de Compostela, Ames y Padrón evidencia las alteraciones que presenta el río en su estructura y funcionamiento, así como las presiones existentes derivadas de la transformación urbana del uso del suelo.

Caracterizar la naturaleza de los problemas y conocer de qué modo los factores causales están afectando al río Sar es fundamental de cara a establecer las estrategias de mejora. Aun así, determinar la relación causal en toda su magnitud no es tarea fácil. Se incide una vez más en que la comprensión de los mecanismos responsables de los impactos sobre los cursos fluviales de cuencas urbanizadas es compleja por: (i) la interacción que existe entre los diferentes factores, y (ii) la diversidad de respuestas que estos generan sobre los sistemas fluviales.

Los resultados obtenidos permiten establecer algunas relaciones directas causa-efecto, por lo que se puede conocer de forma bastante aproximada de qué manera los factores de alteración inciden sobre el sistema fluvial. En otros casos la ausencia de información para caracterizar determinados impactos no hace posible establecer relaciones directas, aunque la aparición de algunos indicios y la propia existencia de determinados factores de alteración, permiten aventurar ciertas conexiones.

A continuación se analizan las relaciones que de uno y otro modo se pueden establecer, a la vista de los resultados, entre los impactos detectados en las tres zonas de estudio (Santiago de Compostela, Ames y Padrón) y los correspondientes factores causales.

##### 5.1.1.1. Zona de estudio: Santiago de Compostela

Los ríos Sar y Sarela, en la ciudad de Santiago de Compostela, son ríos de pequeñas dimensiones, de cabecera, que transportan caudales bajos (entre 0,26 y 0,60 m<sup>3</sup>/s) cuando comienzan a recibir la influencia de las áreas urbanizadas de la ciudad. Las zonas que de forma natural tienden a inundarse no son muy extensas, a excepción de algún tramo con menor pendiente en el que la llanura de inundación incrementa su extensión potencial (por ejemplo, el tramo de estudio Sar\_SC\_Sector2) (Figura 28).

Por otra parte, Santiago de Compostela es la ciudad con más población de la cuenca (Tabla 2), y la que mayor superficie impermeabilizada aporta a las cuencas vertientes de los ríos que discurren por ella (Tabla 5).

Si a ello le sumamos la elevada pluviosidad de la zona (en torno a los 1.500 mm anuales), el resultado es el de unos pequeños ríos de cabecera que se exponen a frecuentes descargas de alivios de las redes unitarias de saneamiento y de aguas pluviales de las redes separativas.

Además, la concentración de población que se produce en esta zona de cabecera del río Sar da lugar a la presencia de otros factores de alteración como son la propia ocupación del suelo, y la presencia de obstáculos a la continuidad fluvial como protecciones de las márgenes, vías de comunicación, colectores de saneamiento, puentes y pasarelas.

Todo ello guarda correlación con los datos de presiones inventariadas en los distintos tramos de estudio de la ciudad (Tabla 3).

#### Impactos sobre la calidad química y fisicoquímica

Los ríos Sar y Sarela presentan unas características con escasa capacidad de dilución cuando reciben los alivios de las redes unitarias de saneamiento y los vertidos de aguas pluviales de las redes separativas descritos en los resultados. En consecuencia, los resultados obtenidos de la valoración del impacto reflejan una calidad fisicoquímica moderada en el río Sarela, y deficiente en el río Sar (Tabla 6). Dicha valoración se encuentra apoyada, como se ha visto en los resultados, por la presencia de residuos procedentes de alivios observados durante los trabajos de campo (Figura 26).

Hay algunos estudios realizados específicamente en el río Sar en Santiago de Compostela que ponen de manifiesto los problemas de contaminación generados por los alivios de la red de saneamiento (Puertas et al., 1998) y por la red separativa de la urbanización de Fontiñas, en este último caso a consecuencia de las elevadas concentraciones de sólidos en suspensión (Anta et al., 2007; 2009).

Los impactos en la calidad fisicoquímica debidos a la presencia de alivios han sido ampliamente descritas en los entornos urbanos (Paul & Meyer, 2001; Findlay & Taylor, 2006; Bernhardt & Palmer, 2007; Gurnell et al., 2007).

Aunque no se ha podido demostrar su existencia por la falta de muestreos específicos, hay impactos que se podrían estar produciendo en la calidad química del agua y sobre los que se considera necesario realizar una llamada de atención. Es el caso de la presencia de contaminantes químicos derivados de las aguas residuales y de las aguas de escorrentía urbana.

Se conocen como contaminantes emergentes aquellas sustancias presentes en el ambiente (bien naturales o bien producidas artificialmente) susceptibles de generar algún tipo de impacto sobre los seres vivos, pero cuyos potenciales problemas no están suficientemente documentados (Sauvé & Desrosiers, 2014). Incluyen sustancias como fármacos, productos de cuidado personal y disruptores endocrinos. La preocupación por la presencia de estas sustancias en el agua se comenzó a despertar décadas atrás a raíz de diversos estudios que

ponían de manifiesto las anomalías fisiológicas encontradas en peces y otros organismos acuáticos en áreas cercanas a las descargas de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales<sup>32</sup>.

Actualmente se ha constatado la presencia de este tipo de sustancias en los sedimentos depositados en tiempo seco en las redes de saneamiento unitarias (Carballa et al., 2005; Rosal et al., 2010), también en el caso concreto de Santiago de Compostela. El estudio realizado por del Río et al. (2013) demuestra la acumulación de este tipo de sustancias en los sistemas de colectores de esta ciudad durante tiempo seco, lo cual las convierte en potenciales contaminantes de las aguas del río Sar a través de los alivios que tienen lugar ante eventos de precipitaciones, y a través del propio efluente de la EDAR.

Por otra parte, las aguas de escorrentía que se generan en eventos de precipitaciones adquieren a su paso por carreteras, aceras, tejados, etc. diferentes tipos de contaminantes que pueden llegar a afectar la calidad del agua. Se trata de sustancias procedentes de la deposición atmosférica, tráfico, basuras o residuos, actividades agrícolas o de jardinería, etc. (Llopart-Mascaró et al., 2010). Estos contaminantes son susceptibles de alcanzar las aguas de los sistemas fluviales directamente a través de las redes separativas de recogida de aguas pluviales, o a través de los alivios de las redes unitarias de saneamiento.

Con la entrada en vigor de la nueva directiva europea (Directiva 2013/39/UE del Parlamento Europeo y del Consejo<sup>33</sup>) relativa a las sustancias prioritarias en el ámbito de la política de aguas se comenzará a abordar este problema, al integrar dentro de los seguimientos realizados por las redes de control del estado de las aguas y de la propia valoración del estado químico varias de estas sustancias. Con ello podrá mejorarse el conocimiento acerca de la presencia de estas sustancias en las aguas del río Sar.

### Impactos sobre el régimen hidrológico

El volumen de agua incorporado al río por las descargas derivadas de los sistemas de saneamiento y de las aguas pluviales y de escorrentía (directamente relacionado con la superficie impermeabilizada de las cuencas vertientes), junto con la propia transformación del suelo en superficie impermeable, es susceptible de estar produciendo una alteración en el régimen hidrológico.

La ausencia de registros de caudales no permite conocer cómo se ve afectado el caudal circulante por estas descargas, ni cómo afectan a la duración y frecuencia de los episodios de inundación o crecidas. Ello impide comparar la situación actual con la situación previa a la urbanización de la cuenca para obtener la magnitud de la alteración. Tampoco es posible

---

<sup>32</sup> Water Quality Association <https://www.wqa.org/Learn-About-Water/Contaminants-of-Emerging-Concern/Pharmaceuticals-Personal-Care-Products-and-Endocrine-Disrupting-Compounds> (fecha de consulta 26/01/2016)

<sup>33</sup> Transpuesta a través del Real Decreto 817/2015 por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental.

comprobar la afección sobre otros procesos hidrológicos relacionados como la infiltración y evapotranspiración, así como la influencia sobre las aguas subterráneas.

No obstante, las alteraciones observadas dentro de la calidad geomorfológica indican que se están produciendo alteraciones del caudal circulante por el río (al menos en el caso del río Sar).

### Impactos sobre la calidad geomorfológica

Los impactos identificados sobre la calidad geomorfológica de los tramos fluviales guardan relación con diversas intervenciones sobre los propios cauces, así como con la presencia de determinados impactos sobre otros ámbitos fluviales que están directamente interconectados con los procesos geomorfológicos.

En primer lugar, se encuentra una relación con la alteración de los caudales circulantes, tanto líquidos como sólidos. Como se ha expuesto en los resultados (Figura 21) el tramo Sar\_SC\_Sector2 está recibiendo gran parte de las aguas de escorrentía generadas en las zonas impermeabilizadas de la ciudad (y por extensión, el tramo situado aguas abajo, Sar\_SC\_sector3). Ello supone que el río debe ajustar su morfología a las nuevas condiciones de caudal.

El mayor aporte de caudales tiene como consecuencia inmediata el incremento de la energía de la corriente, que se traduce en un aumento de la erosión. Estos procesos erosivos derivan generalmente en un incremento en la profundidad y ancho del cauce (Meyer et al., 2005; Walsh et al., 2005), que se producen en mayor o menor medida en función de si la energía se transmite mayoritariamente contra el fondo del lecho, o contra las márgenes.

Los procesos de incisión fluvial tienden a producirse, entre otras cuestiones, sobre litologías más susceptibles a la erosión y pendientes del cauce entre moderadas y altas (Meyer et al., 2005; Gurnell et al., 2007). En el caso de estudio, los tramos Sar\_SC\_Sector2 y Sar\_SC\_Sector3 se desarrollan en litologías relativamente resistentes a la erosión (materiales gnéisicos y graníticos), y con pendientes bajas (entre 0,006 y 0,008 m/m), lo que no los hace inicialmente propensos a la incisión fluvial. Según esto, la energía resultante del incremento de caudal tenderá a traducirse en fenómenos de erosión lateral, siempre y cuando no existan protecciones en las márgenes que lo impidan. En ambos tramos se han observado zonas con erosión en las márgenes que indican el proceso de incremento del ancho del cauce, que en el tramo Sar\_SC\_Sector3 ha llegado a afectar a los colectores de saneamiento (Figura 34).

Analizando los resultados obtenidos para el caudal *bankfull* y la potencia específica, se observa que se produce un considerable incremento de más del doble en ambos parámetros entre los dos sectores, separados por apenas 2,5 kilómetros, lo que en parte se justifica con el incremento de caudal por los aportes derivados de la superficie impermeabilizada. Con respecto a la relación entre el ancho y la profundidad (relación  $w/d$ ), se observa que la profundidad del cauce se incrementa entre los dos tramos en mayor medida que el ancho (Figura 30). La protección de las márgenes con escolleras en algunas zonas del tercer sector,

que limita la erosión lateral, puede estar dando lugar a que la energía se invierta en profundizar el cauce, por lo que además de los procesos de erosión de las márgenes observadas en algunos tramos, podrían estar produciéndose fenómenos de incisión. Además, la propia escollera estaría favoreciendo el incremento de la potencia específica, al limitar la funcionalidad de la llanura de inundación y reducir la rugosidad de los laterales del cauce (y por tanto la resistencia al flujo).

Otras alteraciones observadas en lo que respecta a la calidad geomorfológica se refieren a las intervenciones en el cauce en forma de obstáculos transversales y longitudinales.

De forma puntual (en la parte alta del río Sarela) se observan síntomas de dificultades en la movilidad de sedimentos por a la presencia de azudes. El obstáculo que suponen a la corriente genera una pérdida de potencia que da lugar a la presencia de una pátina de finos recubriendo otros materiales como cantos (Figura 34). Tanto por la propia deposición de estos sedimentos de pequeño tamaño como por el estancamiento del agua se está produciendo una modificación de los hábitats físicos susceptibles de albergar a las diferentes comunidades biológicas.

Los obstáculos transversales también son responsables de alteraciones en los procesos erosivos. Las dimensiones de los vanos de estas estructuras están suponiendo en algunos casos un estrechamiento con respecto a la anchura que causa una avenida. El obstáculo que suponen a la corriente da lugar a que se libere energía contra las márgenes (FISRWG, 1998; Chin, 2006), lo que está generando procesos de erosión en las inmediaciones (Figura 34).

Las protecciones de defensa de las márgenes con escolleras, muros y canalizaciones están presentes en todos los tramos de estudio. Si en ríos naturales la forma es el resultado de los procesos fluviales, aquí, como se ha visto en los resultados, la forma del río está determinada por estas estructuras de defensa, así como por las propias edificaciones. Esto ocurre especialmente en los tramos Sarela\_Sector2, Sarela\_Sector3 y Sar\_SC\_Sector3. La sección definida por estas infraestructuras condicionan tanto el caudal que puede circular por el cauce como su potencia energética, además de limitar o impedir la dinámica lateral.

Como consecuencia, los ríos tratan de ajustarse a estas modificaciones a través de cambios en su anchura y profundidad, en la medida en que las intervenciones efectuadas sobre ellos se lo permitan. Las evidencias de erosión en las márgenes observadas en campo para algunos de los tramos así lo demuestran (Sarela\_Sector3, Sar\_Sector3) (Figura 32 y Figura 34).

Sin embargo, la ausencia de información previa no permite determinar en qué dirección se están produciendo los procesos de ajuste del cauce en los tramos estudiados, y en qué medida avanzan los procesos de erosión y/o posible incisión. La determinación de la relación  $w/d$  en este trabajo ha supuesto un punto de partida, pero se requieren observaciones periódicas para analizar su evolución en el tiempo.

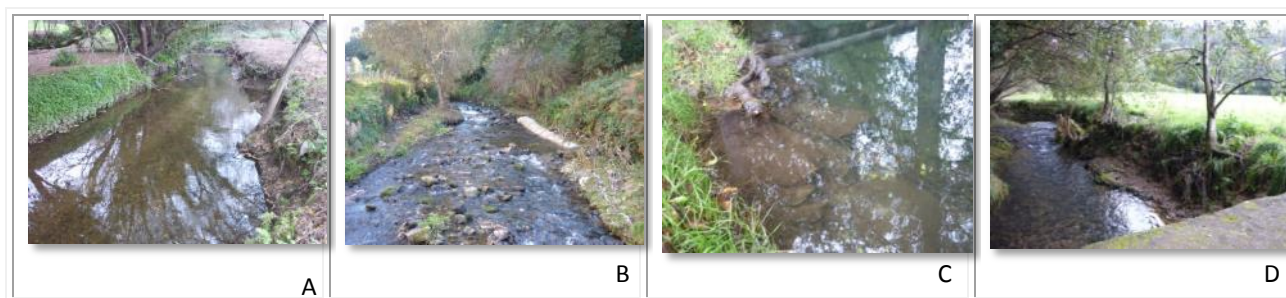


Figura 34.- Alteraciones geomorfológicas encontradas en los tramos de estudio en la ciudad de Santiago de Compostela. (A): erosión en la margen izquierda (derecha en la imagen) en el tramo Sar\_SC\_Sector2; (B): erosión en ambas márgenes en el tramo Sar\_SC\_Sector3; (C): decantación de finos por el embalsamiento ocasionado por un azud en el tramo Sarela\_Sector1; (D): erosión en la margen izquierda (derecha en la imagen) en la zona previa a una pasarela en el tramo Sar\_SC\_sector2.

Las alteraciones longitudinales también influyen sobre la movilidad de los sedimentos. Cuando existen tramos con tendencia a la sedimentación que presentan protecciones en las márgenes, se ha descrito un incremento en esta tendencia al disponer de menos espacio para sedimentar (Ollero & Romeo, 2007; Ollero 2015). En los tramos de estudio se han detectado dos zonas (inicio de los tramos Sarela\_Sector2 y Sar\_SC\_sector2) en las que tienden a producirse acumulaciones de sedimentos en el cauce, sobre las que se asienta vegetación (Figura 35). Al menos en la zona del tramo Sar\_SC\_Sector2 ya se ha tenido que realizar un dragado para la recuperación de la sección de desagüe y minimizar el riesgo de inundación de las zonas adyacentes. Estas dos zonas tienen en esos puntos bajas pendientes, con una potencia específica que se reduce y se generan procesos de sedimentación. La presencia de defensas longitudinales en forma de muros y edificaciones está limitando el espacio disponible para el depósito de los sólidos.



Figura 35.- Acumulaciones de sedimentos y crecimiento de vegetación dentro del cauce en algunos de los tramos de estudio de la ciudad de Santiago de Compostela. (A): tramo Sar\_SC\_Sector2. Fuente: PNOA 2014. (B): tramo Sarela\_SC\_Sector2. Fuente: Google maps.

Las afecciones analizadas señalan una alteración de los hábitats físicos presentes en los tramos fluviales, aspecto ya apuntado en los resultados. La afección que ello supone sobre las comunidades biológicas se explica en el apartado siguiente.

### Impacto sobre la calidad biológica

Los impactos sobre la calidad biológica únicamente se han podido comprobar en el caso de la vegetación acuática y ripícola.

Tal y como se describe en los resultados, la reducción del corredor ripícola está directamente relacionada con la presión ejercida por los usos establecidos en las márgenes, que en ocasiones lo hacen desaparecer completamente.

El hecho de que en las riberas supervivientes el estrato arbóreo y arbustivo de primera línea se entremezcle con especies de transición o climatófilas indica no sólo la presión espacial ejercida por los usos instalados en las márgenes, sino también que las crecidas se encuentran limitadas por la existencia de protecciones en las márgenes (Figura 36).

En cuanto a la estratificación vertical, se ha visto en los resultados la abundancia en general de representantes de géneros helófitos con apetencias por suelos ricos en nitrógeno. Aunque estos son habituales en las márgenes fluviales (Lara et al., 2007), conviene destacar su elevada presencia ya desde los tramos localizados en el curso alto de los ríos Sar y Sarela. Probablemente su aparición esté favorecida por la propia destrucción del sustrato arbóreo que favorece el crecimiento de vegetación nitrófila y ruderal (Rivas-Martínez, 1977), junto con una elevada carga de nutrientes de las aguas (Figura 36).

En algunas de las zonas en las que el uso urbano no ha alcanzado las márgenes, la presencia de prados que han sido abandonados da también lugar a una composición florística marcadamente nitrófila.

Ante estas condiciones la probabilidad de invasión por parte de especies exóticas se incrementa, lo que concuerda con los resultados obtenidos (Figura 36). Las EEI tienen una mayor probabilidad de ocurrencia ante situaciones de estabilidad y calidad del agua alterada (Bunn & Arthington, 2002; González & de La Lastra, 2007), por lo que se justifica su presencia en las áreas estudiadas, especialmente por tratarse de especies con preferencias por suelos con cierta nitrofilia.



Figura 36.- Alteraciones en la calidad biológica detectadas en los tramos de estudio en la ciudad de Santiago de Compostela. (A): ejemplares de *Quercus robur* en primera línea de ribera (Sarela\_Sector1); (B): matorral espinoso en zonas con ausencia de vegetación de ribera (Sarela\_Sector1); (C): ejemplares de *Cortaderia selloana* en el tramo Sar\_SC\_Sector2; (D): vegetación nitrófila y matorral espinoso en zonas con ausencia de vegetación de ribera (Sar\_SC\_Sector2).

Aunque no se hayan realizado estudios específicos para la valoración de otros elementos de calidad biológica, como consecuencia de las afecciones descritas en los anteriores ámbitos (alteración de la vegetación de ribera, hidrogeomorfología, calidad química y fisicoquímica de las aguas) cabe esperar que se esté produciendo una alteración de otras comunidades biológicas.

Así por ejemplo, en los tramos con presencia de azudes (todos excepto el tramo Sar\_SC\_Sector3) la afección general es la de la transformación de la facies característica de estos tramos (*riffle-pool*) en *table*, lo que se traduce en una menor diversidad de hábitats. Estas transformaciones de hábitats lóticos (aguas corrientes) en lénticos (aguas más estancadas) han sido descritas como un factor de alteración de las comunidades biológicas de peces e invertebrados bentónicos (Bunn & Arthington, 2002).

También se han observado acumulaciones de sedimentos y otros materiales en vanos y pilares de puentes y pasarelas, de forma particular tras eventos de crecidas como el ocurrido a principios del mes de octubre de 2015, que suponen una alteración de la continuidad longitudinal del cauce. En este caso, los problemas se derivan de las actuaciones de limpiezas de estos materiales, que se retiran de los cauces ante el peligro de que se puedan producir inundaciones de las zonas adyacentes. Estos materiales son fundamentales para el ecosistema fluvial, ya que proporcionan heterogeneidad geomorfológica que contribuye al incremento de hábitats y refugios para las especies acuáticas (Booth et al., 1996; Faustini & Jones, 2003; Wohl, 2013). Se han descrito efectos adversos generados por la eliminación de estos materiales en áreas urbanizadas (conjuntamente con el incremento de las descargas de caudal) en cauces de pendientes bajas en los que domina la facies *riffle-pool*, características de los tramos de estudio localizados en Santiago de Compostela. Los efectos consisten, entre otros, en el incremento de la erosión y de la inestabilidad lateral, y la mayor uniformidad de los perfiles longitudinal y transversal del cauce, que a su vez repercute en la menor diversidad de hábitats (Booth et al., 1996).

Tal es así que en muchos proyectos de rehabilitación de cauces urbanos se ha planteado la reintroducción de restos de madera muerta (conocidos como *Large Woody Debris, LWD*) para fomentar la creación de hábitats y conseguir así una recuperación biológica del sistema, aunque los resultados han sido ambiguos (Larson et al., 2001). Si bien el aporte de LWD contribuye a la consecución de objetivos específicos (incrementar la diversidad de hábitats, por ejemplo), la ausencia de éxito se relaciona con la carencia de actuaciones encaminadas a afrontar las causas principales de la alteración del sistema.

Pero al margen de todos estos aspectos, hay uno que se ha venido considerando como el principal promotor de impactos sobre los ecosistemas acuáticos: la presencia de superficies impermeabilizadas (Paul & Meyer, 2001; Walsh et al., 2005; Chin, 2006; Gurnell et al., 2007; Violin et al., 2011). Las reacciones que se desencadenan hidrológica y geomorfológicamente a consecuencia del incremento de la escorrentía generada por la superficie impermeabilizada son las mayores responsables del deterioro de las comunidades biológicas. Según el recopilatorio efectuado por Chin (2006) se han llegado a establecer umbrales de degradación del sistema fluvial con porcentajes de superficie impermeabilizada del 10-15% (para cuencas vertientes de pequeño tamaño, entre 2,4 y 7,9 km<sup>2</sup>), aunque con porcentajes menores también se ha constatado la alteración de la calidad biológica.



Atendiendo a los resultados (Tabla 5), las cuencas vertientes a los ríos Sar y Sarela en Santiago de Compostela superan ampliamente los porcentajes anteriores (41% y 29% respectivamente), si bien se trata de cuencas vertientes de mayor tamaño (en torno a los 25 y 17 km<sup>2</sup> respectivamente). Cabe recordar que el porcentaje de uso urbano estimado para este trabajo no está compuesto en su totalidad por superficie impermeable, aunque hay estudios realizados para alguna zona concreta de la ciudad, como es el caso de la urbanización de Fontiñas (cuyas aguas pluviales se recogen en una red separativa que descarga al río Sar poco antes del tramo Sar\_SC\_Sector2), en el que la superficie impermeabilizada alcanza valores del 70% (Anta et al., 2009).

A este respecto hay estudios que evidencian que la distancia al cauce del uso de suelo urbano tiene gran influencia sobre la condición ecológica del río, de forma que los impactos se reducen cuando se mantiene una superficie permeable en torno a los sistemas fluviales (Walsh et al., 2005). En los tramos Sarela\_Sector\_1, Sar\_SC\_Sector1, Sar\_SC\_Sector2 el suelo urbano se encuentra a cierta distancia del cauce (Figura 16), por lo que es esperable que estos tres tramos posean unas comunidades biológicas menos alteradas que el resto.

Ello concuerda a su vez con los resultados obtenidos para estimación de la abundancia y diversidad de hábitats físicos en función del tipo y nivel de intervención en la morfología fluvial (Tabla 9).

En la Figura 37 se representan de forma esquemática los impactos detectados en los tramos de la zona de estudio de Santiago de Compostela y los factores causales responsables.



Figura 37.- Impactos y factores causales en los tramos de estudio de la ciudad de Santiago de Compostela.

#### 5.1.1.2. Zona de estudio: Ames

El río Riamonte, afluente del río Sar, es un río aluvial de pequeña entidad, con bajos caudales estimados en régimen natural (0,87 m<sup>3</sup>/s). La zona de estudio, localizada en la parte previa a incorporación del río Riamonte al río Sar se caracteriza por una pendiente muy baja y un sector de río sinuoso, con una importante zona de inundación dentro de la que se ha asentado el núcleo de Bertamiráns, uno de los más poblados del ayuntamiento de Ames.

Bertamiráns ha experimentado un espectacular ascenso de su población en los últimos 15 años, llegando a triplicar su valor. El progresivo asentamiento de viviendas en la zona más cercana al río ha hecho necesario actuar tanto sobre él como sobre el río Sar para minimizar los riesgos de inundación del núcleo de Bertamiráns. Dicha actuación se llevó a cabo mediante la transformación del río en un doble canal trapezoidal en torno al que se ha diseñado un parque fluvial. Además se ha canalizado parte de su afluente, el rego Ameneiral, sobre el que se ha ampliado la superficie a urbanizar.

Todo ello ha dado lugar a una serie de impactos sobre el río. Como puede verse en los resultados (Tabla 10), estos impactos se corresponden fundamentalmente con alteraciones sobre la calidad geomorfológica y biológica.

#### Impactos sobre la calidad química y fisicoquímica

La cercanía del río Sar, de mucha mayor entidad, es probablemente la causa de que en el río Riamonte no descarguen apenas alivios de las redes de saneamiento ni de aguas pluviales (como se ha descrito en los resultados sólo existe un vertido inventariado). Ni tan siquiera en zonas aguas arriba del tramo de estudio, mayoritariamente rurales.

Aun así la pequeña entidad del río en este tramo lo hace muy susceptible a la presencia de cualquier tipo de vertido, por lo que no debe descartarse la posibilidad de que exista algún tipo de afección (se recuerda que el punto de control empleado para su valoración está situado aguas arriba del sector de estudio). Algunas de las alteraciones detectadas en la vegetación que se explican más adelante, de hecho, pueden deberse en parte a una alteración de la calidad fisicoquímica de las aguas.

Tampoco debe descartarse la posibilidad de presencia de contaminantes químicos derivados de las aguas de escorrentía urbana asociados a la presencia de superficie impermeabilizada, como se explicaba para el caso de Santiago de Compostela, aunque no hayan podido analizarse.

#### Impactos sobre el régimen hidrológico

Al margen de la posible influencia de la superficie impermeabilizada sobre los procesos de infiltración, escorrentía y evapotranspiración con los consecuentes impactos sobre las aguas superficiales y subterráneas (no analizables por la ausencia de información al respecto), no se han advertido afecciones sobre el régimen hidrológico.

#### Impactos sobre la calidad geomorfológica

Los impactos identificados sobre la calidad geomorfológica de este tramo guardan relación con las intervenciones realizadas sobre el propio cauce, en forma de alteraciones longitudinales y transversales, así como por la ocupación de la llanura de inundación.

La escasa potencia del tramo favorece la deposición de sedimentos, detectándose además un estrechamiento del cauce. Por una parte, la homogenización del flujo favorecida por la

sucesión de azudes existente en el tramo (dos en apenas 500 metros, pero se han observado más aguas arriba) favorece la deposición de sedimentos en sus márgenes al suponer un freno ante pequeñas crecidas. Por otra parte, como se ha comentado para el caso de Santiago de Compostela, cuando existen tramos con tendencia a la sedimentación que presentan protecciones en las márgenes, se ha descrito un incremento en esta tendencia al disponer de menos espacio para sedimentar (Ollero & Romeo, 2007; Ollero, 2015). En el caso del río Riamonte existe una reducción del espacio fluvial disponible, a lo que se une la alteración de la funcionalidad de la llanura de inundación, ocupada por suelo urbano. La construcción de defensas en ambos cauces (cauce menor y cauce mayor) al objeto de proteger los usos urbanos, ha dado lugar a una reducción del espacio en el que el río tiene que depositar los sedimentos tras cada crecida. Además, pocos metros aguas abajo el río Riamonte se encuentra con las aguas del río Sar, de bastante más envergadura y que por lo tanto en momentos de crecida puede interferir sobre la propia crecida del río Riamonte, dificultando la evacuación tanto del caudal líquido como del caudal sólido.

Las protecciones de las márgenes también contribuyen a la uniformización de las características fluviales del río Riamonte. El carácter sinuoso del río refleja una naturaleza activa, por la que de forma natural se darían procesos de migración del río como resultado de procesos activos de erosión (Conesa, 1992). La estabilización de las márgenes a través de gaviones ha limitado esta actividad, reduciendo el dinamismo fluvial y dando lugar a una uniformización en las formas del lecho, a lo que también contribuye la existencia de azudes (Figura 38). Antes estas condiciones se reducen las posibilidades de formación de hábitats heterogéneos.

#### Impactos sobre la calidad biológica

Como resultado de las afecciones descritas para los otros ámbitos fluviales, el río Riamonte en este tramo muestra un empobrecido ecosistema fluvial.

Como se describe en los resultados, los pocos representantes arbóreos de la vegetación de ribera proceden del proceso de plantación llevada a cabo con motivo de la construcción del parque fluvial. El corredor ribereño que se puede apreciar en ortofotografías antiguas se ha eliminado completamente (Figura 29).

Los azudes presentes en el tramo y aguas arriba, aunque tienen poca altura, producen una variación de la velocidad y dinámica del flujo de agua, como se ha visto en el apartado de calidad geomorfológica. Aunque la baja pendiente de esta zona ya da lugar por sí misma a un flujo del agua poco energético (ver Tabla 8), la presencia de estos obstáculos dentro del cauce incrementa esta tendencia (Figura 38). Estos obstáculos están uniformizando las características del cauce y por tanto los hábitats físicos.

Esta uniformización del flujo, junto con la reducción de la dinámica longitudinal, lateral y vertical del cauce ha dado lugar a una homogenización de las condiciones que no ha hecho propicio el desarrollo de un nuevo corredor ribereño después de la construcción del parque.

Estas condiciones de estabilidad artificial imponen unas condiciones de equilibrio que afectan al establecimiento y supervivencia de especies de ribera (Arizpe et al., 2008). El único proceso de desarrollo de vegetación está teniendo lugar en las márgenes del cauce, sobre los sedimentos depositados en los bordes. Estos sedimentos están siendo colonizados por algunos ejemplares de *Salix* sp. y *Robinia pseudoacacia* (Figura 38), así como por representantes de géneros helófitos, favorecidos por la propia ausencia de la vegetación de ribera que permite la entrada de más luz al cauce (Arizpe et al., 2008). El hecho de que en el sector herbáceo estén presentes especies nitrófilas también podría indicar una alteración de la calidad fisicoquímica de las aguas.

Ante estas condiciones se incrementa el riesgo de invasión por parte de especies exóticas, con mayor probabilidad de ocurrencia ante condiciones más estables, en las que desplazan a las comunidades autóctonas adaptadas a flujos más variables y a hábitats más heterogéneos (Bunn & Arthington, 2002).



Figura 38.- Alteraciones detectadas en los tramos de estudio del ayuntamiento de Ames.

(A): tramo de agua prácticamente estancada entre dos azudes, en el que también se observan los sedimentos que se depositan en el cauce dando lugar a su estrechamiento; (B): protección de los márgenes del cauce menor y del cauce mayor con gaviones; (C): ausencia casi total de vegetación de ribera y crecimiento de ejemplares de *Robinia pseudoacacia* en los sedimentos acumulados dentro del cauce.

Del mismo modo que ocurre en la zona de Santiago de Compostela, aunque no se hayan realizado estudios específicos para la valoración de otros elementos de calidad biológica, las afecciones descritas hacen probable la alteración de otras comunidades biológicas.

Diversos estudios ponen de manifiesto la influencia sobre la estructura de las comunidades bentónicas de invertebrados de alteraciones en la vegetación de ribera (Rios & Bailey, 2005; Mesa et al., 2013) y de modificaciones de la velocidad de la corriente (Nelson & Lieberman, 2002). Con base en estos estudios es de esperar que las comunidades bentónicas en este tramo se encuentren afectadas, lo que concuerda con los resultados obtenidos para estimación de la abundancia y diversidad de hábitats físicos en función del tipo y nivel de intervención en la morfología fluvial (Tabla 9).

En lo que respecta al porcentaje de superficie impermeabilizada, también en este caso se superan los umbrales a partir de los cuales se han constatado alteraciones de la calidad biológica. Según los resultados (Tabla 5), la superficie impermeabilizada en la cuenca vertiente al río Riamonte es del 22%. Pero como se ha comentado al hablar de la calidad fisicoquímica, atendiendo a los resultados obtenidos para los vertidos puntuales (Tabla 3), no parece que las descargas de las aguas pluviales y de la red de saneamiento están teniendo lugar hacia el río

Riamonte, lo que probablemente estaría trasladando los efectos por esta circunstancia al río Sar.

En la Figura 39 se recogen de modo resumido tanto los impactos como los factores causales responsables detectados en los tramos de la zona de estudio de Ames.



Figura 39.- Impactos y factores causales en los tramos de estudio del ayuntamiento de Ames.

### 5.1.1.3. Zona de estudio: Padrón

El Sar a su paso por Padrón constituye el tramo bajo del río. Se localiza en la zona previa a su desembocadura en el río Ulla, en una zona de muy bajas pendientes que daba lugar, en su día, a un río meandriforme en medio de una gran llanura de inundación.

El hecho de tratarse de la zona de desembocadura hace que este tramo fluvial se encuentre afectado no sólo por lo que ocurre aguas arriba, sino también por lo que ocurre aguas abajo, ya que se encuentra influenciado por la carrera de marea. A ello se une todo lo que se ha actuado sobre él en la propia zona urbana del municipio, al objeto de minimizar las frecuentes inundaciones del núcleo de población.

A consecuencia de todo esto, tal y como se puede observar en los resultados (Tabla 10), la zona de la cuenca baja del río Sar es la zona de estudio más alterada en todos los ámbitos (calidad fisicoquímica, biológica, e hidromorfológica).

#### Impactos sobre la calidad química y fisicoquímica

La calidad fisicoquímica del río Sar se encuentra muy afectada (Tabla 6, ver tramo Sar\_PD\_Sector1), con presencia de contaminación de carácter orgánico y elevadas concentraciones de nutrientes. Aunque en las presiones inventariadas se encuentran varios de alivios de la red saneamiento, la localización del punto de control empleado para la valoración del estado (prácticamente al inicio del tramo Sar\_PD\_Sector1) indica que las afecciones ya se están produciendo aguas arriba.

Según se ha expuesto en los resultados, a lo largo del río Sar se dan dos situaciones que están produciendo una afección muy importante sobre el medio receptor: los alivios de aguas residuales no tratadas de las EDARes de Silvouta y de Bertamiráns (Tabla 4). Al margen de otros vertidos que puedan estar produciéndose aguas arriba de la zona de Padrón, los caudales aliviados sin ningún tipo de tratamiento por estas dos plantas son probablemente responsables de un deterioro de la calidad del agua que no consigue recuperarse antes de alcanzar el tramo más bajo del río. A estos problemas de calidad con los que ya cuenta el río se le unen los problemas de los vertidos de alivios de la red de saneamiento que se producen en el propio tramo.

Al igual que ocurre en el caso de Santiago de Compostela, la presencia de contaminación derivada de aguas residuales (producida tanto por los vertidos aguas arriba como por los alivios inventariados dentro del propio núcleo de población) hace muy posible que la calidad del río Sar esté impactada por la presencia de contaminantes emergentes y de otros contaminantes presentes en las aguas de escorrentía urbana.

Los mismos problemas son susceptibles de estar ocurriendo en el tramo del canal de derivación (Sar\_PD\_Sector2) en el que no se dispone de resultados, pero que recibe igualmente los problemas de calidad originados aguas arriba y en el que también se han inventariado vertidos con aportes de aguas residuales y alivios de la red de saneamiento.

#### Impactos sobre el régimen hidrológico

Al margen de los impactos que se puedan estar ocasionando por la transformación del suelo en superficie impermeable vistos en los dos casos anteriores (Santiago de Compostela y Ames), y de los que tampoco se puede comprobar la afección por falta de registros, la mayor alteración del régimen hidrológico del río Sar en este punto lo constituye la derivación de caudal que se produce antes del núcleo urbano de Padrón.

Aunque no se dispone de datos reales de caudal derivado, las grandes dimensiones de este canal (tramo de estudio Sar\_PD\_Sector2, dimensionado para derivar aproximadamente el 60% del caudal ante un período de retorno de 1.000 años) han provocado que el río Sar a su paso por Padrón se quede con caudales muy inferiores a los que naturalmente transportaba. Las consecuencias que esto supone en otros ámbitos fluviales se explican más adelante.

A pesar de esta circunstancia, el núcleo de Padrón, situado entre el río Sar y el canal de derivación, se encuentra totalmente incluido dentro de una zona de flujo preferente (Figura 23). Esto implica que los caudales asociados a un período de retorno de los 100 años siguen produciendo la inundación del núcleo, aunque con menor frecuencia que antes de la construcción del canal.

### Impactos sobre la calidad geomorfológica

Los impactos identificados sobre la calidad geomorfológica de los tramos de estudio de Padrón se relacionan muy directamente con las diversas intervenciones que se han llevado a cabo sobre el propio cauce.

Como se ha visto en los resultados, la variable geomorfológica que refleja una mayor afección en esta zona es la morfología o trazado en planta. Como muestran las ortofotografías antiguas (Figura 29), el río Sar ha sido sometido a una considerable rectificación desde antes de alcanzar el núcleo urbano de Padrón que se extiende hasta su desembocadura en el río Ulla. Esta rectificación se ha acompañado de estructuras de defensa en las márgenes de diverso tipo.

Cuando los ríos se someten a este tipo de alteraciones se producen modificaciones en la distancia, pendiente y sección con consecuencias sobre diferentes procesos (Ollero & Romeo, 2007). Las modificaciones en la pendiente longitudinal que se producen al rectificar un cauce dan lugar a un incremento de la energía hidráulica y de los procesos erosivos. Como ya se ha explicado, si esta energía no se puede liberar contra las márgenes por la existencia de protecciones de defensa, será liberada contra la base del lecho fluvial, dando lugar a procesos de incisión fluvial (González & de La Lastra, 2007; Ollero & Romeo, 2007).

Estas consecuencias de la canalización fluvial sobre los procesos erosivo-sedimentarios han sido puestas de manifiesto por Landemaine et al. (2015). A través del estudio del comportamiento del río Ligoire antes y después de su canalización, se ha observado que la canalización ha dado lugar a un incremento de los procesos erosivos (especialmente en los tramos de mayor energía), acompañado de procesos de sedimentación cuando la energía del cauce se reduce. El estudio muestra que estos efectos se siguen detectando más de 40 años después de la construcción de la canalización.

En el caso del río Sar, como se advertía en los resultados, justo antes del canal de derivación (inicio del tramo Sar\_PD\_Sector1), se encuentra una zona con problemas de erosión de taludes (Figura 40), hecho explicable por el incremento de la energía del río (y por tanto de los procesos de erosión) consecuencia de la rectificación sufrida en tramos anteriores. Estos procesos erosivos también se observan en el lecho de la parte inicial del canal artificial (en el tramo Sar\_PD\_Sector2, según figura en el proyecto OH.415.1033), donde la potencia energética está incrementada por la existencia de hormigón en las márgenes. A partir del momento en el que se produce la disminución de la pendiente y por tanto de la potencia energética, tienden a producirse acumulaciones de los sedimentos erosionados previamente (tanto en el canal de derivación como en el río Sar), en las que llega a desarrollarse vegetación. Por este motivo el canal de derivación ha sido objeto de labores de dragado recientemente (proyecto OH.415.1033), con el fin de eliminar las barras sedimentarias y evitar la pérdida de capacidad hidráulica (Figura 40). También se desarrollaron trabajos de restitución de grava en las zonas del lecho afectadas por erosión.

Además, la pérdida de dinámica lateral provocada por la existencia de protecciones en las márgenes y la sobreelevación de la llanura de inundación favorece que los sedimentos queden retenidos dentro del cauce.

En el tramo Sar\_PD\_Sector1 estos acúmulos de sedimentos con colonización vegetal herbácea y arbustiva reflejan también que el agua no está circulando con la naturalidad necesaria (Figura 40). En zonas puntuales, a ello se le une la presencia de estructuras transversales, como algún puente, que favorece las acumulaciones. Los efectos que ello supone sobre los hábitats físicos se explican más adelante.

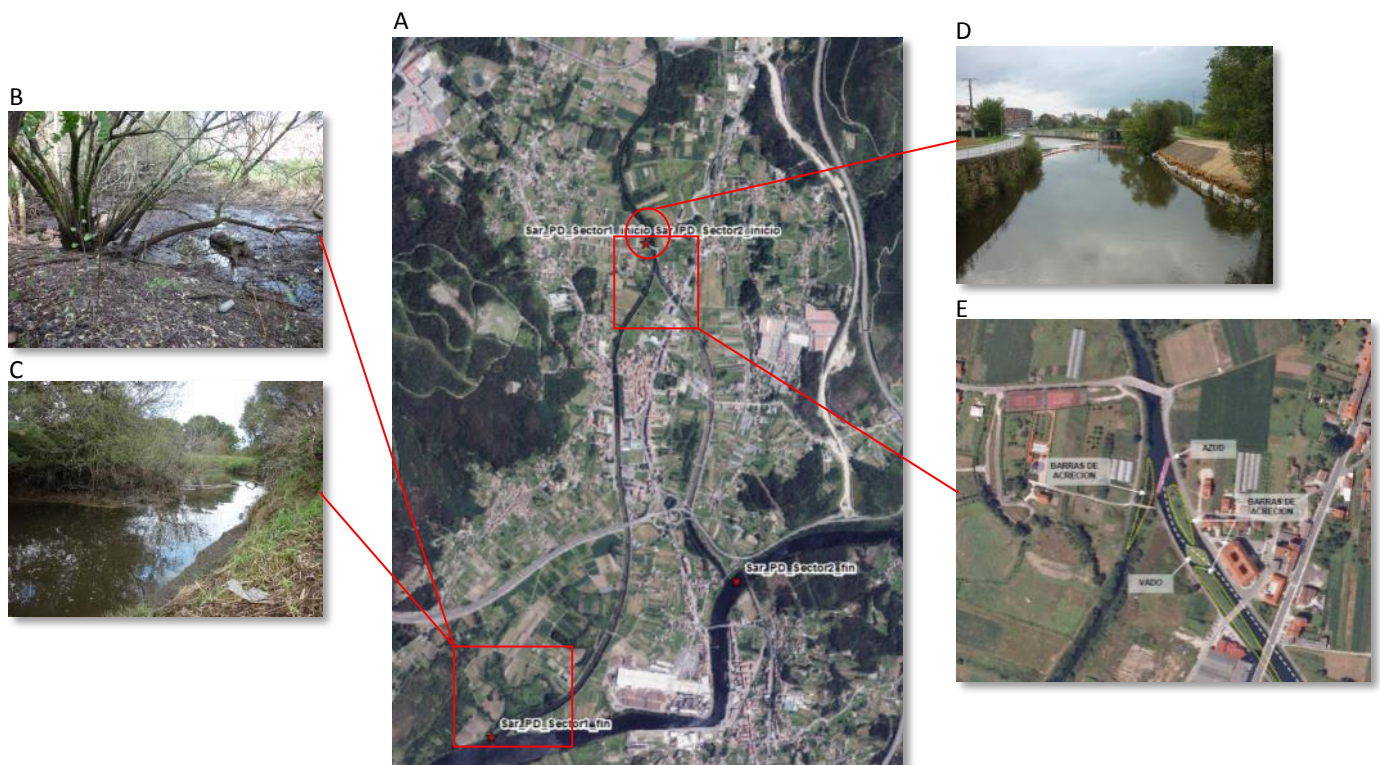


Figura 40.- Actuaciones sobre el río Sar a su paso por Padrón (tramo Sar\_PD\_Sector1) y el canal de derivación (tramo Sar\_PD\_Sector2).

(A): visión general de los tramos Sar\_PD\_Sector 1 (izquierda en la imagen) y Sar\_PD\_Sector2 (derecha en la imagen); (B, C): meandros abandonados en la zona de desembocadura del tramo Sar\_PD\_Sector1; (D): obra de estabilización del talud erosionado en la margen derecha del río Sar. (E): estado del canal de derivación antes de las obras de dragado (fuente: Aguas de Galicia, proyecto OH.415.1033).

A lo largo del núcleo urbano de Padrón y hasta la zona de desembocadura, en el tramo Sar\_PD\_Sector1, no se han observado procesos de erosión importantes en las márgenes (protegidas por muros y escolleras). Sí se ha observado en la zona de desembocadura del tramo Sar\_PD\_Sector1 que el cauce discurre a una cota bastante más baja que la de los meandros que han quedado abandonados como consecuencia de la rectificación y modificación del trazado. Por lo tanto, parece que la imposibilidad del río de liberar energía contra los laterales protegidos por diversas estructuras ha ido dando lugar a un fenómeno paulatino de incisión



fluvial. Sería necesario disponer de información sobre la evolución temporal de las secciones transversales para documentar mejor estos procesos.

Otra de las consecuencias observadas en el cauce del río Sar (Sar\_PD\_Sector1) es la dificultad de la movilidad de sedimentos. Además de las acumulaciones comentadas antes, se ha observado una importante deposición de finos sobre cantos y sobre vegetación acuática (Figura 27). Si bien en esta zona de bajas pendientes el río tiene baja energía de forma natural, probablemente la derivación del caudal y la completa eliminación de la actividad propia de un cauce meandriforme que ha sido estabilizado hayan influido negativamente sobre este aspecto. Además existe influencia mareal, lo que también interviene sobre la tendencia a la sedimentación del material fino (Allen et al., 1980; Uncles & Stephens, 1993).

Todas estas afecciones producen alteraciones de los hábitats físicos presentes en los tramos fluviales, como se ha descrito en los resultados (Tabla 9). La afección que ello supone sobre las comunidades biológicas se explica en el apartado siguiente.

#### Impacto sobre la calidad biológica

Los impactos sobre la calidad biológica se han podido comprobar para el tramo Sar\_PD\_Sector1 en el caso de la vegetación acuática, ripícola y sobre la comunidad de invertebrados bentónicos. Para el tramo Sar\_PD\_Sector2 únicamente se ha recogido información sobre la vegetación acuática (inexistente) y ripícola.

Como ya se ha descrito para las anteriores zonas de estudio, el principal motivo de la reducción del corredor biológico lo constituye la presión ejercida por los usos establecidos en las márgenes, que en ocasiones lo hacen desaparecer completamente.

En el caso del tramo Sar\_PD\_Sector1, en las riberas supervivientes se asocian a zonas en las que el uso urbano está más alejado del cauce y los usos próximos a las márgenes son agrícolas, así como las zonas en las que se ha desarrollado alguna vegetación entre las piedras de escollera. En el primer caso, se detecta la presencia de especies de transición o climatófilas (Figura 41), lo que indica no sólo la presión espacial ejercida por los usos instalados en las márgenes, sino también que los fenómenos de inundación lateral se encuentran limitados y que el caudal no circula con naturalidad. Los problemas de calidad fisicoquímica también se reflejan en la estratificación vertical, con abundancia en general de representantes de géneros helófitos y ruderales con apetencias por suelos ricos en nitrógeno (Figura 41). Además, la aparición de estas especies se halla favorecida por la propia destrucción de la vegetación natural (Rivas-Martínez, 1977). Una vez que este tipo de vegetación se asienta, su extensión se favorece por su facilidad de dispersión y germinación, por lo que la degradación de la zona de ribera continúa (Rivas-Martínez, 1977).

Respecto a la vegetación que ha crecido en las escolleras, con ellas se consigue cierto grado de naturalidad, aunque su funcionalidad se ha alterado completamente al romperse la conectividad lateral.

Por todo esto, en ninguno de los casos la vegetación puede cumplir con sus funciones de regulación microclimática, de filtro ante la entrada de sustancias contaminantes y sedimentos, y de proporción de hábitats para otras comunidades biológicas.

Así, se favorece la aparición de EEI, tanto en el sector herbáceo como en el arbóreo, muy presentes a lo largo de todo el tramo Sar\_PD\_Sector1 (Figura 41). Por otra parte, se encuentra favorecido el crecimiento de macrófitos dentro del cauce. La ausencia de vegetación de ribera en las márgenes del cauce permite la entrada de más luz, y en consecuencia aumenta la temperatura. Ambos aspectos, incremento de la insolación y temperatura, suponen un factor de estimulación del crecimiento de vegetación acuática dentro del cauce (Arizpe et al., 2008), que se une a la disminución del caudal circulante, las acumulaciones de sedimentos y la alteración de la calidad fisicoquímica.

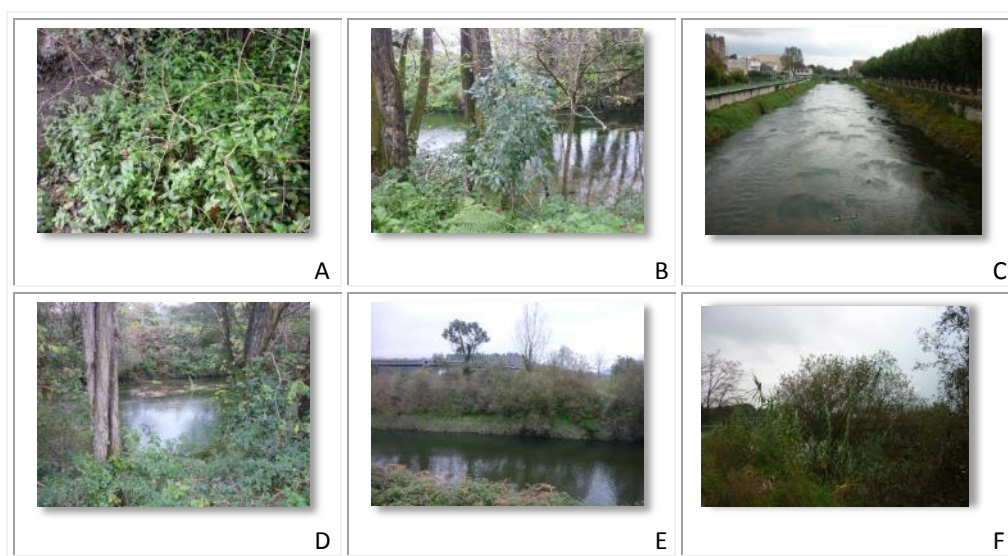


Figura 41.- Alteraciones en la calidad biológica detectadas en los tramos de estudio del ayuntamiento de Padrón.

(A): *Tradescantia fluminensis* en la ribera del tramo Sar\_PD\_Sector1; (B): ejemplares de *Laurus nobilis* en primera línea de ribera en el tramo Sar\_PD\_Sector1; (C): ausencia de vegetación de ribera en el río a su paso por el núcleo urbano de Padrón (Sar\_PD\_Sector1); (D): crecimiento de matorral espinoso y vegetación ruderal en las riberas del tramo Sar\_PD\_Sector1; (E): crecimiento de matorral espinoso y algunos ejemplares de *Salix* sp., en las riberas del tramo con escollera en Sar\_PD\_Sector2; (F): ejemplares de *Arundo donax* en el tramo Sar\_PD\_Sector2.

Tal y como se ha descrito en los resultados, se ha observado la presencia de especies como *Ceratophyllum demersum*. Aunque esta especie ha sido descrita como frecuente en los ríos de Galicia dentro de la asociación *Potamo-Ceratophylletum demersi* (Izco, Vázquez, & León, 2001), su elevada presencia se correlaciona con estas condiciones fluviales de aguas poco corrientes y eutróficas.

En el caso del tramo Sar\_PD\_Sector2 (canal de derivación), sólo existe vegetación entre las piedras de la escollera del tramo final, entre las que se encuentran también abundantes EEI (Figura 41). La parte hormigonada del canal no permite el asentamiento de ningún tipo de vegetación, por lo que los problemas comentados para el tramo Sar\_PD\_Sector1 se reproducen: ausencia completa de hábitats para otras especies, y propensión al crecimiento de macrófitos dentro del cauce.

Visto esto, la afección a otras comunidades biológicas es más que esperable. En el tramo Sar\_PD\_Sector1 los indicadores de calidad biológica muestran una alteración de las comunidades de invertebrados bentónicos, que se explica por las diversas alteraciones en el resto de compartimentos fluviales. Diversos estudios han relacionado las alteraciones en estas comunidades debidas al incremento de la contaminación orgánica (Paul & Meyer, 2001; Alonso & Camargo, 2005), y por la degradación de la vegetación de ribera (Paul & Meyer, 2001; Rios & Bailey, 2005; Mesa et al., 2013).

La homogenización de las condiciones por la reducción de la dinámica fluvial y la posibilidad de procesos de incisión también es susceptible de estar alterando la comunidad de invertebrados bentónicos al afectar a las condiciones morfológicas longitudinales (sucesión de pozas y remansos).

En el tramo Sar\_PD\_Sector2, aunque no se dispone de muestreos específicos, la artificialidad del cauce (canalización de las márgenes y lecho construido por grava) hace prácticamente imposible la existencia de hábitats en los que se puedan desarrollar comunidades bentónicas. La afección a estas comunidades por procesos de canalización fluvial ha sido descrita en diversos estudios (Moyle, 1976; Quinn et al., 1992; Negishi et al., 2002). Ello concuerda con los resultados obtenidos para estimación de la abundancia y diversidad de hábitats físicos en función del tipo y nivel de intervención en la morfología fluvial (Tabla 9).

A todo esto se une el hecho de que el porcentaje de superficie impermeabilizada de la cuenca vertiente a esta zona (considerando los dos tramos de estudio) es superior a los umbrales a partir de los cuales se han constatado alteraciones de la calidad biológica, al igual que en las zonas de estudio anteriores.

Por tanto, aun con ausencia de muestreos específicos, es posible constatar la grave afección a calidad biológica en ambos tramos fluviales. Como se ha comentado al describir el área de estudio este tramo del río está incluido en la Zona de Especial Conservación “Sistema fluvial Ulla-Deza”, con presencia, entre otros, del hábitat prioritario 91E0 (bosques aluviales de *Alnus glutinosa* y *Fraxinus excelsior*). Por ello, la degradación ecológica tiene si cabe mayor relevancia.

En la Figura 42 se representan de forma esquemática los impactos detectados en los tramos de la zona de estudio de Padrón y los factores causales responsables.



Figura 42.- Impactos y factores causales en los tramos de estudio del ayuntamiento de Padrón.

### 5.1.2. Influencia de las prácticas de gestión en los factores causales

Una vez establecidas las relaciones causa-efecto, es interesante analizar hasta qué punto estos factores causales son resultado o están influidos por determinadas prácticas de gestión actuales o pasadas. La capacidad para determinar estas influencias permite ahondar en el origen de las causas de las alteraciones, importante para abordar futuras directrices encaminadas a la mejora del río Sar.

Desde el modo de gestionar las aguas pluviales hasta la propia visión del río que tienen los ciudadanos asentados en sus márgenes, son diversas las cuestiones que condicionan o han condicionado la forma de actuar sobre el río. A continuación se realiza un breve análisis de aquellas prácticas de gestión que de alguna manera influyen o han influido en el estado actual en el que se encuentra el río Sar.

#### Gestión del saneamiento, depuración y aguas de escorrentía

Uno de los factores de alteración detectados en las zonas de estudio consiste en la presencia de alivios de las redes unitarias de saneamiento y de las plantas de tratamiento (EDARs de Silvouta y Bertamirás), y de descargas de las redes de aguas pluviales. Estos factores guardan correlación con la forma de gestionar las aguas residuales y las aguas de escorrentía de las zonas impermeables generadas en eventos de precipitaciones.

En este caso se observa que las EDARs están recibiendo más caudal del que pueden tratar. En el caso de la EDAR de Bertamirás, porque existe más población conectada que la prevista en su diseño. En el caso de la EDAR de Santiago de Compostela, porque existen deficiencias en la red de colectores que dan lugar a la infiltración de agua del río en tiempo seco, que además de colapsar la planta de tratamiento, reduce su rendimiento por la dilución del caudal de entrada. Además se producen desbordamientos en la red unitaria al no existir sistemas de retención y no contar los colectores con un adecuado dimensionamiento.

Otro aspecto a tener en consideración con respecto a la gestión de las redes de saneamiento es su localización en las márgenes del cauce, con lo que resultan afectados por problemas de erosión que a su vez llevan a necesidad de estabilizar las márgenes.

Todo esto pone de relieve varios aspectos. Por un lado, existe un desajuste entre los criterios empleados en la fase de diseño de las infraestructuras y en su mantenimiento, y la evolución experimentada por la población conectada al saneamiento. No ha existido una adecuada coordinación con la planificación urbanística en el sentido de considerar la repercusión que el rápido crecimiento de determinados núcleos de población tendría sobre los sistemas de saneamiento y depuración.

Por otro lado, la gestión de las aguas pluviales sólo se ha afrontado desde la perspectiva de decidir entre una red unitaria de saneamiento, o una red separativa de aguas pluviales. Aunque ambas tienen sus ventajas y sus inconvenientes, en lo que respecta al medio receptor, ninguna de las opciones por sí sola resuelve el problema del aporte de caudales y de contaminación. La generación de las aguas de escorrentía debe ser abordada en origen, desde los propios planeamientos urbanísticos.

#### Alteraciones morfológicas sobre los cauces

Las prácticas de gestión que influyen en la condición del río en el caso de estructuras transversales a los cauces como puentes y pasarelas se relacionan con criterios de diseño y de planificación. Como se ha visto, las dimensiones de los vanos de estas estructuras suponen en algunos casos un estrechamiento con respecto a la anchura que causa una avenida, lo que está dando lugar a erosión en las inmediaciones. También se producen acumulaciones y retenciones de sedimentos y otros materiales en las pilas, lo que a su vez origina una práctica habitual tras las avenidas, las limpiezas realizadas al objeto de retirar estos materiales del cauce. Estas actuaciones de limpieza se encuentran probablemente influidas por la percepción negativa y de peligrosidad asociada a la presencia de maderas y otros materiales en los cauces (Ruíz-Villanueva et al., 2015). Las limpiezas de los cauces tras episodios de precipitaciones se han llevado a cabo en los ríos Sar y Sarela en numerosas ocasiones, y al margen de que puedan ser necesarias para evitar afecciones a las construcciones de las márgenes, también suponen una eliminación de hábitats físicos para determinadas especies acuáticas. Por otra parte, en algunos tramos se suceden puentes y pasarelas en tramos muy cortos, lo que contribuye a un efecto sinérgico entre ellos.

Las protecciones de las márgenes y canalizaciones existentes en las zonas de estudio se asocian a la defensa de los usos del suelo ante inundaciones, y a la estabilización de taludes para evitar los procesos de erosión.

En esta cuestión pueden hacerse distintas matizaciones. Por una parte, se puede hablar de una evolución en cuanto a los criterios empleados para la selección de los materiales y técnicas para la propia construcción de las protecciones de las márgenes, si bien es cierto que estas

decisiones también se ven condicionadas por los usos que se pretendan proteger (no es lo mismo la protección de viviendas que la protección de cultivos). Se advierte en general una transición desde los materiales más “duros” empleados en las defensas más antiguas (muros y escolleras de mampostería en Santiago de Compostela y Padrón, hormigón en el canal de derivación del río Sar), a las técnicas más “blandas” utilizadas para la estabilización de taludes en las últimas actuaciones realizadas en Santiago de Compostela (empalizada de madera en la zona de la Colegiata de Sar) y Padrón (técnicas de bioingeniería para la estabilización de los taludes en la zona inicial de los tramos de estudio). Aunque hay alguna excepción a esta tendencia, ya que tras la reciente construcción de la nueva red de colectores en Santiago de Compostela se han levantado nuevos tramos de escollera en las márgenes del río Sar para protegerlos de la erosión.

En todo caso las decisiones se han basado hasta el momento en criterios de mantenimiento de la estabilidad del cauce, sin entrar en juego consideraciones relativas a la dinámica fluvial natural (al menos cuando los usos así lo permiten).

De un modo similar, las rectificaciones que en algunas ocasiones han acompañado a estas actuaciones sobre las márgenes responden a la idea predominante de mejorar la capacidad de desagüe del cauce, eliminando todo aquello, incluso meandros, que pueda suponer un “obstáculo” a la corriente. Aunque estas actuaciones son más propias de actuaciones pasadas, han tenido su influencia sobre los impactos que hoy en día soporta el río Sar.

#### Relación de la población con el río

Por último, ciertos factores de alteración que se encuentran actualmente en el río Sar son reflejo de las actividades que en el pasado aprovechaban los recursos que ofrecía el río. Es el caso de azudes y canales de derivación, especialmente en la zona de Santiago de Compostela (donde también se encuentran restos de una pequeña represa y modificaciones de la llanura de inundación por adecuación de terrazas para el cultivo) y de Ames, hoy integrados dentro del paisaje urbano. El río Sar y sus afluentes Sarela (en Santiago de Compostela) y Riamonte (en Ames) han cumplido un papel fundamental en el desarrollo de las zonas por las que discurren. En su momento eran aprovechados para derivar el agua a molinos o hacia otras actividades como fábricas de curtidos, así como para el riego de prados. Por este motivo existen consideraciones de tipo sociocultural y etnográfico que deben ser tenidas en cuenta, al ser reflejo del comportamiento de las formas de vida campesinas tradicionales. En la zona de las Brañas do Sar (Sar\_SC\_Sector2), por ejemplo, hay intervenciones arqueológicas que constatan la presencia de estructuras agrarias al menos desde el siglo V d.C. (Ballesteros et al., 2006).

Esta vinculación histórica y social ha ido perdiéndose a medida que se incrementaba la visión desarrollista de ocupación del territorio. La actividad económica de la población se modifica, y los usos y actividades tradicionales ligados al agua van desapareciendo. A partir de este momento el río pasa a considerarse como un canal de evacuación de agua y de los residuos

generados por la población, sobre el que se actúa únicamente para proteger los usos asentados en las márgenes.

En los últimos tiempos se ha advertido un cambio de mentalidad en la población ribereña, asociado fundamentalmente a la mala calidad del agua resultado de los problemas de saneamiento. Es así como surge la “Plataforma por la recuperación del Sar”<sup>34</sup>, constituida, entre otros, por vecinos de los municipios atravesados por río. Incluye entre sus reivindicaciones la mejora de la depuración, la consideración del sistema fluvial dentro de los respectivos Planes de Gestión de Ordenación Municipal, y la coordinación entre las diferentes administraciones que de algún modo tienen competencias que influyen en la recuperación del río.

Por tanto, los diferentes comportamientos de las comunidades asentadas en las márgenes del río Sar, sus mentalidades y sus percepciones también han influido sobre los impactos que sufre actualmente.

### 5.1.3. Síntesis

Una vez analizadas las relaciones entre los impactos detectados en los tramos fluviales del río Sar y sus afluentes a su paso por las zonas más urbanizadas de la demarcación y los factores causales, puede concluirse que la transformación del uso del suelo ha producido daños en el sistema fluvial, que además difieren en función de la zona estudiada.

Las principales afecciones se relacionan con los usos urbanos, aunque como se ha visto a lo largo de este trabajo, entre los factores causales se encuentran algunos derivados de otros usos como el agropecuario. Este uso podría haber sido excluido del ámbito de este trabajo, centrado en los efectos de la urbanización sobre los sistemas fluviales. Sin embargo, es habitual en muchos municipios gallegos que o bien dentro, o bien adyacentes a las zonas más pobladas, se encuentren áreas en las que aún se combina el uso residencial con el agropecuario, reflejo de un pasado rural todavía reciente. Es el caso de las zonas de Santiago de Compostela y de Padrón. También ocurre que dentro de los tramos más urbanos permanecen vestigios de un uso agrícola que ya no existe, pero que estaba presente en las márgenes fluviales en el pasado. Esto ocurre en las tres zonas de estudio, en las que algunos antiguos azudes, muros y tramos de escollera tienen su origen, muy probablemente, en los usos agrarios del pasado.

En cuanto a los factores de alteración generados como consecuencia de la urbanización, se puede concluir que el río Sar se encuentra afectado por los siguientes:

- Factores derivados del uso urbano del suelo: a través de la propia ocupación física del espacio fluvial por diversas infraestructuras y vías de comunicación, y a través de la impermeabilización de la superficie.
- Factores derivados de intervenciones sobre el sistema fluvial: a través de la presencia de determinados elementos como puentes, pasarelas, y protecciones y defensas de las

<sup>34</sup> <http://defensadosar.blogspot.com.es/> (fecha de consulta 28/01/2016)

márgenes, y a través de prácticas como el desvío de cauces, las rectificaciones, y los vertidos al sistema fluvial.

- Una consideración aparte la constituyen los factores de alteración que siendo consecuencia de la urbanización de ciertas partes del territorio, generan sus impactos en zonas del río Sar alejadas de los núcleos de población. Es el caso de los vertidos de las EDARs de Silvouta y Bertamiráns, cuyos efectos se producen en tramos del río más alejados, y pueden considerarse por tanto como impactos “diferidos”.

Por otra parte, la urbanización no ha influido de la misma forma sobre el río Sar y sus afluentes en las tres zonas de estudio consideradas, fundamentalmente por dos motivos: las características de los tramos fluviales en cada una de ellas, y los modelos de ciudad o población que representan.

Así, la mayor ciudad de la cuenca se sitúa en la zona en la que los ríos son de menor entidad. Pese a ello, el crecimiento de la ciudad, iniciada en el territorio incluido entre los ríos Sar y Sarela, ha “respetado” algunas zonas cercanas a los ríos en las que hasta tiempos relativamente recientes (e incluso actualmente) se han mantenido los usos agropecuarios que el pasado abastecían a la ciudad. Ello, unido al hecho de que el espacio fluvial requerido por los ríos en esta zona de cabecera no es elevado, ha permitido mantener algunos tramos fluviales libres de la influencia directa por ocupación del suelo urbano.

Por el contrario, las necesidades de evacuación de las aguas residuales que se derivan de la concentración de población sí que ejercen un fuerte impacto sobre los ríos, que supera su limitada capacidad de asimilación. Por este motivo la ciudad de Santiago de Compostela está generando uno de los mayores impactos diferidos de la cuenca.

El municipio de Ames, y concretamente el núcleo de Bertamiráns, es un ejemplo de rápido crecimiento de zonas situadas en los alrededores de ciudades más grandes, motivado por el desplazamiento de población en busca de viviendas que la ciudad ya no puede ofrecer. Este gran desarrollo urbanístico necesita un espacio que se llega a conseguir a costa de ocupar el territorio fluvial. La época durante la que se produce este desarrollo (en torno al año 2000), coincide con un momento en el que se comienzan a demandar actuaciones de “puesta en valor” de los ríos. Ello da lugar a que, como se ha visto, se acompañe de criterios meramente estéticos una actuación basada en los criterios habituales de intervención fluvial, fundamentados en crear un canal estable con suficiente capacidad de desagüe. Por ello, los impactos generados sobre el río se producen fundamentalmente sobre el ámbito geomorfológico, aunque también es responsable de un impacto diferido generado por el rápido crecimiento poblacional que ha superado las previsiones de capacidad de los sistemas de depuración.



Finalmente, el núcleo urbano menos poblado de la cuenca, Padrón, se ha situado en la zona en la que el río necesita de mayor espacio. Con un origen histórico vinculado al río<sup>35</sup>, el desarrollo de la villa se ha articulado en torno a él desde un primer momento. Por ello, las intervenciones sobre el río han sido las más agresivas de la cuenca. Este caso representa un buen ejemplo de desarrollo urbano en torno al río asociado a la falsa sensación de seguridad que han proporcionado las sucesivas intervenciones fluviales. Así, cada actuación realizada sobre el río ha ido seguida por una mayor ocupación sobre sus márgenes, práctica que se ha mantenido hasta la actualidad. Como resultado, la vulnerabilidad a las inundaciones en esta zona es la mayor de toda la cuenca.

## **5.2.Limitaciones, condicionantes y oportunidades para la rehabilitación fluvial en el ámbito urbano**

Hecho el diagnóstico de la situación del río Sar (y algunos afluentes) en los entornos más urbanizados de la cuenca, se identifican una serie de limitaciones y condicionantes que no hacen posible acercarse a las condiciones de referencia. Ello es importante para la definición del escenario objetivo sobre el que centrar las estrategias de rehabilitación.

Configurar esa imagen del río requiere de metas realistas. Intentar recrear condiciones próximas a las que se encontrarían si no hubiese existido la influencia humana supone recrear unas condiciones inalcanzables, sobre todo cuando los cambios producidos en las áreas urbanizadas son irreversibles. Hay causas que están actuando sobre el río que no pueden ser eliminadas, por lo que se debe hablar del río que puede ser, en lugar de pretender que el río sea como el que fue (Figura 14).

Del mismo modo, existen oportunidades que deben ser consideradas para ayudar a que el proceso de rehabilitación tenga éxito.

Es la integración de estos dos aspectos, condicionantes y oportunidades, lo que acaba de configurar la imagen objetivo a alcanzar con la rehabilitación. La aplicación práctica a las zonas de estudio de estas consideraciones se expone a continuación.

### Limitaciones y condicionantes

Retomando lo que ya se introducía en el apartado de bases metodológicas (3.1.), antes de entrar en cuestiones particulares para los tramos de estudio hay una serie de limitaciones genéricas o comunes dentro del marco espacial de las zonas urbanas, algunas de las cuales han sido puestas de manifiesto por autores como (Niezgoda & Johnson, 2005; Eden & Tunstall, 2006; Petts, 2006; Bernhardt & Palmer, 2007):

---

<sup>35</sup> Según la leyenda, a ella llegaron los restos del Apóstol Santiago, y desde que estos restos se trasladan a Santiago de Compostela, Padrón se convierte en el principio de la ruta hacia el sepulcro para los peregrinos que llegan por mar (<http://www.concellodepadron.es/es/node/92>) (fecha de consulta 09/02/2016)

- En primer lugar, en los ríos urbanos se impone una limitación espacial, precisamente una de las cuestiones más relevantes a la hora de reactivar la dinámica fluvial. En la mayoría de las zonas urbanizadas el espacio fluvial está limitado (se podría incluso decir delimitado) por infraestructuras residenciales, industriales, o de carácter público. Si bien en casos puntuales puede existir margen de mejora (zonas verdes o zonas recreativas), el escenario general es el de la fuerte limitación espacial.
- Por otra parte, es indudable que en las zonas urbanas la seguridad de las personas debe anteponerse a cualquier otra cuestión. Ello supone un condicionante a cualquier tipo de actuación que se pretenda acometer sobre el sistema fluvial.
- Con respecto al conocimiento técnico, las prevalencias por el desarrollo económico y urbanístico sobre la conservación de los sistemas fluviales en las áreas urbanas, unido a la necesidad de proteger de inundaciones a bienes y personas, se ha traducido en un tardío acercamiento a la rehabilitación fluvial de ríos urbanos. Por este motivo la experiencia y el conocimiento técnico existente es sensiblemente inferior al disponible en el caso de la restauración fluvial tradicional.
- Por último, si la concentración de población y de actividades económicas son aspectos definitorios de una ciudad, la influencia de los aspectos sociales, políticos y económicos sobre cualquier tipo de actuación en los ríos de estas áreas tendrá un peso muy significativo. Por ello la participación de los ciudadanos en la construcción de la imagen objetivo a alcanzar con el proceso de rehabilitación se convierte en algo imprescindible.

La limitación referida a la cuestión espacial es la más relevante en los tramos estudiados. Sin embargo, no en todos ellos esta limitación aparece con la misma intensidad. Como se ha visto, los tramos situados en cabecera de los ríos Sar y Sarela, en Santiago de Compostela, así como el tramo Sar\_SC\_Sector2, presentan franjas más o menos amplias libres de infraestructuras permanentes (Figura 16), lo que ofrece una mejor perspectiva ya no sólo para mejorar su condición, sino también para contribuir a la mejora de los tramos más urbanos situados aguas abajo. En la zona de Ames, en el río Riamonte, existe también una pequeña franja no construida destinada a un uso recreativo, aunque las infraestructuras urbanas están mucho más presentes que en los tramos anteriores.

De esta limitación espacial por la ocupación del suelo con viviendas y vías de comunicación se derivan otras limitaciones como la de la necesidad de mantener la capacidad de evacuación del río y la de proteger determinados usos asentados en las márgenes. Ello condiciona la eliminación de las causas de la degradación y limita la recuperación de la continuidad fluvial. Es el caso de todos los tramos de estudio excepto los tres mencionados en el párrafo anterior.

Otra serie de limitaciones vienen determinadas por la falta de información. Al margen del menor conocimiento técnico disponible dentro del campo de la rehabilitación de ríos urbanos ya comentado, la falta de información para poder profundizar en determinados aspectos hidrológicos y geomorfológicos dentro del análisis de las condiciones del río supone un obstáculo a la definición de los objetivos a conseguir con la rehabilitación. La ausencia de

información que permita caracterizar el régimen de caudal es común a todos los tramos. Del mismo modo, tampoco se dispone de información completa que permita conocer la etapa de ajuste geomorfológico en la que se encuentra el cauce en determinados tramos.

Por otra parte, existen características derivadas de la propia condición del río que lo dotan de mayor o menor potencial para su recuperación. Según Soar & Thorne (2001), al ser el potencial energético del río uno de los factores que más condiciona su actividad geomorfológica, los tramos con mayor potencia serán los que mejor respondan a la recuperación, al contrario de aquellos con baja potencia específica, que ofrecen menos posibilidades de reactivación. Con base en esta teoría, el río Sar en la zona de Padrón y el río Riamonte en Ames serían los más complicados de reactivar. Pero también hay que considerar que la energía del río está influenciada por las modificaciones impuestas sobre la morfología de los cauces (modificaciones de la sección transversal que influyen sobre el caudal circulante, y protecciones de las márgenes que influyen en la rugosidad), por lo que el control de la potencia es importante de cara a evitar problemas por erosión. Por ejemplo, en aquellos tramos en los que la competencia del río se haya visto incrementada por la existencia de defensas en las márgenes y no exista posibilidad de retirarlas, la potencia específica pasará a ser un elemento a controlar, más que un motor para su recuperación.

### Oportunidades

El hecho de que el río atraviese zonas urbanas también ofrece aspectos positivos que deben ser incorporados a los objetivos perseguidos con las estrategias de rehabilitación.

Estos aspectos se relacionan con la posibilidad que ofrece el río para la mejora de la calidad del espacio urbano, protegiendo el derecho ciudadano al uso recreativo y escénico del medio fluvial, y a la provisión de servicios ecosistémicos. Directamente con esto se relaciona la oportunidad que suponen para la educación en valores ambientales y la incorporación de la participación ciudadana.

En este sentido, la creciente preocupación por el estado del río Sar por parte de la ciudadanía y la reclamación del río como espacio de “vida y ocio”<sup>36</sup> debe considerarse como una oportunidad para poner en marcha estrategias de rehabilitación en las que se incorpore a la población.

Por último, el proceso de rehabilitación requiere ahondar en las repercusiones de la urbanización sobre el funcionamiento del río, lo que supone una oportunidad para adquirir el conocimiento necesario de cara a alcanzar los objetivos ambientales establecidos por la DMA. Sólo a través del estudio de estas relaciones pueden identificarse las vías de mejora para la consecución del buen estado o potencial ecológico y del buen estado químico.

---

<sup>36</sup> Reclamación por parte de la Plataforma por la recuperación del Sar ([http://defensadosar.blogspot.com.es/2014\\_03\\_01\\_archive.html](http://defensadosar.blogspot.com.es/2014_03_01_archive.html)) (fecha de consulta 22/02/2016).

En la Tabla 11 se señalan las limitaciones y oportunidades identificadas en cada uno de los tramos estudiados. Su visión ayuda a establecer las potencialidades y limitaciones que de modo general afectan al proceso de rehabilitación, y que de modo particular hay que tener en cuenta para cada una de las zonas de estudio.

Tabla 11.- Consideraciones de cara a la definición de los objetivos de rehabilitación en cada uno de los tramos. El símbolo “+” hace referencia a aspectos positivos u oportunidades, mientras que el símbolo “-” indica una limitación o condicionante. El símbolo (+) expresa la posibilidad de que un aspecto inicialmente positivo pueda constituir un condicionante.

MUNICIPIO	SECTORES DE ESTUDIO	Infraestructuras permanentes (viviendas/vías de comunicación)	Infraestructuras permanentes (colectores saneamiento)	Infraestructuras no permanentes (agroganaderas/recreativas)	Capacidad para evacuar avenidas	Potencia específica	Limitaciones técnicas (disponibilidad de datos, técnicas de rehabilitación)	Participación y educación ciudadana	Integración disciplinas: ecología, geomorfología, química, sociología, política	Consecución ODMs (DMA)
SANTIAGO DE COMPOSTELA	Sarela_Sector1			+		+	-	+	+	+
	Sarela_Sector2	-	-		-	+	-	+	+	+
	Sarela_Sector3	-	-		-	(+)	-	+	+	+
	Sar_SC_Sector1			+		+	-	+	+	+
	Sar_SC_Sector2			+		+	-	+	+	+
	Sar_SC_Sector3	-	-		-	(+)	-	+	+	+
AMES	Riamonte_Sector1	-		+	-	-	-	+	+	+
PADRÓN	Sar_PD_Sector1	-	-		-	-	-	+	+	+
	Sar_PD_Sector2	-	-		-	-	-	+	+	+

### Propuesta de objetivos a conseguir con la rehabilitación fluvial

Los objetivos deben ser consistentes con la idea general de recuperar la estructura y funcionamiento del sistema fluvial, tal y como establece la DMA. En otro caso no se estaría hablando de un verdadero proceso de rehabilitación fluvial. Por este motivo, el primer objetivo debe ser el de la recuperación de los procesos fluviales, lo que implica en la medida de lo posible la recuperación de la dinámica fluvial (Ollero, 2015).

En coherencia con esto, los objetivos propuestos en este trabajo se centran en la mejora de la condición del río, es decir, de los impactos detectados sobre los ámbitos fluviales sobre los que se ha trabajado a lo largo del presente estudio. No obstante, es importante señalar que existen otros objetivos relativos a la mejora de la calidad del espacio urbano, a la incorporación de valores históricos, culturales y sociales, y a la participación ciudadana que también deben ser incorporados dentro de las estrategias de rehabilitación fluvial de tramos urbanos. De su consecución dependerá que el proceso de rehabilitación sea exitoso (Eden & Tunstall, 2006; Findlay & Taylor, 2006; Petts, 2006).

En la Tabla 12 se muestra una propuesta de objetivos para la recuperación de los tramos de estudio, elaborada en función de los impactos detectados en cada uno de ellos (Tabla 10) y de

las limitaciones y oportunidades señaladas anteriormente (Tabla 11), y que se pueden resumir como:

- Mejora de la calidad química y fisicoquímica del agua, necesario en todos los tramos de estudio.
- Establecimiento de un funcionamiento hidrológico más natural, aplicable a todos los tramos afectados por las aguas de escorrentía derivadas de la impermeabilización del territorio.
- Mejora de la conectividad lateral en aquellos tramos con menores restricciones por ocupación de las márgenes.
- Mejora de la conectividad longitudinal y vertical en aquellos sectores en los que se han advertido discontinuidades a causa de la presencia de puentes, pasarelas y azudes.
- Naturalización del cauce (márgenes y/o lecho) en los sectores con algún tramo canalizado o con defensas en las márgenes que no hacen viable actualmente el crecimiento de ningún tipo de vegetación.
- Recuperación del corredor ribereño.
- Control del riesgo de inundaciones (particularmente en las zonas clasificadas como ARPSIS). La consecución de este objetivo se basa en la recuperación de la funcionalidad del sistema fluvial de aquellos tramos con menores restricciones a nivel de ocupación del espacio, por lo que este objetivo se relaciona directamente con los destinados a la recuperación de la continuidad lateral.

Tabla 12.- Propuesta de objetivos para la rehabilitación fluvial de los tramos de estudio.

ZONA DE ESTUDIO	SECTORES DE ESTUDIO	Mejora calidad agua	Control de inundaciones	Mejora funcionamiento hidrológico	Mejora conectividad lateral	Mejora conectividad longitudinal y vertical	Naturalización del cauce (márgenes/lecho)	Recuperación del corredor ribereño
SANTIAGO DE COMPOSTELA	Sarela_Sector1	x			x	x		x
	Sarela_Sector2	x	x	x		x		
	Sarela_Sector3	x		x		x		x
	Sar_SC_Sector1	x			x	x		x
	Sar_SC_Sector2	x	x	x	x	x		x
	Sar_SC_Sector3	x	x	x			x	
AMES	Riamonte_Sector1	x	x	x	x	x		x
PADRÓN	Sar_PD_Sector1	x	x	x	x			x
	Sar_PD_Sector2	x	x	x			x	
<b>DIMENSIÓN ESPACIAL</b>		<b>CUENCA VERTIENTE</b>			<b>TRAMO DE ESTUDIO</b>			

## **6. BASES Y CRITERIOS TÉCNICOS PARA UNA REHABILITACIÓN FLUVIAL**

### **6.1. Propuesta de alternativas de rehabilitación**

Una vez realizado el diagnóstico de la situación del río Sar y analizadas las limitaciones y los condicionantes existentes, es posible comenzar a sentar las bases para determinar las estrategias más adecuadas de cara a su rehabilitación fluvial.

Al escoger las alternativas de restauración más adecuadas es importante considerar que la gestión se debe centrar en las causas del problema, en lugar de actuar sobre los síntomas. Muchas experiencias de restauración en ámbitos fluviales han fallado por no haber sido abordados a una escala adecuada (Walsh et al., 2005b). Sólo en aquellos casos en los que no es posible actuar sobre las causas la alternativa se basará en actuar sobre los síntomas, tratando de mitigar los impactos generados por ellas.

A continuación se presentan una serie de alternativas que podrían ser aplicadas a las zonas de estudio. Algunas de ellas se deben implementar a nivel de cuenca, por ejemplo las encaminadas a actuar sobre los sistemas de drenaje, saneamiento y depuración. Otras en cambio son actuaciones a nivel de tramo, aunque su influencia sobre el río repercute más allá de la zona en la que se lleve a cabo la actuación (por ejemplo, la eliminación de azudes o de protecciones en las márgenes). Aunque todas estas alternativas han sido aglutinadas bajo el concepto general de “rehabilitación”, señalar que atendiendo a los conceptos analizados en la introducción de este trabajo algunas de las actuaciones se encuadrarían mejor dentro de los términos de mejora, creación o sustitución (ver apartado 1.3.2).

Por último, cabe realizar una advertencia sobre las alternativas que se exponen a continuación. Se trata únicamente de propuestas realizadas con base en un diagnóstico inicial de alcance limitado, y tomando como referencia diversa bibliografía y casos de estudio que no tienen por qué compartir las características de las zonas abordadas por este trabajo. Por estos motivos, se requeriría de estudios en mayor profundidad de cara a determinar tanto la idoneidad como la viabilidad técnica, económica, ambiental y social de las propuestas aquí presentadas.

**ALTERNATIVAS DE REHABILITACIÓN A NIVEL DE CUENCA**

<b>Actuación:</b> mejora del sistema de saneamiento y de depuración
---

<b>Objetivos:</b> mejora de la calidad fisicoquímica del agua
---

La mejora del sistema de saneamiento y depuración es un requisito necesario para la mejora de la calidad fisicoquímica del agua de la cuenca. Cualquier estrategia de rehabilitación no podrá ser exitosa si los niveles de alteración de la calidad de las aguas no mejoran.

No se entra en detalle en este tipo de actuación porque ya se están llevando a cabo actuaciones de mejora de las EDARs de Santiago de Compostela y Bertamiráns, junto con la renovación de los colectores de saneamiento en la zona de Santiago de Compostela<sup>37</sup> (ambas recogidas dentro del Programa de Medidas del PHGC 2015-2021). Se considera que estas medidas tendrán una repercusión positiva sobre el sistema fluvial.

<b>Actuación:</b> Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible (TDUS)
--

<b>Objetivos:</b> mejora de la calidad química y fisicoquímica del agua; mejora del funcionamiento hidrológico
--

Justificación

Una adecuada gestión de las aguas de escorrentía generadas por episodios de precipitación en superficies impermeables es fundamental para abordar la recuperación del régimen hidrológico del sistema fluvial. Por ello, además de los tratamientos convencionales (a través de su evacuación con redes unitarias o separativas), es necesario adoptar otro tipo de medidas para mejorar los impactos generados tanto en la calidad química y fisicoquímica del agua, como en el ámbito geomorfológico. Se trata de medidas que permitan la reducción en origen de las aguas de escorrentía, su descontaminación y la regulación de las puntas de caudal generadas ante estos episodios de precipitación, de modo que se restablezca un régimen hidrológico lo más natural posible. Integrar este enfoque dentro de perspectivas de gestión del agua urbana más amplias supondría un beneficio mayor para minimizar los impactos sobre el ciclo natural del agua. En esta idea se basan diversas corrientes surgidas a nivel internacional como *Water sensitive urban design* (WSUD) y *Low impact development* (LID), o la estrategia de Desarrollo Urbano Sensible al Agua (DUSA) propuesta por Suárez et al., 2014.

El beneficio del uso de los sistemas de drenaje urbano sostenible sobre los ecosistemas acuáticos ha sido puesto de manifiesto por varios estudios, y por este motivo suponen un aspecto clave sobre el que centrar las estrategias de rehabilitación fluvial en ámbitos urbanos (Findlay & Taylor, 2006; Bernhardt & Palmer, 2007).

<sup>37</sup> Anuncio de la licitación para la contratación de servicios para la redacción del proyecto del colector interceptor general del Río Sarela [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-B-2015-32959](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-B-2015-32959). Anuncio por el que se somete a información pública el Proyecto del colector interceptor general del río Sar [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-B-2015-17723](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-B-2015-17723) (fecha de consulta: 10/01/2016).

El estudio llevado a cabo por Walsh et al. (2005b) demuestra que la introducción de estas técnicas, y en particular de aquellas que suponen la desconexión de áreas impermeables, es susceptible de producir una mejora de los indicadores biológicos mayor que la adopción únicamente de otras medidas como la mejora de la vegetación de ribera. Por ello, diversos autores consideran que sólo en aquellas cuencas urbanas en las que se han implementado TDUS es apropiado abordar otras estrategias de rehabilitación (Urbonas, 2001; Walsh, 2004).

### Descripción

Las Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible consisten en la construcción de nuevas infraestructuras (como por ejemplo los depósitos de tormenta), en la modificación de las prácticas de diseño tradicionales, o en el cambio de hábitos (por ejemplo, la limpieza viaria) (ITOGH, s. f.).

Los tanques de tormenta, basados en la utilización de volúmenes de almacenamiento al objeto de reducir el número de alivios y evitar impactos transitorios en tiempo de lluvia (ITOGH, s. f.), se han incluido dentro de las actuaciones que se están llevando a cabo para la mejora de la red de saneamiento<sup>38</sup>.

Otro tipo de infraestructuras consideradas dentro de las TDUS son las siguientes (Schanze et al., 2004; ITOGH s. f.):

- Medidas para el control en origen o sistemas de infiltración: se trata de instalaciones de almacenamiento del agua de lluvia o de escorrentía que permiten la infiltración de parte del agua disminuyendo el volumen de agua movilizado hacia la red de drenaje. Incorporan técnicas como:
  - Zanjas y pozos de infiltración: se trata de zanjas excavadas en el terreno y rellenas de material granular que permiten el almacenamiento y la infiltración de la escorrentía urbana en el suelo que rodea a la zanja. Los pozos de infiltración son similares, pero se emplean para la infiltración de la escorrentía de los tejados de las edificaciones (fuente importante de volumen de escorrentía).
  - Pavimentos porosos y pavimentos naturales: los pavimentos porosos o permeables están compuestos por una capa de conglomerado asfáltico u hormigón que permite la infiltración de la escorrentía hacia una capa de grava subyacente. En ella se almacena temporalmente la escorrentía que se filtra al terreno natural a través de un sistema de drenes. Los pavimentos modulares contienen una capa superficial formada por módulos de hormigón, ladrillo o plástico reforzado con una serie de huecos rellenos de arena o tierra sobre la que se planta césped.
  - Vegetación natural: la existencia de zonas arboladas funciona como un sistema natural de intercepción de agua de lluvia, por lo que su presencia por ejemplo en el entorno de carreteras y aparcamientos ayuda a reducir la generación de agua de escorrentía susceptible de arrastrar aportes contaminantes.

---

<sup>38</sup> Ibidem



- Sistemas de tratamiento pasivo:
  - Estanques de detención (secos): depresiones vegetadas sobre el terreno para almacenar agua procedente de escorrentía, que ayudan a laminar las puntas de caudal para tratar posteriormente el volumen captado.
  - Estanques de retención (húmedos): se trata del mismo sistema que el anterior, pero la eliminación de los contaminantes se produce por sedimentación y por procesos de degradación bioquímica realizados por las plantas y microorganismos presentes en el estanque (tratamiento biológico).
  - Humedales artificiales: son estanques de aguas someras diseñados para controlar los caudales y la contaminación de las aguas de escorrentía urbana. Son zonas que se inundan con las aguas de escorrentía y con los flujos subsuperficiales y subterráneos, y son las plantas hidrófilas las que ayudan a la depuración de los contaminantes presentes en las aguas pluviales. Como en el caso de los humedales naturales requieren un caudal de tiempo seco continuado o un nivel freático elevado para que la vegetación del medio no desaparezca.
  - Cunetas de césped y zonas de bio-retención: son técnicas empleadas para conducir y tratar las aguas de escorrentía en trenes de tratamiento. Las cunetas verdes son canales anchos y poco profundos cubiertos con césped resistente a la acción erosiva del agua y a las inundaciones. En las zonas de bio-retención la escorrentía se infiltra en una zona deprimida en la que se dispone un suelo muy permeable y un dren de arena o gravilla.

Además de infraestructuras adecuadas, la implementación de sistemas de control y valorización de las aguas pluviales requieren del trabajo en varios frentes, incluyendo buenas prácticas de gestión urbana y de educación. Es importante promover y potenciar la puesta en práctica de medidas como limpieza viaria, programas de educación pública y de gestión de residuos, controles del uso de fertilizantes y plaguicidas, controles de la erosión del suelo y controles de escorrentía de zonas comerciales e industriales (ITOGH, s. f.).

En la Figura 43 se muestran algunos ejemplos de diferentes técnicas de drenaje urbano sostenible.

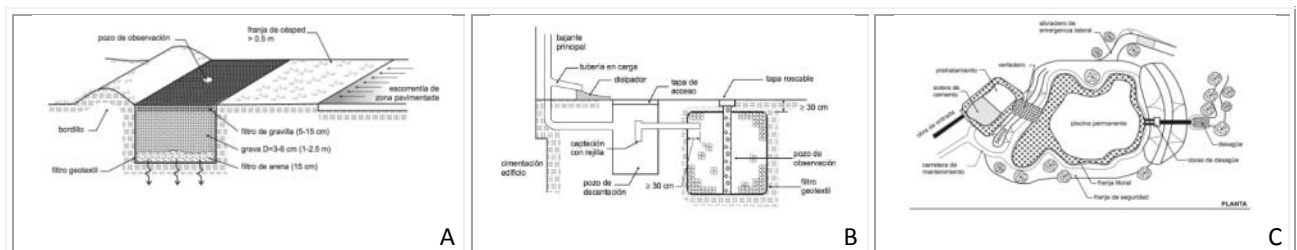


Figura 43.- Ejemplos de diferentes sistemas de TDUS. (A): zanja filtrante. (B): pozo de infiltración. (D): estanque de retención. Fuente: Puertas et al. (2008).

### Aplicación a las zonas de estudio

Como se ha visto en los anteriores apartados, la presencia de superficie impermeabilizada es muy elevada en Santiago de Compostela, donde se han constatado daños al sistema fluvial por este motivo. Aunque la ciudad ya cuenta con una importante superficie de zonas verdes, algo que se considera positivo, medidas como las comentadas de infiltración en origen y tratamiento pasivo son necesarias si se requiere abordar la mejora de las condiciones del sistema fluvial.

El diseño de un sistema de tratamiento pasivo podría ser adecuado para la zona del tramo de estudio Sar\_SC\_Sector2, que como se ha visto (Tabla 6) recoge gran parte de la superficie impermeabilizada de la ciudad. En ella se dispone de espacio y un nivel freático elevado, aspectos necesarios para este tipo de tratamientos.

No obstante, la aplicación de las TDUS también es recomendable en las demás zonas de estudio, donde las superficies impermeabilizadas son importantes.

### Ejemplos



Figura 44.- Ejemplos de aplicación de TDUS.

(A): pavimento permeable en Carolina del Sur. Fuente: USGS. *Strategies for Managing the Effects of Urban Development on Streams*; (B): sistema de bio-retención en Portland, Oregon. Fuente: *Ibidem*; (C): humedal artificial. Fuente: iagua.

**ALTERNATIVAS DE REHABILITACIÓN A NIVEL DE TRAMO**

<b>Actuación:</b> <i>recuperación de espacio fluvial y de la funcionalidad de la llanura de inundación</i>
<b>Objetivos:</b> <i>disminución del riesgo de inundación; mejora de la conectividad lateral</i>

Justificación

La recuperación del espacio fluvial para que los procesos hidromorfológicos puedan tener lugar sin restricciones es la medida básica para la recuperación de su funcionalidad y dinámica (Ollero, 2015). Permitir que el río recupere la funcionalidad de la llanura de inundación ayuda a la disipación de la energía en las avenidas, reduciéndose el caudal y la potencia transmitidos hacia aguas abajo. Al mismo tiempo, la decantación de sedimentos en la llanura de inundación disminuye los procesos de incisión o acreción del cauce.

Situar estos espacios aguas arriba o en las cercanías de los núcleos más poblados contribuye a la disminución del riesgo de inundación. Por este motivo, aunque esta actuación no se centra específicamente en los tramos más urbanizados, se incluye por ser importante la repercusión que tiene sobre ellos.

Descripción

Para llevar a cabo esta actuación es necesario respetar estos espacios libres de actuaciones antrópicas (liberando usos agropecuarios fundamentalmente) junto con la aplicación de medidas para la recuperación de la continuidad lateral (eliminación o retranqueo de defensas de las márgenes, explicadas más adelante). La actuación iría encaminada a evitar que esos espacios se ocupen y a regular las actividades actualmente establecidas en ellos para mantener un perímetro libre en la zona más cercana al cauce, y favorecer que la dinámica lateral del sistema fluvial pueda actuar sin restricciones.

En algunos casos en los que la funcionalidad de llanura de inundación se encuentra afectada por la existencia de terrenos sobreelevados puede ser necesario un rebaje topográfico que mejore la continuidad lateral. Los materiales extraídos pueden ser devueltos al río, y de este modo se puede actuar frente a los procesos de incisión.

Aplicación a las zonas de estudio

El río Sar en las zonas de estudio presenta una morfología predominantemente sinuosa, con pendientes que se corresponden con gradientes energéticos de medio a bajos, y en las que por tanto existen terrenos que de forma natural tienden a ser inundados con frecuencia por el río. Muchas de estas zonas de inundación han sido ocupadas por usos urbanos, tal y como muestran los estudios realizados para la gestión del riesgo de inundación. En ellas, la recuperación del espacio es complicada.

En otros tramos existen márgenes libres de zonas urbanizadas que han sido destinados a usos agropecuarios, o bien no presentan un uso definido en la actualidad, lo que facilita la recuperación, al menos parcial, del espacio fluvial y la funcionalidad de los espacios inundables.

Este es el caso de los tramos Sarela\_Sector1, Sar\_SC\_sector1 y Sar\_Sector2 en los que, aunque con limitaciones, podrían llevarse a cabo pequeñas actuaciones de devolución de espacio al río (Figura 45). Aunque estos tramos ya se inundan actualmente, presentan defensas laterales y usos en los bordes de los cauces que puntualmente obstaculizan la funcionalidad del río.

En algunas zonas del tramo Sar\_Sector2, por ejemplo, se ha observado la sobreelevación de terrenos por agricultura y por urbanización, especialmente en zonas iniciales del tramo (Figura 45). En las ocupadas por cultivos, podría valorarse un rebaje topográfico de esos terrenos que mejoraría la continuidad lateral en esas zonas.

En la zona de Padrón ocurre lo mismo en el tramo Sar\_PD\_Sector1. En su margen izquierda podría recuperarse parte del espacio fluvial pero obligaría a un rebaje de los terrenos (por la margen derecha se localiza un colector de saneamiento que no permite esta intervención) (Figura 45).

Con esta actuación, la energía liberada en estas zonas no sería transmitida aguas abajo, con lo que se contribuiría, por una parte, a rebajar la potencia energética a tramos como Sarela\_Sector2, Sarela\_Sector3, y Sar\_SC\_Sector3. Por otra parte se laminarían los caudales de crecida en el tramo del Sar a su paso por Padrón (Sar\_PD\_Sector1), importante para minimizar los riesgos de inundación.

El hecho de extrapolar estas medidas a otros tramos que no han sido incluidos en el estudio pero que reúnen estas características (es decir, espacios libres de infraestructuras permanentes situados en las inmediaciones de las zonas más urbanizadas) sería muy beneficioso para la disminución del riesgo de inundación, a través de la mejora de la continuidad lateral. Es el caso de algunos tramos en el río Riamonte aguas arriba del núcleo de Bertamiráns (Ames), y en el río Sar aguas arriba de la villa de Padrón (Figura 45).

En las zonas incluidas dentro de ARPSIS pueden servir como referencia los trabajos realizados para la implementación de la Directiva de Inundables, en los que se ha determinado la figura del DPH probable. Realizar el deslinde del DPH permitiría la regulación de actividades a desarrollar al menos en la franja más cercana al cauce.

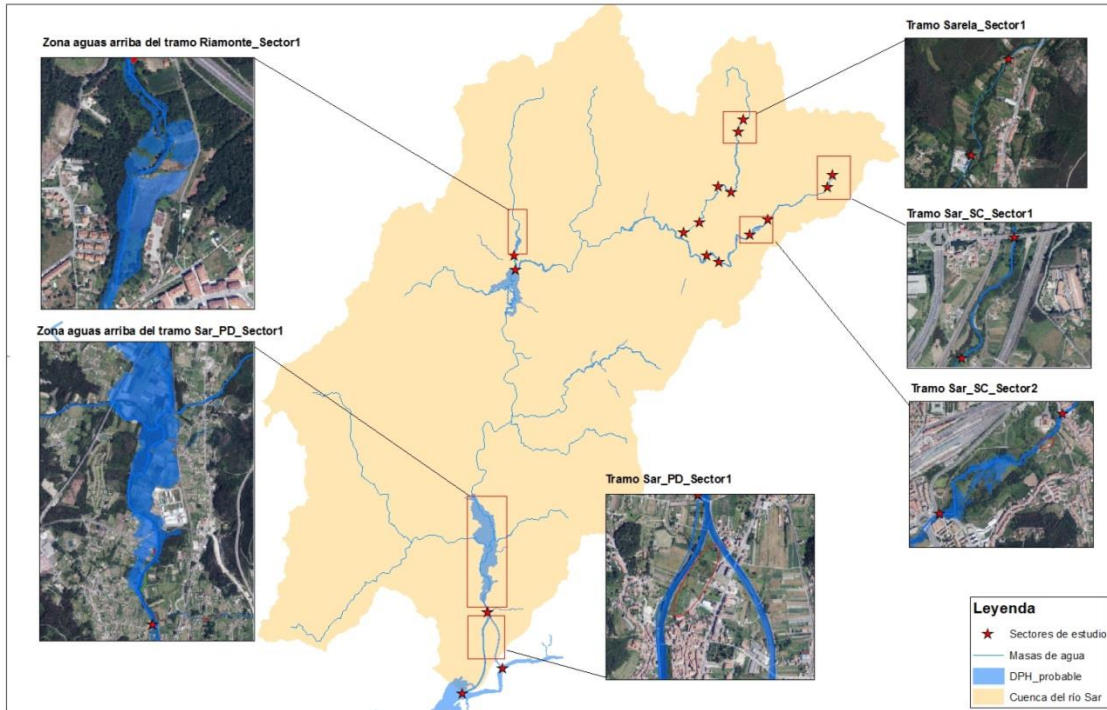


Figura 45.- Propuesta de tramos para la recuperación del espacio fluvial y de la funcionalidad de la llanura de inundación. Se señalan con círculos rojos las zonas en las que se ha advertido una sobre elevación del terreno. En azul se representa el DPH probable obtenido en los trabajos de implementación de la Directiva de Inundables.

### Ejemplos



Figura 46.- Ejemplo de recuperación de la funcionalidad de la llanura de inundación mediante el retranqueo de mota (Caparroso, Navarra). Fotos: Elena Díaz (en Ollero, 2015).

**Actuación:** reconexión de cauces

**Objetivos:** disminución del riesgo de inundación; mejora conectividad lateral

### Justificación

La reconexión de meandros supone que el río pueda funcionar por su cauce original, recuperando parte del espacio fluvial natural. Con ello, se produce una reconexión hidráulica que favorece la recuperación de procesos geomorfológicos y ecológicos, lo que mejora considerablemente el funcionamiento natural (Ollero, 2015).

Esta medida permite la recuperación de la diversidad de hábitats asociada a los ríos meandriformes, e incrementa la conectividad con la llanura de inundación.

Al igual que en el caso anterior, aunque esta actuación no se centra específicamente en los tramos más urbanizados se incluye por la repercusión que tiene sobre ellos.

### Descripción

La reconexión con meandros abandonados puede llevarse a cabo de modo completo, derivando la totalidad del flujo de agua por el cauce original y anulando de alguna forma el actual, o de modo parcial, de forma que se mantenga el cauce actual como principal y se recupere el antiguo para determinado nivel de crecidas (Ollero, 2015).

Cualquiera que sea la técnica elegida la conexión con los meandros abandonados no es sencilla, porque el cauce primitivo suele estar colmatado por crecimiento vegetal, y el actual puede estar sufriendo procesos de incisión a causa de la rectificación. Son necesarios trabajos previos que determinen hasta qué punto se han producido estos procesos y en qué medida es posible reconectar los caudales (Magdaleno & Martínez, 2011; Ollero, 2015).

### Aplicación a las zonas de estudio

La rectificación del río Sar en su tramo bajo ha supuesto la desconexión del río con varios de sus meandros, particularmente en la zona de desembocadura. Intentar reconectar el cauce actualmente rectificado con algunos de estos meandros mejoraría el funcionamiento del río, dotándolo de mayor dinámica y conectividad lateral en esta zona.

La mejora a nivel ecológico para una zona con hábitats protegidos por la Directiva Hábitats sería indudable, pero además aliviaría el riesgo de inundación al que se expone el núcleo de Padrón, situado aguas arriba, que recibe la influencia de la carrera de marea.

La instalación de determinadas infraestructuras en el espacio comprendido entre estos antiguos meandros (como la EDAR de Padrón, y algunas viviendas), limita las actuaciones de reconexión que se podrían realizar. Además, la diferencia de altura entre el cauce primitivo (colmatado por crecimiento vegetal) y el canalizado (con probables efectos de incisión) también dificulta la reconexión (Figura 40 y Figura 47). Aun así, podría valorarse la recuperación

de algunos de los meandros como un cauce para crecidas, manteniendo el actual como cauce principal.



Figura 47.- Meandros abandonados en la zona de desembocadura del río Sar (tramos de estudio Sar\_PD\_Sector1 y Sar\_PD\_Sector2). En azul, el cauce original del río Sar.

### Ejemplos



Figura 48.- Ejemplos de reconexión de meandros. (A): río Rothen (Petworth). Fuente: *The River Restoration Center*. (B): río Regge. Foto: Piet Verdonschot<sup>39</sup>.

<sup>39</sup> En <http://www.reformrivers.eu/newsletters/146/complete> (fecha de consulta: 14/02/2016).

**Actuación:** *eliminación y permeabilización de obstáculos transversales*

**Objetivos:** *mejora de la continuidad longitudinal y vertical*

### Justificación

La eliminación y permeabilización de obstáculos transversales al cauce como azudes, puentes y pasarelas es importante para la recuperación de la continuidad longitudinal del río, que además influye positivamente sobre su continuidad vertical.

La eliminación de azudes repercute positivamente en la recuperación de la movilidad de sedimentos, y rompe la uniformización producida en las características de los cauces. Esta actuación resulta beneficiosa para la recuperación de la sucesión natural de rápidos, remansos u otras formas del lecho importantes para la creación de hábitats.

En cuanto a los puentes y pasarelas, su redimensionamiento (o eliminación) permite que los residuos que normalmente se acumulan tras cada avenida sean arrastrados por la corriente, eliminando el riesgo de inundación en las zonas adyacentes, pero contribuyendo a la mejora de la calidad del hábitat. El estudio realizado por Lassetre & Kondolf (2012) demuestra los beneficios económicos y ecológicos a largo plazo de abordar estas actuaciones de redimensionamiento.

### Descripción

Las actuaciones posibles frente a este tipo de obstáculos son su eliminación, o el redimensionamiento en caso de puentes o pasarelas.

En el caso de los azudes, algunas cuestiones deberían ser verificadas de forma previa a su eliminación, como la comprobación de su estado concesional (existencia o no concesión, y de existir, si está o no en vigor), y la consideración del posible valor histórico o patrimonial por el que se deba estimar su mantenimiento en el cauce.

Al igual que con los azudes, habría que valorar el interés histórico y cultural de los puentes o pasarelas con carácter previo a su eliminación o redimensionamiento.

### Aplicación a las zonas de estudio

Las zonas de estudio más afectadas por estas alteraciones son las de Santiago de Compostela y Ames, en las que se podría valorar la posibilidad de eliminar algunos de los azudes (Figura 49).

En cuanto a los puentes y pasarelas, en algunos tramos (particularmente en los ríos Sar y Sarela en Santiago de Compostela) se han observado sucesiones de pasarelas que dan acceso a fincas y viviendas particulares, que están originando distintos tipos de impacto sobre el río (acumulaciones de sedimentos y madera muerta, y erosiones de las márgenes del cauce) (Figura 49). Sin bien se debe mantener algún tipo de acceso a estas propiedades (otro tema



sería la idoneidad de la localización de estas propiedades), debe valorarse si este paso es posible de otra forma, y si algunas de estas pasarelas pueden ser eliminadas.

Por otra parte, de no redimensionar o eliminar las estructuras transversales en las que se producen acumulaciones, debería valorarse específicamente la situación de riesgo de inundación sobre las infraestructuras adyacentes, y proceder a su eliminación sólo en caso de que ese riesgo exista. En caso de retirada de los sedimentos y maderas acumuladas, este podría ser recolocado en otras zonas del cauce en las que ese riesgo de afección no esté presente, e incluso utilizarse para la mitigación de los caudales de agua y sedimento en avenidas (ver ejemplos).



Figura 49.- Obstáculos transversales presentes en las zonas de estudio.

(A): azud en el tramo Riamonte\_Sector1; (B): sucesión de pasarelas en el tramo Sarela\_Sector2; (C): acumulación de sedimentos y vegetación en un pilar de una pasarela en el tramo Sarela\_Sector2.

### Ejemplos

- Demolición del puente Urbi en Basauri, construyéndose otro en su lugar con mayor capacidad hidráulica<sup>40</sup>.
- Demolición de azud urbano en San Marcos (León), en el río Bernesga<sup>41</sup>.
- El Proyecto de Drenaje Rural Sostenible de Stroud (sur de Inglaterra)<sup>42</sup> se ha puesto en marcha para disminuir el riesgo de inundación en el valle del río Frome a través de la integración de la gestión hidrológica y la gestión del uso del suelo. Una de las medidas que se baraja dentro de este proyecto, en combinación con otras, consiste en la utilización de residuos de madera para crear un efecto de laminación de caudales. A través de diferentes técnicas, estos materiales se instalan en los cauces a modo de barreras físicas para reducir la cantidad y velocidad del caudal transmitido aguas abajo durante las avenidas (Figura 50).

<sup>40</sup> <http://www.eitb.eus/es/noticias/sociedad/videos/detalle/3376630/video-la-demolicion-puente-urbi-basaurigaldakao/> (fecha de consulta: 13/02/2016).

<sup>41</sup> <http://contratoderiomataranya.org/documentos/BP-restauracion/BP4.pdf> (fecha de consulta 13/02/2016).

<sup>42</sup> <https://stroud.gov.uk/docs/environment/rsuds/index.asp> (fecha de consulta 27/02/2016)



Figura 50.- Proyecto de drenaje rural sostenible de Stroud.

(A): troncos distribuidos a modo de deflectores sobre suelo forestal para incrementar la infiltración; (B): colocación de maderas a modo de pequeña presa para forzar el almacenamiento del agua en la llanura de inundación. Fuente: *Stroud District Council*.

**Actuación:** *eliminación de barreras longitudinales*

**Objetivos:** *mejora conectividad lateral*

### Justificación

La eliminación de protecciones de defensa de las márgenes como escolleras, muros o canalizaciones permite recuperar la continuidad lateral del curso fluvial, lo que a su vez contribuye a la recuperación de los caudales sólidos del río y de su morfología. El río puede liberar energía contra las márgenes una vez desprotegidas, evitando transmitirla hacia aguas abajo o hacia el lecho y reduciendo los procesos de erosión lateral y lineal.

En algunas zonas esta medida es complementaria a la recuperación del espacio fluvial y de la funcionalidad de la llanura de inundación.

### Descripción

Ollero (2015) describe tres posibilidades para la eliminación de las defensas de las márgenes:

- La desprotección de una sola orilla, eliminando las defensas,
- El desencauzamiento o eliminación de una actuación dirigida a estabilizar el cauce dentro de una determinada forma,
- La descanalización, o eliminación de un canal rectilíneo de anchura fija y de materiales homogéneos.

### Aplicación a las zonas de estudio

En las zonas de estudio la desprotección de las orillas está condicionada por los usos establecidos en las márgenes del cauce y en la zona de inundación, lo que compromete su eliminación en algunos tramos.

La eliminación de las defensas longitudinales (escolleras) debe considerarse en las zonas Sarela\_Sector1, Sar\_SC\_Sector1 y Sar\_SC\_sector2 (Figura 51). Como se ha dicho al hablar del

espacio fluvial, en estos tramos existen márgenes libres de zonas urbanizadas, por lo que se dispone de un valioso espacio en el que se debería primar la continuidad lateral del cauce. Las defensas de las márgenes se asocian a la protección de los usos agropecuarios que se podría compatibilizar con una mejora del funcionamiento de la dinámica lateral del río, y contribuir así esas pequeñas actuaciones de “devolución de espacio al río”.



Figura 51.- Zonas con protecciones de escollera en las márgenes que podrían ser eliminadas. (A): tramo Sarela\_Sector1; (B): Sar\_SC\_Sector1; (C): Sar\_SC\_Sector2.

La mejora de esta dinámica lateral se considera importante no sólo para mejorar la funcionalidad de la llanura, sino también para permitir al cauce su ajuste morfológico con más libertad. Particularmente el tramo Sar\_SC\_Sector2, que recibe parte de las aguas de escorrentía generadas en zonas impermeabilizadas de la ciudad, el río podría llegar a adaptar sus dimensiones y alcanzar un nuevo estado de equilibrio si dispone de la libertad y espacio suficientes. El estado de equilibrio sería diferente del natural (los cambios habidos en el uso del suelo no permiten recrear las condiciones iniciales del río), pero sin tener que llevar a cabo actuaciones de refuerzo sobre el cauce. Dejar que el río diseñe de nuevo su propio camino sería la mejor de las opciones, aunque habría que seguir de cerca la evolución de su morfología. Los datos del seguimiento servirían para decidir sobre alguna intervención posterior de observarse por ejemplo que la inestabilidad se está transmitiendo al lecho en forma de erosión lineal que pudiera desconectarlo de la llanura de inundación, o alejar el nivel freático de la superficie.

En el caso del río Riamonte (Ames), podría valorarse la eliminación de las defensas de gaviones colocadas dentro del cauce menor, así como de las actuales sendas peatonales dentro del cauce mayor (Figura 25). El cauce cuenta con defensas dimensionadas para la avenida de los 100 años, por lo que dentro de ese espacio delimitado para proteger los usos urbanos podría dotarse al río de algo de libertad. Junto con la medida de eliminación de obstáculos transversales, el río podría ir reconfigurando su morfología poco a poco (el no haber rectificado el río lo facilita), y dispondría de más espacio para depositar los sedimentos, que actualmente colmatan el cauce. Una limitación en este sentido es la baja potencia energética que presenta este tramo, lo que dificulta la reactivación de la dinámica fluvial. Se podría requerir de algún tipo de intervención para ayudar a la recuperación de la sinuosidad natural del río (se estima necesaria una potencia superiores a los  $35\text{w/m}^2$  para la recuperación propia de la sinuosidad<sup>43</sup>).

<sup>43</sup> Según Brookes (1987) para ríos británicos (en <http://evidence.environment-agency.gov.uk/FCERM/en/SC060065/MeasuresList/M5/M5T2.aspx?pagenum=2>) (fecha de consulta 12/02/2016)

## Ejemplos

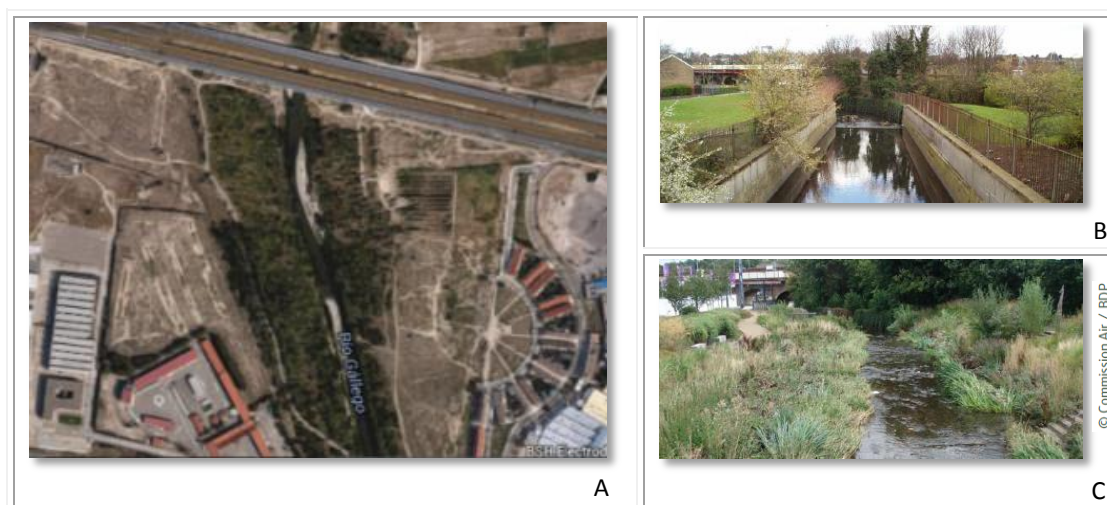


Figura 52.- Ejemplos de desencauzamientos.

(A): desencauzamiento de la margen derecha del río Gállego. Fuente: Google Earth; (B, C): descanalización del río Ravensbourne en Lewisham (Londres) antes de la rehabilitación (B) y después (C). Fuente: *Ravensbourne River Corridor Improvement Plan*<sup>44</sup>.

**Actuación:** *sustitución de defensas de materiales duros por otras técnicas de bioingeniería*

**Objetivos:** *naturalización del cauce (de márgenes estabilizadas)*

### Justificación

En aquellos lugares en los que existe un riesgo para la seguridad de las personas, bienes o infraestructuras no asumible, y se deben mantener las defensas en el cauce, existe la posibilidad de sustituir los materiales más duros por otras técnicas que aseguren la estabilización de los taludes (técnicas permanentes), pero que al mismo tiempo faciliten la creación de hábitats. Deben entenderse como soluciones para mejorar corredores fluviales que han sido desnaturalizados cuando las limitaciones existentes no permiten encaminar las actuaciones hacia la consecución de una morfología del cauce más natural (Schanze et al., 2004).

Ante este tipo de situaciones, las técnicas de bioingeniería aportan beneficios estéticos y mejoran la condición biológica del sistema, al ofrecer hábitats para el asentamiento de las comunidades biológicas al tiempo que cumplen con su función estructural.

### Descripción

La bioingeniería emplea materiales vegetales vivos como elemento de construcción, solos o combinados con materiales inertes (Arizpe et al., 2008). Para la sección de las técnicas más adecuadas deben realizarse estudios específicos acerca de las características físicas del tramo

<sup>44</sup> [https://www.lewisham.gov.uk/myservices/planning/policy/Documents/Ravensbourne\\_River\\_Corridor\\_Improvement\\_Plan\\_%20Newformat\\_Feb%202012.pdf](https://www.lewisham.gov.uk/myservices/planning/policy/Documents/Ravensbourne_River_Corridor_Improvement_Plan_%20Newformat_Feb%202012.pdf) (fecha de consulta: 14/02/2016).

fluvial (materiales y pendiente de los taludes), así como la energía de la corriente. En la Tabla 13 se exponen algunas de las medidas que pueden ser empleadas.

Tabla 13.- Algunos procedimientos utilizados para reforzar márgenes que deben utilizarse con antelación o conjuntamente con la regeneración de la cubierta vegetal. Fuente: Arizpe et al., 2008

TÉCNICAS	CARACTERÍSTICAS	APLICACIONES Y REQUISITOS TÉCNICOS	EFFECTIVIDAD
<b>Gaviones vegetados</b>	Bloques de piedra retenidos con malla de alambre y cubiertos con tierra fértil, donde se introducen estacas vivas para su enraizamiento	Apropiado para pendientes escarpadas y en corrientes de alta energía; requiere cimentación estable; solamente puede ser utilizado en el pie del talud	Proporciona alta protección a la base de canales con taludes muy escarpados, donde otras técnicas pueden fallar
<b>Escollera o revestimiento de piedra suelta vegetado</b>	Revestimiento de roca suelta (desde piedras a cantos rodados) con estacas vivas introducidas en las aberturas	Para utilizar en áreas con alto riesgo de erosión, a menudo tras la previa protección con geotextiles, y donde la corrección del ángulo del talud resulta difícil	Larga durabilidad en pendientes moderadas y corrientes de energía moderada -alta, como la parte exterior de las curvas
<b>Entramado de madera</b>	Muro formado por celdas hechas de troncos, las cuales se refuerzan con lechos de ramas vivas entrevaradas perpendicularmente al talud, y rellenas de tierra fértil	Apropiado para tramos de márgenes escarpados (pero no con un sustrato rocoso) y alta erosión; para ser instalado sobre una base de grava	Proporciona un aspecto natural en comparación con los gaviones y rehabilita los márgenes con una alta pérdida de suelo
<b>Muro verde con geotextiles (soft gabion)</b>	Capas de tierra compactada, retenida por geotextiles, dispuestas en tongadas, entre cada una de las capas de tierra y geotextil se coloca un lecho de estacas vivas, cuyas puntas sobresalen en la cara del talud reconstruido	Recomendado especialmente para taludes con alta inclinación socavados por al corriente; puede requerir una estructura estable en la base o incluso protección del pie del talud cuando las corrientes fuertes son frecuentes	Establece rápidamente una capa espesa de vegetación, pero puede afectar a la colonización vegetal

### Aplicación a las zonas de estudio

Este tipo de técnicas podrían funcionar en casos como los del sector Sar\_SC\_Sector3. La margen izquierda del río se encuentra libre de viviendas, pero por ella se ha instalado el sistema de colectores de la red de saneamiento, recientemente renovado, y tras las obras se han cubierto las márgenes del río con escollera sin revegetar (Figura 53). Además se ha aprovechado para retranquear el cauce en algunas zonas e incrementar la sección transversal. Como resultado, y conjuntamente con los impactos que el río sufre aguas arriba (alteración del caudal por vertido de aguas de escorrentía), el caudal *bankfull* y la potencia específica se incrementan considerablemente, lo que ya se ha traducido en la erosión de algunas partes de la escollera.

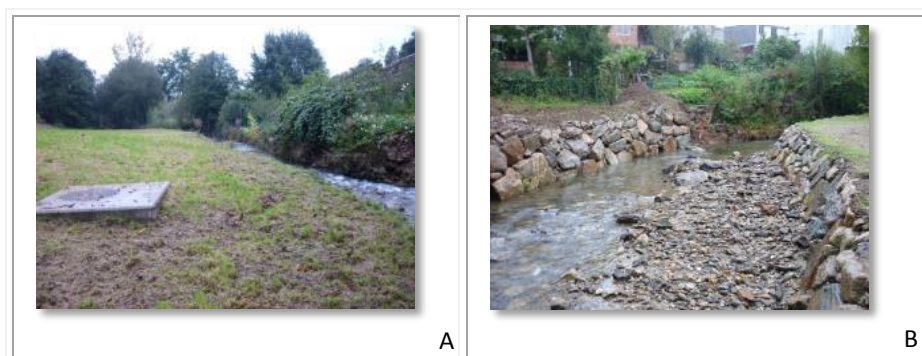


Figura 53.- Tramo de estudio en el que se podrían aplicar técnicas de bioingeniería para estabilizar márgenes. (A): pozo de saneamiento en la margen izquierda del río. (B): visión de la escollera y de las viviendas que existen en la margen derecha del río (izquierda en la imagen).

Dado que la presencia de la red de colectores y de algunas viviendas necesita de algún tipo de estabilización de las orillas, el empleo de estas técnicas ayudaría a la creación de hábitats y a

evitar el asentamiento de EEI. Además reduciría la potencia energética del agua, por lo que se vería disminuida su capacidad erosiva y la energía transmitida aguas abajo.

### Ejemplos

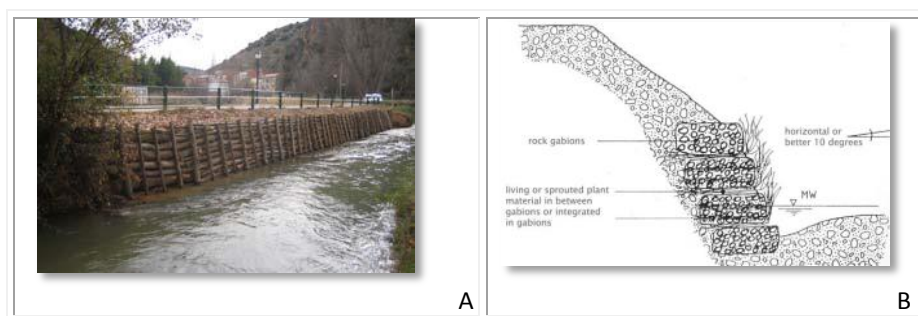


Figura 54.- Ejemplos de aplicación de técnicas de bioingeniería para la estabilización de márgenes.

(A): entramado vivo para paliar problemas erosivos en un tramo urbano del río Turia a su paso por el término municipal de Libros (Teruel)<sup>45</sup>. (B): gaviones vegetados en un río urbano en Alterbachsystem (Salzburgo). Fuente: Schanze, 2004.

**Actuación:** incremento de la heterogeneidad de hábitats

**Objetivos:** naturalización del cauce

### Justificación

Ante determinados escenarios de degradación, en los que los ríos han sido canalizados (e incluso enterrados) y presentan un alto grado de artificialidad, existe la posibilidad de su regeneración. La recreación de condiciones naturales en estos cauces proporciona no sólo espacios de calidad urbana, sino que permite mejorar la condición del sistema al recuperarse formas y procesos más naturales. La recuperación de estos tramos hace posible además la reconexión funcional de los tramos fluviales situados aguas arriba y aguas abajo.

Cabe señalar que en un contexto de restauración fluvial, el estudio llevado a cabo por Palmer et al. (2010) pone de manifiesto que los proyectos basados en el incremento de la heterogeneidad de hábitats no han tenido el éxito esperado, al menos en cuanto a la recuperación de poblaciones de invertebrados bentónicos. Son tantas las causas que habitualmente impactan un sistema fluvial, y tan complejas las relaciones que se establecen entre ellas, que la simple reconfiguración del cauce y el incremento de su complejidad estructural no es suficiente cuando el objetivo es la recuperación ecológica.

En el contexto de rehabilitación urbana, en particular ante determinados escenarios de degradación morfológica en los que los objetivos de recuperación están fuertemente limitados, los pequeños beneficios que pueden aportar estas prácticas merecen tomarlas en consideración.

<sup>45</sup> En [http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/delimitacion-y-restauracion-del-dominio-publico-hidraulico/INFORME\\_BIOINGENIERIA\\_tcm7-189477.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/delimitacion-y-restauracion-del-dominio-publico-hidraulico/INFORME_BIOINGENIERIA_tcm7-189477.pdf)

### Descripción

La naturalización de estos cauces se lleva a cabo a través de distintas técnicas que deben estar adaptadas a cada caso. Las medidas suelen orientarse a la recuperación de la morfología dentro del cauce al objeto de dotarlo de mayor complejidad estructural y permitir la formación de hábitats.

Así, se utilizan técnicas para la recuperación de la sinuosidad dentro de los límites de las defensas laterales, para la creación de sucesiones de rápidos y remansos, y para la introducción de diversos elementos (piedras, maderas, etc.) que proporcionen una heterogeneidad de hábitats que hagan posible el asentamiento posterior de las comunidades biológicas.

En este sentido, el estudio realizado por Pedersen et al. (2014) advierte de la necesidad de utilizar sustratos con una distribución heterogénea y similar a la natural para que el asentamiento de las comunidades biológicas de macroinvertebrados sea efectiva y los procesos de rehabilitación puedan ser llevados a cabo con éxito.

### Aplicación a las zonas de estudio

Con muchas precauciones por las limitaciones existentes, el canal de derivación del río Sar en Padrón (Sar\_PD\_Sector2) sería un candidato para explorar las posibilidades de naturalización del cauce en su parte hormigonada.

La recuperación de la morfología del lecho para el asentamiento de comunidades biológicas supondría una gran mejora tanto a nivel ambiental como a nivel escénico.

Aun así el tramo presenta un serio condicionante: es necesario mantener la capacidad de desagüe, dado que Padrón está incluido en zona de flujo preferente, y ello teniendo en cuenta tanto la influencia de los caudales procedentes del río Sar como la influencia de la marea.

Por ello, este tipo de actuación debería ser considerada en conjunto con otras actuaciones encaminadas a la mejora de la capacidad de laminación aguas arriba (recuperación de espacio fluvial y mejora de la conectividad lateral). Teniendo en cuenta el trabajo de Palmer et al. (2010) indicado antes, también son importantes otras actuaciones como las previstas para la gestión de las aguas pluviales y la mejora de la calidad fisicoquímica del agua si se quiere obtener algo de éxito.

## Ejemplos

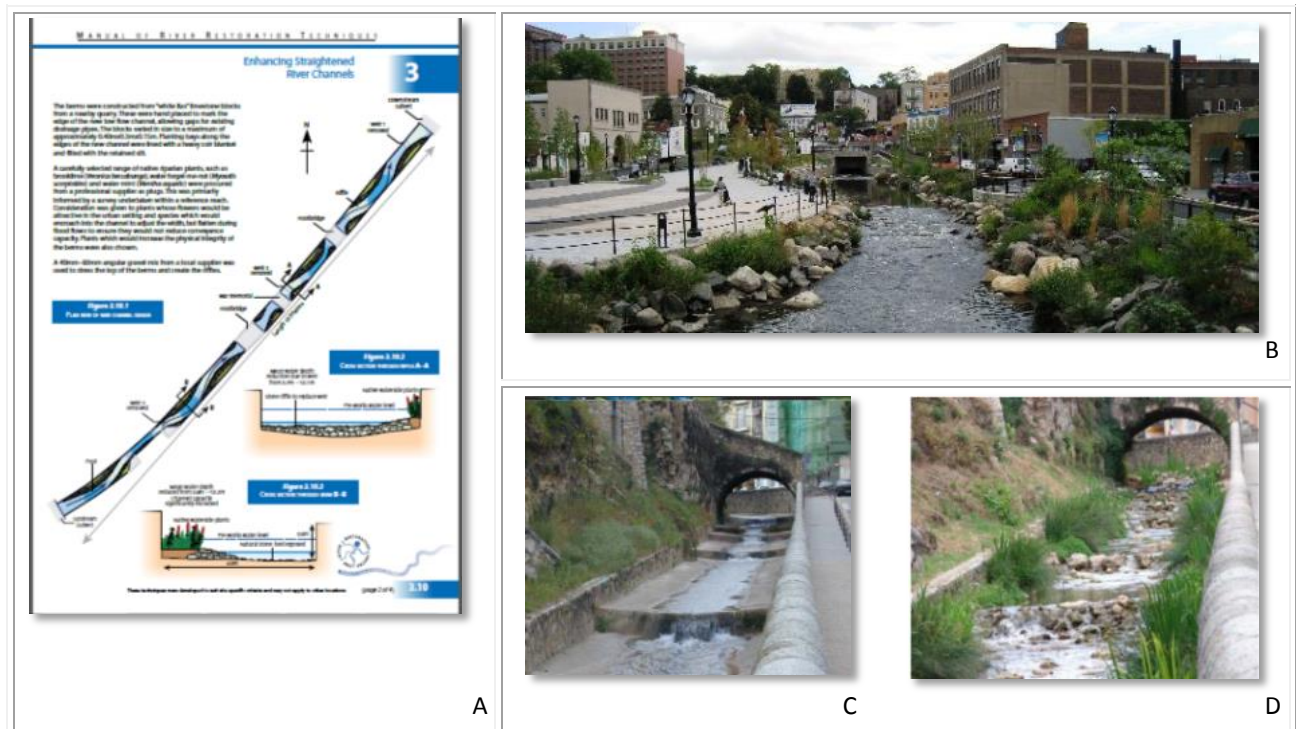


Figura 55.- Ejemplos de naturalización de cauces.

(A): construcción de cauce sinuoso, eliminación de obstáculos transversales e incremento de la heterogeneidad de hábitats en el Río Somer (Somerset). Fuente: *The River Restoration Centre*. (B): rehabilitación del río Saw Mill (Yonkers, Nueva York) que transcurría canalizado bajo tierra<sup>46</sup>. (C, D): rehabilitación del río Huécar a su paso por Cuenca<sup>47</sup>, antes (C) y después (D) de la rehabilitación.

**Actuación:** mejora de la vegetación de ribera

**Objetivos:** recuperación del corredor ribereño

### Justificación

Las prácticas de mejora de la vegetación de ribera pueden responder a diversos motivos, desde actuaciones con un único sentido estético, hasta actuaciones realizadas para ayudar a la recuperación de un corredor ripícola que se ha visto degradado por algún tipo de alteración antrópica (Ollero, 2015).

La vegetación de ribera ayuda a la estabilización de las márgenes cuando no existe espacio para la migración lateral del cauce, y proporciona beneficios al sistema fluvial a través de la provisión de nutrientes, restos orgánicos, y sombra, importante para la regulación de la temperatura y para el desarrollo de la fauna acuática (Arizpe et al., 2008).

<sup>46</sup> En <http://daylightyonkers.com/> (fecha de consulta 14/02/2016).

<sup>47</sup> En [http://oa.upm.es/20911/1/INVE\\_MEM\\_2012\\_131423.pdf](http://oa.upm.es/20911/1/INVE_MEM_2012_131423.pdf) (fecha de consulta 14/02/2016).



En zonas urbanas la recuperación de la vegetación de ribera tiene importancia como factor estructurante del paisaje, dado que los pequeños corredores constituidos apenas por una hilera de árboles son los únicos elementos naturales que se conservan en algunos tramos. Ello les otorga un papel estético y social que contribuye a la diversificación del paisaje y a su apreciación por los ciudadanos, importante para la educación y formación en valores naturales (Arizpe et al., 2008).

### Descripción

La recuperación de la vegetación de ribera debería ser un proceso natural, con la intervención humana sólo para eliminar las causas de la degradación y evitar que se produzcan de nuevo, sin recurrir a plantaciones.

Sin embargo, en tramos degradados en los que no es posible eliminar las causas de la alteración o ante determinados escenarios de degradación puede ser necesario un empuje para acelerar el proceso de recuperación. En este caso, las plantaciones deben limitarse a la utilización de arbustos riparios de fácil enraizamiento y rápido crecimiento, escogiendo únicamente especies autóctonas de carácter local. En el caso de Galicia, están especialmente indicadas *Salix atrocinerea* y *Alnus glutinosa* como especies para facilitar el desarrollo posterior de la vegetación madura (Lara et al., 2007).

### Aplicación a las zonas de estudio

En los casos de las zonas situadas en la parte alta del río Sar y del río Sarela (Sarela\_Sector1, alguna parte del tramo Sar\_SC\_Sector1, y Sar\_SC\_Sector2), como se ha visto en los resultados, se ha detectado una degradación del bosque de ribera, que muestra discontinuidades longitudinales y apenas consiste en una línea de árboles situada de forma paralela al cauce (Figura 56). Algunas de las medidas señaladas anteriormente (mejora de la calidad del agua y eliminación de tramos de escollera) junto con un algún tipo de regulación del uso de pastoreo (al menos en la zona de servidumbre), podrían ser suficientes para que en estas zonas la vegetación de ribera se recuperase de forma natural, aunque lenta, con la simple acción del río y de la fauna como portadores de propágulos (Lara et al., 2007). Sin embargo, podría ser necesaria alguna acción puntual para acelerar el proceso (algunas zonas presentan abundante matorral debido al abandono de prados) y favorecer la formación de una franja de protección.

En otros tramos sí se podrían aplicar técnicas activas para la recuperación de la ribera, en particular en aquellas zonas en las que la degradación total requiere de una base para comenzar la recuperación (como por ejemplo Sarela\_SC\_Sector3) (Figura 56).

En el parque fluvial de Ames (Riamonte\_Sector1), podría valorarse si complementar la acción de liberación del cauce menor con alguna actuación de revegetación. La particular degradación del corredor ripícola en este tramo puede hacer necesarias actuaciones para facilitar el retorno a un funcionamiento más natural del sistema, creando hábitats que apoyen el desarrollo de las comunidades acuáticas y de aquellos organismos que utilicen las zonas de ribera.



Figura 56.- Tramos de estudio con vegetación de ribera degradada en los que valorar su recuperación. Degradación de la vegetación de ribera por la presencia de pastos en el tramo Sarela\_Sector1 (A), y Sar\_SC\_Sector1 (B); (C): zona de ribera con presencia de matorral en el tramo Sar\_SC\_Sector2; (D): zona con ausencia total de vegetación de ribera en el tramo Sarela\_Sector3.

### Ejemplos

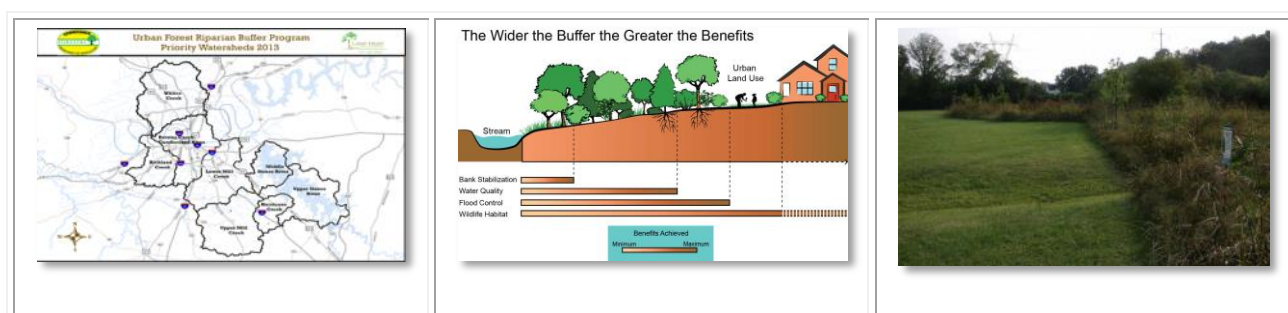


Figura 57.- Proyecto de mejora de la vegetación riparia en el ámbito urbano puesto en marcha por el Departamento de Agricultura del Estado de Tennessee (Estados Unidos).

Fuente: *Tennessee Urban Riparian Buffer Handbook* <sup>48</sup>

**Actuación:** eliminación EEI

**Objetivos:** recuperación del corredor ribereño

### Justificación

La eliminación de las EEI es necesaria para la recuperación de las condiciones naturales del sistema, y evitar que su expansión continúe alterando la estructura y funcionamiento de los corredores fluviales.

### Descripción

Las técnicas de eliminación y control varían en función de la especie de la que se trate. A excepción de *Tradescantia fluminensis* y *Phytolacca americana*, para las que la erradicación mecánica se considera factible, para las demás especies que se han detectado en las zonas de estudio (*Robinia pseudoacacia*, *Arundo donax* y *Cortaderia selloana*) las técnicas de eliminación más recomendadas se basan en la combinación de control mecánico junto con la aplicación de

<sup>48</sup> <https://www.tn.gov/assets/entities/agriculture/attachments/UrbanRiparianBufferHandbook.pdf> (fecha de consulta 23/02/2016.)

herbicidas (Xunta de Galicia, 2007). Dada su ubicación próxima al cauce, debe tenerse muy en consideración el uso de productos que estén registrados para ese ámbito.

### Aplicación a las zonas de estudio

Estas actuaciones podrían ser llevadas a cabo en todos aquellos tramos fluviales en los que se ha detectado la presencia de EEI, con las debidas precauciones en los casos en los que se requiere el empleo de productos químicos.

De todas formas, si no se incide sobre otros aspectos como la recuperación de la calidad de las aguas y de la vegetación natural, la probabilidad de que estas especies vuelvan a reproducirse es muy elevada, lo que no compensaría los esfuerzos realizados.

### Ejemplos



Figura 58.- Ejemplos de eliminación de EEI en las riberas fluviales.

(A): eliminación de *Arundo donax* en Navarra. Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (B): eliminación de EEI en las riberas del río Saja por parte del Proyecto Ríos. Fuente: Proyecto Ríos.

## 6.2. Necesidades y desafíos de la rehabilitación fluvial en el ámbito urbano

El trabajo realizado hasta el momento ha permitido identificar una serie de necesidades que surgen ante la puesta en práctica de un proceso de rehabilitación fluvial en el entorno urbano. Al margen de que este trabajo se haya centrado en la cuenca del río Sar, las necesidades detectadas pueden considerarse como comunes a cualquier otra iniciativa que pudiera llevarse a cabo dentro de la DHGC.

Del mismo modo, surgen una serie de retos que deben ser afrontados para llevar a cabo el proceso de rehabilitación fluvial con garantías de éxito.

### Necesidades

#### *Implementación efectiva de instrumentos normativos existentes*

Dentro del marco normativo existente se encuentran instrumentos útiles para la puesta en marcha de actuaciones de rehabilitación fluvial, aunque algunos de ellos no se han implementado, o su puesta en marcha no ha resultado efectiva.

El caso más claro es el de la figura del dominio público hidráulico (DPH). Con la entrada en vigor de la *Ley 29/1985 de Aguas* el agua pasa a considerarse como un bien de dominio público, cuya disponibilidad debe lograrse sin degradar el medio ambiente en general, y el recurso en particular. De esta manera, la norma establece un nuevo régimen jurídico del dominio público hidráulico. A través de su reglamentación de desarrollo (*Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminar I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas*), se define una zonificación en torno al DPH en la que se establecen una serie de regulaciones con una finalidad esencialmente proteccionista: preservar su estado, prevenir el deterioro de los ecosistemas acuáticos, contribuyendo a su mejora, y proteger el régimen de las corrientes en avenidas, favoreciendo la función de los terrenos colindantes con los cauces en la laminación de caudales y carga sólida transportada.

Su delimitación y deslinde supondría una buena base para proceder a una regulación más efectiva de las actividades realizadas en las proximidades fluviales, y para devolver espacio al río. Sería importante la consideración de los estudios realizados en base a la Directiva de Inundables, que incorporan características geomorfológicas y ecológicas para la determinación del DPH probable, ya que aportan información esencial para una adecuada delimitación.

Un caso particular dentro del área de estudio lo supone el canal de derivación del río Sar, que actualmente no está considerado como DPH. El hecho de haberse creado un canal de agua donde no existía, implica realizar el paso previo de afectación al DPH ante patrimonio.

Los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación<sup>49</sup> son una importante herramienta de gestión con influencia directa sobre los sistemas fluviales en el ámbito urbano, por ello sería positiva la consideración de actuaciones de rehabilitación fluvial que ayuden a maximizar la capacidad natural reguladora de los ecosistemas. En el caso de la DHGC no se han desarrollado de momento actuaciones específicas para cada una de las zonas en riesgo (ARPSIS).

#### *Carencias existentes en los instrumentos normativos*

Aunque hay varios aspectos positivos en cuanto a la limitación de usos establecida para las zonas de flujo preferente y para las zonas inundables, así como para los criterios de diseño de obras de paso, hay algunos otros con margen para la mejora.

Por una parte, en el *proyecto de Real Decreto para modificar el RDPH en materia de gestión de riesgos de inundación, caudales ecológicos, reservas hidrológicas y vertidos de aguas residuales*<sup>50</sup> se mantienen excepciones a las limitaciones constructivas en las zonas inundables y de flujo preferente. Están permitidos los nuevos desarrollos en suelo que haya sido clasificado como urbano con anterioridad a la entrada en vigor de la norma, o en aquellos términos

<sup>49</sup> Implementados en base a la Directiva 2007/60/CE, sobre la evaluación y gestión de los riesgos de inundación (Directiva de inundables)

<sup>50</sup> [http://www.magrama.gob.es/es/agua/participacion-publica/Agua\\_Modificacion\\_RDPH\\_julio.aspx](http://www.magrama.gob.es/es/agua/participacion-publica/Agua_Modificacion_RDPH_julio.aspx) (fecha de consulta: 19/12/2015).

municipales en los que más de 2/3 de su superficie se encuentre en zona de flujo preferente. Aunque se establecen algunos requisitos para no alterar la inundabilidad, estas excepciones pueden dificultar los procesos de rehabilitación fluvial al seguir limitando el espacio.

Por otra parte, las infraestructuras lineales subterráneas siguen suponiendo un obstáculo para la recuperación de la dinámica lateral (en el caso del tramo Sar\_PD\_Sector1, como se ha visto, supone una limitación para la recuperación de la llanura de inundación). Según la normativa únicamente se debe respetar la zona de servidumbre (normativa del PHGC 2015-2021), pero en la medida de lo posible, debería considerarse un margen suficiente para evitar la intervención del cauce con actuaciones de refuerzo para la protección de estas infraestructuras.

#### *Mejora del diagnóstico de los tramos fluviales urbanos*

Es necesario mejorar el conocimiento existente acerca del funcionamiento de los sistemas fluviales en los ámbitos urbanos. La aplicación de la DMA se basa en una buena identificación de las relaciones existentes entre las presiones y los impactos que causan sobre el ecosistema fluvial, y ello no puede llevarse a cabo sin el adecuado conocimiento sobre las respuestas del río ante la urbanización del territorio.

Los trabajos realizados para la valoración del estado de las masas de agua no abordan de momento una adecuada caracterización del sistema fluvial en ámbitos urbanos. Es necesario mejorar el detalle de las presiones inventariadas (como por ejemplo los aliviós e incorporaciones de caudales a las redes de saneamiento y las descargas de redes separativas) e incorporar la superficie impermeabilizada como indicador de perturbación.

En la misma línea, es fundamental la incorporación de la caracterización hidrogeomorfológica dentro del diagnóstico del funcionamiento fluvial a través de las herramientas disponibles (el IHG ha permitido realizar una buena caracterización de las zonas de estudio, y existe un protocolo de caracterización hidromorfológica en el que está trabajando el Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente<sup>51</sup>). Esta caracterización debe incluir, además de los aspectos relativos a la geomorfología fluvial y al régimen de caudales, las posibles repercusiones sobre las conexiones con el agua subterránea.

#### *Integración urbanística entre sistemas fluviales y ciudades*

Los factores de alteración que afectan al río Sar están presentes fundamentalmente porque determinados usos se han establecido en sus márgenes. Muchas de las actuaciones fluviales se han realizado para corregir los problemas generados por deficiencias en la planificación urbanística. El caso más evidente en el ámbito de este estudio lo supone el canal de derivación del río Sar en Padrón para evitar las frecuentes inundaciones que se producían en el núcleo urbano.

---

<sup>51</sup> [http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/protocolo\\_dic2015v1\\_tcm7-403945.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/protocolo_dic2015v1_tcm7-403945.pdf) (fecha de consulta 14/02/2016)

Son los criterios de ordenación territorial los que regulan y han regulado los desarrollos urbanos, sin la adecuada integración de los aspectos relativos a la protección de los sistemas fluviales. El desarrollo de las zonas urbanas de Santiago de Compostela y de Padrón se remonta a épocas más antiguas, en las que el desarrollo económico y demográfico no encontraba obstáculos dentro de otras disciplinas como la planificación hidrológica o la conservación de la naturaleza. En el caso de Ames, sin embargo, los nuevos desarrollos urbanos se han situado dentro del territorio del río a pesar de que ya se disponía de instrumentos de protección y ordenación del dominio público hidráulico.

Bien por fallos de integración de estas disciplinas, o bien por no haber considerado el funcionamiento del río en todas sus dimensiones (tradicionalmente sólo se ha considerado el aspecto hidráulico ligado a la capacidad de desagüe), los resultados han sido los de la degradación de los ecosistemas acuáticos y de los terrestres asociados a ellos.

Para una gestión sostenible, la ordenación de los espacios fluviales de las ciudades debe condicionarse a las estrategias de conservación del medio natural, incorporándose en la planificación urbanística y del territorio criterios que consideren la dinámica natural de los sistemas fluviales.

### Desafíos

#### *Coordinación entre técnicos y administraciones*

Para trabajar en la rehabilitación fluvial de tramos urbanos se necesita el trabajo conjunto, en primer lugar, de todas las administraciones que tienen algún tipo de competencia relacionada. Se hace necesaria la coordinación a dos niveles: vertical, el existir diferentes niveles de gobierno (local y autonómico), y horizontal, en tanto se requiere de la actuación no sólo de políticas de gestión hídrica, sino también de política territorial y urbanística.

Debe existir consenso acerca de los objetivos a perseguir, y ello supone todo un desafío teniendo en cuenta que los intereses de las diferentes administraciones son, en ocasiones, encontrados.

Por otra parte, se necesita el trabajo interdisciplinar de materias como la hidrología, geomorfología, ecología, química, etc., por lo que este encuentro de expertos procedentes de diversas áreas del conocimiento y con puntos de vista a menudo muy diferentes debe afrontarse bajo una actitud integradora.

#### *Integración de las ciencias sociales y la participación pública*

El trabajo realizado hasta aquí se ha basado en una parte de diagnóstico y comprensión de los mecanismos fluviales, así como la propuesta de objetivos y actuaciones basadas en la recuperación funcional del sistema. Ello requiere de rigurosidad técnica, pero a partir de este momento es la participación pública la única que puede garantizar el éxito de la rehabilitación.

Una participación pública de calidad, formada e informada, con la que se deben compartir conocimientos y ante la que se debe asegurar compromiso.

El río en el medio urbano es el mejor escenario práctico para la puesta en marcha verdaderas experiencias de participación ciudadana. La población debe acercarse al río, tomar conciencia de su estado, y materializar esa conciencia en forma de renunciias expresas a cambio de los beneficios que ofrecerá un río en mejor estado.

Se abre un camino para la integración de las ciencias sociales dentro del proceso. La relación histórica entre los habitantes de las tres zonas de estudio con el río Sar probablemente ha resultado en diferentes percepciones acerca de lo que el río significa para ellos. Proveedor de vivencias, de servicios, de espacio para el recreo, de valores ambientales, de amenazas... el análisis de lo que el río representa y cómo ello debe ser gestionado e incorporado al proceso de rehabilitación supone un nuevo reto dentro de la gestión del medio fluvial.

## 7. CONCLUSIONES GENERALES

La urbanización del territorio es un proceso en crecimiento. Esta transformación del uso del suelo conlleva una serie de modificaciones e intervenciones sobre el medio natural, con consecuencias sobre los sistemas fluviales. En la Demarcación Hidrográfica de Galicia-Costa la urbanización del suelo ha dado lugar a ríos sometidos a diferentes tipos de intervenciones, desde canalizaciones subterráneas convertidas en desagües de aguas residuales hasta paseos fluviales con un carácter más o menos natural. Poco se ha estudiado acerca de la repercusión de todas estas actuaciones sobre las características y funcionamiento de los sistemas fluviales, y de cuáles con las posibilidades que existen para su recuperación.

A través del estudio concreto del caso del río Sar se ha pretendido dar respuesta a la hipótesis planteada al inicio de este trabajo, en su doble vertiente: por una parte, conocer cómo la transformación urbana del territorio en las tres áreas más urbanizadas de la cuenca (Santiago de Compostela, Ames y Padrón) ha influido sobre la calidad del río Sar. Y por otra, explorar qué opciones se presentan para una rehabilitación fluvial.

Los resultados obtenidos en este proyecto permiten extraer las conclusiones que se exponen a continuación.

### En cuanto a la metodología:

- Las bases metodológicas empleadas para el desarrollo del estudio se demuestran válidas para la confirmación de la hipótesis de trabajo, al abordar una caracterización completa tanto de los posibles impactos sobre la calidad fluvial como de los posibles factores de alteración responsables. Sin embargo, su alcance se ha visto limitado debido a la ausencia de información para caracterizar determinados ámbitos de la calidad fluvial. Son necesarios estudios en mayor profundidad para obtener un diagnóstico más completo y preciso sobre el alcance de las afecciones que sufre el río como consecuencia de la urbanización, en particular sobre el régimen hidrológico y sobre la evolución temporal de variables geomorfológicas como la sección transversal de los cauces.

### En cuanto a los resultados obtenidos:

- Existe una afección sobre diversos ámbitos de la calidad fluvial del río a su paso por las zonas más urbanizadas de la cuenca. Las variables analizadas demuestran una alteración de la calidad fisicoquímica de las aguas y de aspectos hidrogeomorfológicos como la anchura, estructura y naturalidad de las riberas, la naturalidad de las márgenes de los cauces y de su movilidad lateral, y la funcionalidad de la llanura de inundación. La alteración de la calidad biológica viene determinada fundamentalmente por el deterioro de los hábitats físicos consecuencia de las alteraciones en el resto de los compartimentos fluviales.



- Estas alteraciones no se producen en la misma medida en todos los tramos estudiados, de forma que las afecciones se muestran más intensamente en los tramos con mayor ocupación física del espacio fluvial. Esto se ha podido constatar de modo particular en el caso de la zona de estudio de Santiago de Compostela.
- Se identifican como fuentes de alteración la propia ocupación física del suelo y su transformación en superficie impermeable, así como las intervenciones directas sobre el sistema fluvial derivadas de esa ocupación del espacio fluvial (por la presencia de elementos físicos y por determinadas prácticas como rectificaciones, desvíos y vertidos). Estos son, por tanto, los aspectos que definen el proceso urbanizador.

#### En cuanto a las posibilidades de rehabilitación fluvial:

- La imposibilidad de eliminar en su totalidad las causas de degradación identificadas hace que las consecuencias de la urbanización sean difícilmente reversibles. Limitaciones como la ocupación del espacio fluvial con infraestructuras y la necesidad de mantener la capacidad de evacuación condicionan las estrategias de rehabilitación fluvial, pero aun así, existe margen para la mejora.
- Las estrategias deben enfocarse hacia la actuación sobre el origen de la degradación. Ello supone actuar sobre la propia superficie urbana, permeabilizándola y gestionando de forma sostenible las aguas de escorrentía. Pero también actuar sobre las intervenciones directas, intentando eliminarlas o alejarlas del cauce. Sólo cuando ello no es posible entran en juego medidas para naturalizar el cauce y sus márgenes. Las iniciativas de rehabilitación fluvial que en todos estos ámbitos han empezado a desarrollarse en otros lugares constituyen un buen ejemplo de puesta en práctica, y demuestran que otro modo de actuar es posible.

#### En cuanto al desarrollo de trabajos futuros:

- Las necesidades y desafíos identificados en el presente estudio se transforman en oportunidades para el desarrollo de trabajos futuros. Es necesaria la integración de conocimientos técnicos para mejorar el diagnóstico de los sistemas fluviales en el ámbito urbano, así como el trabajo coordinado de las administraciones bajo el propósito común de la recuperación de los ecosistemas acuáticos. Pero también es necesaria la participación e implicación de la ciudadanía, lo que introduce en el escenario de trabajo la consideración de aspectos históricos, culturales y sociales que habrán configurado unas preferencias por ciertos modelos de actuación fluvial. La consecución de los objetivos ambientales que señala la DMA pasa necesariamente por la integración de todos estos aspectos.
- Más allá de actuaciones concretas, una rehabilitación fluvial integral requiere de la plena incorporación de los espacios fluviales dentro del modelo urbano, como ejes vertebradores de espacios públicos y del paisaje, y a su vez como conectores entre ciudades y zonas rurales. Ello abre opciones para la exploración de diferentes modelos de ciudad, capaces de conjugar la protección de los cauces, corredores ribereños y zonas

inundables con el desarrollo urbanístico. Si bien la implantación de los sistemas de saneamiento y depuración ha supuesto un primer paso de aproximación al río, superándose el concepto de “alcantarilla natural”, un segundo paso, su integración dentro del modelo urbano, es un trabajo todavía pendiente.

- Por último, trabajar sobre el diseño de espacios urbanos requiere de mayor investigación acerca de los diferentes modelos de gestión del saneamiento y del drenaje urbano. Habida cuenta de los impactos que producen sobre la calidad fluvial, conocer las opciones más respetuosas con los sistemas fluviales se manifiesta como un factor clave sobre el que trabajar dentro de la recuperación fluvial en el ámbito urbano.

### Una reflexión final

Las fuentes de alteración responsables de la degradación de los ríos de las áreas urbanizadas no aparecen como cuestiones físicas aisladas. Responden a formas de gestionar el territorio y los sistemas fluviales en las que a su vez intervienen múltiples factores (políticos, históricos, culturales, sociales...), y bajo las que no se ha atendido de forma adecuada la complejidad natural espacial y temporal de los ríos.

Ante la progresiva urbanización del territorio gallego, en especial de la Demarcación Hidrográfica de Galicia-Costa, abordar la vía de trabajo emprendida en este estudio se plantea como una oportunidad para evitar la degradación de los sistemas fluviales. Conocer las consecuencias de la urbanización sobre ellos es imprescindible para evitar la reproducción de errores cometidos en el pasado. Las prácticas de rehabilitación permiten mejorar el escenario presente, pero nunca conseguirán la recuperación completa del sistema natural. Por este motivo, es importante que en los nuevos desarrollos urbanos se incorpore desde etapas tempranas otra forma de entender los sistemas fluviales, como sistemas naturales complejos y diversos, proveedores de beneficios en la medida en que se le permita ser lo que son: ríos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alberti, M. (2010). Maintaining ecological integrity and sustaining ecosystem function in urban areas. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2(3), 178–184.
- Allen, G. P., Salomon, J. C., Bassoullet, P., Du Penhoat, Y., & de Grandpré, C. (1980). Effects of tides on mixing and suspended sediment transport in macrotidal estuaries. *Sedimentary Geology*, 26(1-3), 69-90.
- Alley, W. M., Healy, R. W., LaBaugh, J. W., & Reilly, T. E. (2002). Flow and storage in groundwater systems. *Science (New York, N.Y.)*, 296(5575), 1985-1990.
- Alonso, A., & Camargo, J. A. (2005). Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadora del estado ecológico de los ecosistemas fluviales españoles. *Ecosistemas*, 2005/3.
- Amigo, J., Guitián, J., & Fernández, J. A. (1987). Datos sobre los bosques ribereños de aliso (*Alnus Glutinosa*) cántabro-atlánticos ibéricos. *V Jornadas de Fitosociología. Vegetación de riberas de aguas dulce II.*, (22), 159-176.
- Amoros, C., & Petts, G. E. (1993). *Hydrosystèmes fluviaux*. París: Masson.
- Anta, J., Cagiao, J., Suárez, J., & Peña, E. (2009). Análisis de la movilización de sólidos en suspensión en una cuenca urbana separativa mediante la aplicación del muestreo en continuo de la turbidez. *Ingeniería del agua*, 32(3), 189-200.
- Anta, J., Peña, E., Suárez, J., & Cagiao, J. (2007). A BMP selection process based on the granulometry of runoff solids in a separate urban catchment. *Water SA*, 32(3), 419-428.
- Arizpe, D., Mendes, A., & Rabaca, J. E. (2008). *Áreas de ribera sostenibles. Una guía para su gestión*. Generalitat Valenciana.
- Baer, K. E., & Pringle, C. M. (2000). Special problems of urban river conservation: the encroaching megalopolis. En *Global perspectives on river conservation: Science, policy and practice*. John Willey & Sons Ltd.
- Ballarín, D., & Rodríguez, I. (2013). *Hidromorfología fluvial. Algunos apuntes aplicados a la restauración de ríos en la cuenca del Duero*. Confederación Hidrográfica del Duero (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).
- Ballesteros, P., Criado-Boado, F., & Andrade, J. (2006). Formas y fechas de un paisaje agrario de época medieval: A Cidade da Cultura en Santiago de Compostela. *Arqueología Espacial*, 26.
- Bernhardt, E. S., & Palmer, M. A. (2007). Restoring streams in an urbanizing world. *Freshwater Biology*, 52(4), 738-751.
- Bernhardt, E. S., Palmer, M. A., Allan, J. D., Alexander, G., Barnas, K., Brooks, S., ... Sudduth, E. (2005). Ecology. Synthesizing U.S. river restoration efforts. *Science*, 308(5722), 636-637.

- Booth, D. B. (2005). Challenges and prospects for restoring urban streams: a perspective from the Pacific Northwest of North America. *Journal of the North American Benthological Society*, 33(2), 724-737.
- Booth, D. B., Montgomery, D. R., & Bethel, J. (1996). Large Woody Debris in Urban Streams of the Pacific Northwest. En *Engineering Foundation Conference* (pp. 178-197). Utah.
- Brice, J. C. (1964). Channel patterns and terraces of the Loup Rivers. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 422D.
- Bunn, S. E., & Arthington, A. H. (2002). Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental management*, 30(4), 492-507.
- Carballa, M., Omil, J. M., Lema, J. M., Llombart, M., García, C., Rodríguez, I., Gómez, M. & Ternes, T. (2005). Behaviour of pharmaceuticals and personal care products in a sewage treatment plant of north-west Spain. *Water Sci Technol*, 52(8), 29-35.
- Chin, A. (2006). Urban transformation of river landscapes in a global context. *Geomorphology*, 79(3-4), 460-487.
- Chin, A., & Gregory, K. J. (2005). Managing urban river channel adjustments. *Geomorphology*, 69(1-4), 28-45.
- Chow, V. T. (1959). *Open-channel hydraulics*. New York: McGraw-Hill. 680 pp.
- Conesa, C. (1992). Trazados de baja y alta sinuosidad en ríos españoles. *Papeles de geografía*, 18, 9-29.
- del Río, H., Suárez, J., Puertas, J., & Ures, P. (2013). PPCPs wet weather mobilization in a combined sewer in NW Spain. *The Science of the total environment*, 449, 189-198.
- Díaz, E., & Ollero, A. (2005). Metodología para la calificación geomorfológica de los cursos fluviales de la cuenca del Ebro. *Geographicalia*, 44, 23-45.
- Eden, S., & Tunstall, S. (2006). Ecological versus social restoration? How urban river restoration challenges but also fails to challenge the science – policy nexus in the United Kingdom. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 24(5), 661-680.
- Elosegi, A., & Sabater, S. (2012). Effects of hydromorphological impacts on river ecosystem functioning: a review and suggestions for assessing ecological impacts. *Hydrobiologia*, 712(1), 129-143.
- Faustini, J. M., & Jones, J. A. (2003). Influence of large woody debris on channel morphology and dynamics in steep, boulder-rich mountain streams, western Cascades, Oregon. *Geomorphology*, 51, 187-205.
- Fernández, M., Lugilde, A., & Riveiro, D. (2014). Factores explicativos de la evolución reciente de la distribución de la población en Galicia. En *Internacional Conference on Regional Science: Financing and the role of the regions and towns in economic recovery*. Zaragoza.

- Findlay, S. J., & Taylor, M. P. (2006). Why rehabilitate urban river systems? *Area*, 38.3, 312-325.
- FISRWG (1998). Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices. *Federal Interagency Stream Restoration Working Group*.
- Freire, M. A., & Guitián, L. (2005). Caracterización de la vegetación en los ambientes ribereños del curso medio del río Ulla. *Xeográfica*, (5), 61-83.
- González del Tánago, M., & García de Jalón, D. (2007). *Restauración de Ríos. Guía metodológica para la elaboración de proyectos*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.
- González del Tánago, M., García de Jalón, D., & Román, M. (2012). River Restoration in Spain: Theoretical and Practical Approach in the Context of the European Water Framework Directive. *Environmental Management*, 50(1), 123-139.
- González, M. A., De La Lastra, I., & Rodríguez, I. (2007). *La urbanización y su efecto en los ríos*. Estrategia Nacional de Restauración de Ríos. Ministerio de Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Madrid.
- Gurnell, A., Lee, M., & Souch, C. (2007). Urban Rivers: Hydrology, Geomorphology, Ecology and Opportunities for Change. *Geography Compass*, 1(5), 1118-1137.
- Harrelson, C. C., Rawlins, C. L., & Potyondy, J. P. (1994). *Stream channel reference sites: an illustrated guide to field technique*. 245, 63 pp.
- Horacio, J. (2014). *Geomorfología fluvial en sistemas atlánticos: metodología de caracterización, clasificación y restauración para los ríos de Galicia*. Tesis Doctoral, Departamento de Geografía, Universidad de Santiago de Compostela. 565 pp.
- Ibisate, A., Acín, V., Granado, D., Ballarín, D., Sáenz de Olazagoitia, A., Ollero, A., Horacio, J., Herrero, X., Mora, D., Elso, J., Rey, K. (2015). Determinación de condiciones de referencia para la restauración de la morfología fluvial en ríos de Gipuzkoa. En *II Congreso Ibérico de Restauración Fluvial - RESTAURARIOS*. Pamplona, Navarra.
- ITOGH. (s. f.). Instrucciones Técnicas para Obras Hidráulicas en Galicia. Serie Saneamiento. *Xunta de Galicia*.
- Izco, J., Vázquez, J. A., & León, S. D. G. (2001). Análisis y clasificación de la vegetación de Galicia (España), II. La vegetación herbácea. *Lazaroa*, 21, 25-50.
- Landemaine, V., Gay, A., Cerdan, O., Salvador-Blanes, S., & Rodrigues, S. (2015). Morphological evolution of a rural headwater stream after channelisation. *Geomorphology*, 230, 125-137.
- Lara, F., Garilleti, R., & Calleja, J. A. (2007). *La vegetación de ribera de la mitad norte española* (2ª ed.). Madrid: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).
- Larson, M. G., Booth, D. B., & Morley, S. A. (2001). Effectiveness of large woody debris in stream rehabilitation projects in urban basins. *Ecological Engineering*, 18(2), 211-226.
- Lassette, N. S., & Kondolf, G. M. (2012). Large woody debris in urban stream channels: redefining the problem. *River Research and Applications*, 28(9), 1477-1487.

- Leopold, L. B. (1994). *A view of the river*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Leopold, L. B., & Wolman, M. G. (1956). River channel pattern braided, meandering and straight. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 282B, 39-85.
- Llopart-Mascaró, A., Ruiz, R., Martínez, M., Malgrat, P., Rusiñol, M., Gil, A., Suárez, J., Puertas, J., del Río, H., Paraira, M., Rubio, P. (2010). Analysis of rainwater quality: Towards sustainable rainwater management in urban environments - Sostaqua Project. En *Novatech*.
- Magdaleno, F., & Martínez, R. (2011). Marco metodológico para la restauración fluvial en el nuevo contexto normativo y técnico. *Marco metodológico para la restauración fluvial en el nuevo contexto normativo y técnico*, 4(25-30).
- Martínez-Cortizas, A., & Pérez-Alberti, A. (1999). Atlas Climático de Galicia. *Xunta de Galicia*.
- Mesa, L. M., Reynaga, M. C., Correa, M. del V, & Sirombra, M. G. (2013). Effects of anthropogenic impacts on benthic macroinvertebrates assemblages in subtropical mountain streams. *Iheringia. Série Zoologia*, 103(4), 342-349.
- Meyer, J. L., Paul, M. J., & Taulbee, W. K. (2005). Stream ecosystem function in urbanizing landscapes. *Journal of the North American Benthological Society*, 24(3), 602-612.
- Miall, A. D. (1977). *Fluvial sedimentology*. Calgar: Canadian Soc. of Petro. Geologist.
- Ministerio de Fomento (2015). *Las áreas urbanas 2015. Metodología utilizada para la determinación de las áreas urbanas*.
- Montgomery, D. R., & Buffington, J. M. (1997). Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *Geological Society of America Bulletin*, 109, 596-611.
- Morisawa, M. E. (1985). Rivers, Form and Process. *Geomorphology Texts*, 7, 222 pp.
- Mount, J. F. (1995). *California rivers and streams: The conflict between fluvial processes and land use*. University of California Press. Berkeley, California: University of California Press.
- Moyle, P. B. (1976). Some effects of channelization on the fish and invertebrates of Rush Creek, Modoc County, California. *Calif. Fish Game*, 62, 179-186.
- Mueller, J. E. (1968). An introduction to the hydraulic and topographic sinuosity indexes. *Annals of the Association of American Geographers*, 58, 371-385.
- Munné, A., Prat, N., Solá, C., Bonada, N., & Rieradevall, M. (2003). A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams. QBR index. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 13, 147-164.
- Negishi, J. N., Inoue, M., & Nunokawa, M. (2002). Effects of channelisation on stream habitat in relation to a spate and flow refugia for macroinvertebrates in northern Japan. *Freshwater Biology*, 47, 1515-1529.

- Nelson, S. M., & Lieberman, D. M. (2002). The influence of flow and other environmental factors on benthic invertebrates in the Sacramento River, U.S.A. *Hydrobiologia*, 489(1/3), 117-129.
- Newson, M. D., Harper, D. M., & Padmore, C. L. (1998). A cost-effective approach for linking habitats, flow types and species requirements. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 8, 431-446.
- Niezgoda, S. L., & Johnson, P. A. (2005). Improving the Urban Stream Restoration Effort: Identifying Critical Form and Processes Relationships. *Environmental Management*, 35(5), 579-592.
- O'Driscoll, M., Clinton, S., Jefferson, A., Manda, A., & McMillan, S. (2010). Urbanization Effects on Watershed Hydrology and In-Stream Processes in the Southern United States. *Water*, 2(3), 605-648.
- Ollero, A. (2009). Aplicación de índice hidrogeomorfológico IHG en la cuenca del Ebro. Guía metodológica.
- Ollero, A. (2015). *Guía metodológica sobre buenas prácticas en restauración fluvial. Manual para gestores. Versión 1.0*. Contrato del río Matarraña.
- Ollero, A., Ballarín, D., Díaz, E., Mora, D., Sánchez, M., Acín, V., Echeverría, M.T., Granado, D., Ibisate, A., Sánchez, L., Sánchez, N. (2008). IHG: Un índice para la valoración hidrogeomorfológica de sistemas fluviales. *Limnetica*, 27(1), 171-188.
- Ollero, A., Gimeno, M., Mora, D., Domenech, S., & Granado, D. (2011). The IHG index for hydromorphological quality assessment of rivers and streams: updated version. *Limnetica*, 30(2), 255-262.
- Ollero, A., Ibisate, A. I., García, J. H., Ferrer i Boix, C., Martín Vide, J. P., Acín, V., Ballarín, D., Díaz, E., Granado, D., Mora, D., Sánchez, M. (2011). Indicadores geomorfológicos para el seguimiento de la restauración fluvial. En *Congreso Ibérico de Restauración Fluvial RESTAURARÍOS*. León.
- Ollero, A., & Romeo, R. (2007). *Las alteraciones geomorfológicas de los ríos*. Estrategia Nacional de Restauración de Ríos. Ministerio de Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Madrid.
- Palmer, M. A., Allan, J. D., Meyer, J., & Bernhardt, E. S. (2007). River restoration in the twenty-first century: data and experiential knowledge to inform future efforts. *Restoration Ecology*, 15(3), 472-481.
- Palmer, M. A., Bernhardt, E. S., Allan, J., Lake, P. S., Alexander, G., Brooks, S., Carr, J., Calyton, S., Dahm, C.N., Follstad Shah, J., Galat, D.L., Loss, S.G., Goodwin, P., Hart, D.D., Hassett, B., Jenkinson, R., Kondolf, G.M., Lave, R., Meyer, J.L., O'Donnell, T.K., Pagano, L., Sudduth, E. (2005). Standards for ecologically successful river restoration. *Journal of Applied Ecology*, 42(2), 208-217.

- Palmer, M. A., Menninger, H. L., & Bernhardt, E. (2010). River restoration, habitat heterogeneity and biodiversity: a failure of theory or practice? *Freshwater Biology*, *55*(1), 205-222.
- Pardo, I., Álvarez, M., Casas, J., Moreno, J. L., & Vivas, S. (2002). El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat. *Limnetica*, *21*(3-4), 115-133.
- Paul, M., & Meyer, J. (2001). Streams in the Urban Landscape. *Ecology and Systematics*, *32*(1), 333-365.
- Pedersen, M. L., Kristensen, K. K., & Friberg, N. (2014). Re-Meandering of Lowland Streams: Will Disobeying the Laws of Geomorphology Have Ecological Consequences? *PLoS ONE*, *9*(9), e108558.
- Petts, J. (2006). Managing public engagement to optimize learning: Reflections from urban river restoration. *Human Ecology Review*, *13*(2), 172-181.
- Postel, S., & Richter, B. (2003). *Rivers for life. Managing water for people and nature*. Island Press. Washington: Island Press.
- Precedo, A., Míguez, A., & Fernández, M. I. (2008). Galicia: el tránsito hacia una sociedad urbana en el contexto de la Unión Europea. *Revista Galega de Economía*, *17* (num. extraordinario).
- Puertas, J., Díaz-Fierros, F., Suárez, J., & Jácome, A. (1998). Reboses del alcantarillado en Santiago de Compostela. Su incidencia en la calidad del agua del río Sar. *Tecnología del agua*, (182), 33-45.
- Puertas, J., Suárez, J., & Anta, J. (2008). *Gestión de las aguas pluviales. Implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano*. CEDEX.
- Quinn, J. M., Williamson, R. B., Smith, R. K., & Vickers, M. L. (1992). Effects of riparian grazing and channelisation on streams in Southland, New Zealand. 2. Benthic invertebrates. *New Zealand J. Mar. Freshwater Res.*, *26*, 259–273.
- REFCOND. (2003). *Rivers and Lakes – Typology, Reference Conditions and Classification Systems. Guidance document n°10. European Commission Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC)*. Working Group 2.3 – REFCOND.
- Rios, S. L., & Bailey, R. C. (2005). Relationship between Riparian Vegetation and Stream Benthic Communities at Three Spatial Scales. *Hydrobiologia*, *553*(1), 153-160.
- Rivas-Martínez, S. (1977). Datos sobre la vegetación nitrófila española. *Acta Botanica Malacitana*.
- Rocha, J., & Alves, E. (2004). *Urban River Basin Enhancement Methods: New Techniques for urban river rehabilitation. How to re-naturalise flow regimes*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Rodríguez-Guitián, M. A., & Ramil-Rego, P. (2007). Clasificaciones climáticas aplicadas a Galicia: revisión desde una perspectiva biogeográfica. *Recursos Rurais, Revista oficial do Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvimento Rural (IBADER)*, *3*, 31-53.



- Rosal, R., Rodriguez, A., Perdigón-Melón, J. A., Petre, A., García-Calvo, E., Gómez, M. J., Agüera, A., Fernández-Alba, A. R. (2010). Occurrence of emerging pollutants in urban wastewater and their removal through biological treatment followed by ozonation. *Water Research*, 44(2), 578-588.
- Ruíz-Villanueva, V., Peñuela, E., Ollero, A., Díez-Herrero, A., Gutiérrez, I., Caetano, D., Perucha, M.A., Piégay, H., Stoffel, M. (2015). Perception of in-stream wood related to floods in Mountain Rivers in the Iberian Peninsula. En *Third International Conference on Wood in World Rivers*. University of Padova, Italy.
- Sauvé, S., & Desrosiers, M. (2014). A review of what is an emerging contaminant. *Chemistry Central Journal*, 8(15).
- Schanze, J., Olfert, A., Tourbier, J. T., Gersdorf, I., & Schwager, T. (2004). *Urban River Basin Enhancement Methods: Existing Urban River Rehabilitation Schemes*. Dresden: Leibniz Institute of Ecological and Regional Development & Dresden University of Technology.
- Schumm, S. A. (1963). *A tentative classification of alluvial river channels*. US Geological Survey circular. 477 pp.
- SNCZI. (2011). *Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Soar, P. J., & Thorne, C. R. (2001). *Channel restoration design for meandering rivers*. US Army Corps of Engineers. 416 pp.
- Suárez, J., Puertas, J., Anta, J., Jácome, A., & Álvarez-Campana, J. M. (2014). Integrated management of water resources in urban water system: Water Sensitive Urban Development as a strategic approach. *Ingeniería del Agua*, 18(1), 107-119.
- Uncles, R., & Stephens, J. A. (1993). The freshwater-saltwater interface and its relationship to the turbidity maximum in the Tamar estuary, United Kingdom. *Estuaries*, 16(1), 126-141.
- Urbonas, B. R. (2001). Linking stormwater BMP designs and performance to receiving water impact mitigation. En *ASCE/EWRI Proceedings of the Engineering Foundation Conference*. Snowmass Village, Colorado.
- Vannote, R. L., Wayne-Minshall, G., Cummins, K. W., Sedell, J. R., & Cushing, C. E. (1980). The river continuum concept. *Canadian journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(1), 130-137.
- Violin, C. R., Cada, P., Sudduth, E. B., Hassett, B. A., Penrose, D. L., & Bernhardt, E. (2011). Effects of urbanization and urban stream restoration on the physical and biological structure of stream ecosystems. *Ecological Applications*, 21(6), 1932-1949.
- Walsh, C. J. (2004). Protection of in-stream biota from urban impacts: minimize catchment imperviousness or improve drainage design? *Marine and Freshwater Research*, 55, 317-326.

- Walsh, C. J., Roy, A. H., Feminella, J. W., Cottingham, P. D., Groffman, P. M., & Morgan II, R. P. (2005). The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure. *Journal of the North American Benthological Society*, 24(3), 706-723.
- Walsh, C. J., Fletcher, T. D., & Ladson, A. R. (2005b). Stream restoration in urban catchments through redesigning stormwater systems: looking to the catchment to save the stream. *Journal of the North American Benthological Society*, 24(3), 690-705.
- Ward, J. V., Tockner, K., Arscott, D. B., & Claret, C. (2002). Riverine landscape diversity. *Freshwater Biology*, 47(4), 517-539.
- Werrity, A. (1997). Short-term changes in channel stability. En *Applied fluvial geomorphology for river engineering and management* (pp. 47-65). Wiley.
- Wohl, E. (2013). Floodplains and wood. *Earth Science Reviews*, 123, 194-212.
- Wohl, E., Angermeier, P. L., Bledsoe, B., Kondolf, G. M., MacDonnell, L., Merritt, D. M., Palmer, M.A., Leroy Poff, N., Tarboton, D. (2005). River restoration. *Water Resources Research*, 41, 1-12.
- Wolman, M. G., & Leopold, L. B. (1957). River flood plains: some observations on their formation. *USGS Professional Paper*, 282C.
- Xunta de Galicia (2006). *Especies Exóticas Invasoras en Galicia: diagnóstico da situación actual e proposta de liñas de actuación. 2º informe. Análise preliminar das especies exóticas invasoras en Galicia.*
- Xunta de Galicia (2007). *Plantas invasoras de Galicia. Bioloxía, distribución e métodos de control.*

## **ANEXOS**

**Anexo I.- Resultados de las campañas de campo**

**Anexo II.- Procesado de las variables geomorfológicas**