

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES

GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



**ESTUDIO SOBRE LA RENATURALIZACIÓN
DE RÍOS EN EUROPA Y SU POSIBLE
APLICACIÓN AL RÍO VINALOPÓ A SU PASO
POR LA CIUDAD DE ELCHE**

TRABAJO FIN DE GRADO

Diciembre-2021

AUTOR: JOSÉ MANUEL AGULLÓ MARTÍN

TUTOR: JOSÉ NAVARRO PEDREÑO

CODIGO COIR: TFG.GCA.JNP.JMAM.211018

Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente

Área de Edafología y Química Agrícola

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer la ayuda inestimable que me ha prestado en la realización del presente Trabajo Final de Grado al Catedrático de Universidad Don Jose Navarro Pedreño por su aportación y motivación. También me gustaría hacer partícipe de ellos al resto de profesorado del Grado en Ciencias Ambientales de la Universidad de Elche por todo lo que me han enseñado y lo que me han transmitido durante estos años, pero lo más importante que me llevo de ellos a parte de sus conocimientos ha sido su cercanía y comprensión a la hora de abordar todos los retos a los que me he enfrentado.

A mi familia en especial a mi mujer que sin su apoyo no podría haberlo logrado y mis hijos que me lo han dado todo y siguen mimándome y apoyándome cada día.

Todas las personas que han sido aquí citadas han colaborado en la consecución del Trabajo de Fin de Grado. Unos, directamente conmigo en la elaboración del mismo, y otros, transformando los días en momentos únicos. Cada página ha tenido una parte de vosotros, porque todas ellas están dedicadas a vosotros.

Título: Estudio sobre la renaturalización de ríos en Europa y su posible aplicación al río Vinalopó en su paso por la ciudad de elche.

Resumen: Se han estudiado y revisado diferentes casos de renaturalización de ríos europeos y los resultados obtenidos, así como la legislación actual en Europa y España, para su posible aplicación al río Vinalopó a su paso por la ciudad de Elche en la provincia de Alicante (España). Destaca, por un lado, la actual Estrategia Nacional Española de Restauración de Ríos que tiene como fin último la mejora del estado ecológico de todos los cursos fluviales españoles, siendo de obligado cumplimiento la Directiva Marco del Agua, Directiva 2000/60/CE (DMA). Por otro, los proyectos de rehabilitación y renaturalización de ríos dependen mucho de las condiciones ambientales y el entorno donde se desarrollan.

Palabras clave: Renaturalización, estado ecológico, funciones ecosistémicas, gestión de riesgos y Directiva Marco del Agua

Abstract:

Several cases of renaturation of European rivers have been studied and reviewed and the results obtained, as well as the current legislation in Europe and Spain, for their possible application to the Vinalopó river which crosses the city of Elche in the province of Alicante (Spain). On the one hand, the current Spanish National Strategy for the Restoration of Rivers stands out, whose ultimate goal is to improve the ecological status of all Spanish river courses, under the Water Framework Directive (DMA), Directive 2000/60/CE being mandatory. On the other hand, the rehabilitation and renaturation projects of rivers depend a lot on the environmental conditions and the environment where they are developed.

Keywords: Renaturation, ecological status, ecosystem functions, risk management and Water Framework Directive.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	Pag-4
1.1. Marco legal.....	Pag-5
1.2. Estrategia nacional de restauración de ríos.....	Pag-6
1.3. Funciones ecosistémicas y diversidad de los ríos.....	Pag-8
2. FINALIDAD Y OBJETIVOS.....	Pag-10
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	Pag-11
4. RESULTADOS	Pag-13
4.1. Ejecución del Proyecto de disminución del riesgo de inundación y mejora del estado ecológico de los ríos Júcar y Moscas a su paso por Cuenca.....	Pag-13
4.2. Confluencia del rio Arga y el Aragón cerca de Funes.....	Pag-15
4.3. Implementación del plan hidrológico de Cuenca del Duero en el Centro-Sur de la cuenca del Duero	Pag-18
4.4. Renaturalización del río Aire (Ginebra)	Pag-19
4.5. Renaturalización del río Isar en Múnich (Baviera, Alemania).....	Pag-21
4.6. Renaturalización del río Thur (Suiza)	Pag-23
4.7. Antiguo canal de hormigón del río Kallang	Pag-27
4.8. Sinopsis de estrategias utilizadas	Pag-29
4.9. Propuesta de aplicación al río Vinalopó a su paso por la ciudad de Elche...Pag-31	
5. DISCUSIÓN	Pag-36
6. CONCLUSIONES Y PROYECCIÓN FUTURA	Pag-38
7. BIBLIOGRAFÍA.....	Pag-39

1. INTRODUCCIÓN

Con la aprobación en la Comisión de Transición Ecológica y Reto Demográfico del Congreso de los diputados en España el día 17 de junio de 2021 de una Proposición No de Ley (161/002738), para promover la renaturalización de los tramos urbanos de los ríos, con el fin de aumentar la capacidad de resiliencia de las ciudades frente al cambio climático y mejorar la calidad de vida de las personas, se abre una nueva ventana para la renaturalización de nuestros ríos. Esta situación es de obligado cumplimiento por la Directiva Marco del Agua, Directiva 2000/60/CE (González del Tánago, 2012).

Las intervenciones de renaturalización favorecen un aspecto más natural de los cauces y que exista una mayor diversidad tanto de flora como de fauna en los ríos, sin olvidar las peculiaridades del entorno urbano en el que se proyectan. A su vez, los proyectos de restauración y renaturalización de cauces son críticos para mejorar la salubridad de las aguas (Palmer et al., 2007).

Es por ello que las renaturalizaciones no son estrictamente la vuelta al estado natural original, sino que se pretende su aplicación bajo el prisma del desarrollo sostenible, pero acorde a las características y problemáticas propias de los lugares donde se proyectan (Graciano, 2009). Algunos de estos retos son la eliminación de obstáculos artificiales tales como presas, cimentaciones de suelos, canalizaciones,..., logrando una dinámica más natural entre la interfase tierra-agua (Graciano, 2009).

Muchos de los ríos europeos han sido de gran importancia para el desarrollo económico, social e industrial y como consecuencia se vieron afectados por la actividad antropogénica para la generación de energía, transporte, piscicultura y otras actividades. Estos cambios generaron también un patrimonio cultural y surge la necesidad de integrar esta dimensión histórica a las limitaciones ecológicas actuales que presentan los ríos (Müller & Koll, 2005).

Es necesario alcanzar un equilibrio, una solución satisfactoria, entre servicios ecosistémicos y utilización de los recursos. integrando los distintos tipos de proyectos que se puedan ejecutar, tales como los biológicos, químicos, físicos o visuales; (Bernhardt et al., 2007). En estas relaciones entre los ríos y su entorno, no se debe

olvidar la estrecha relación con los suelos y ambos, con los ciclos geológicos (Elizalde, 2009).

1.1 Marco legal

La disposición más importante en materia de aguas en los últimos años es la Directiva Marco del Agua, Directiva 2000/60/CE (DMA), que nace con un doble objetivo: por un lado, evitar la continua degradación de los recursos hídricos junto con la rehabilitación de los sistemas acuáticos y, por otro lado, se propone un consumo sostenible de agua inspirado en principios de protección de los recursos a largo plazo. Tras la entrada en vigor de la DMA, los Estados Miembros de la Unión Europea adquieren una serie de obligaciones, cuyo calendario se muestra a continuación.

Tabla 1. Calendario de implantación de obligaciones tras la aprobación de la DMA 2000/60/CE.

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino (2010).

HITOS DIRECTIVA 2000/60/CE	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
TRANSPOSICIÓN FORMAL	█												
ESTUDIOS DE PRESIONES E IMPACTOS	█	█											
ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS USOS DEL AGUA	█	█											
ESTABLECIMIENTO DE OBJETIVOS MEDIOAMBIENTALES			█	█									
PROGRAMAS DE CONTROL OPERACIONAL			█	█	█								
INFORMACIÓN Y CONSULTA PÚBLICA			█	█	█	█							
ELABORACIÓN DE PROGRAMAS Y MEDIDAS					█	█							
ELABORACIÓN DE PLANES DE GESTIÓN DE DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS					█	█							
IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMAS DE MEDIDAS								█	█				
APLICACIÓN DE LOS PLANES HIDROLÓGICOS								█	█	█	█	█	█
CONSECUCCIÓN DE OBJETIVOS MEDIOAMBIENTALES								█	█	█	█	█	█

Otra Directiva Europea de especial trascendencia, que entró en vigor el día 26 de noviembre de 2007, es la Directiva sobre la Evaluación y Gestión de los Riesgos de Inundación (Directiva 2007/60/CE), que parte de la máxima de que hay que aprender a vivir con las inundaciones, respetando el espacio de los ríos y estableciendo como principio la gestión del riesgo, uno los aspectos fundamentales que debe abordar un país moderno como el nuestro y que afecta especialmente al sureste de España.

La Directiva 2007/60/CE indica que para disponer de una herramienta de información eficaz y de una base adecuada para el establecimiento de prioridades y la toma de decisiones relativas a la gestión del riesgo de inundación, es necesario estimular la elaboración de mapas de peligrosidad por inundaciones y de mapas de riesgo de inundación que muestren las potenciales consecuencias adversas asociadas a diversos

escenarios de inundación. Para evitar y reducir los impactos adversos de las inundaciones se establecerán planes de gestión del riesgo de inundación, en los que las medidas no estructurales serán la pieza clave de los mismos.

El calendario de aplicación de la Directiva 2007/60/CE es el siguiente (Tabla 2)

Tabla 2. Hitos fundamentales de la Directiva Evaluación y gestión de riesgos 2007/60/CE.
Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino (2010).

HITOS DIRECTIVA 2007/60/CE	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
TRANSPOSICIÓN FORMAL									
ADOPCIÓN DE FORMATOS TÉCNICOS PARA LA EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL RIESGO DE INUNDACIONES									
EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL RIESGO DE INUNDACIÓN									
ADOPCIÓN DE FORMATOS TÉCNICOS PARA REALIZACIÓN DE LOS MAPAS DE PELIGROSIDAD Y DE RIESGO									
MAPAS DE PELIGROSIDAD POR INUNDACIONES Y MAPAS DE RIESGOS DE INUNDACIÓN									
ADOPCIÓN DE FORMATOS TÉCNICOS PARA PLANES DE GESTIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN									
PLANES DE GESTIÓN DE RIESGOS DE INUNDACIONES									

La Política de la Unión Europea en materia de conservación de la naturaleza parte de la base de considerar la diversidad biológica de la Unión como un patrimonio común, sobre el que existe una responsabilidad de conservación y es regulada por la Directiva Hábitats 92/43/ CEE. Esta es junto con las anteriores, una de las directivas más relevantes que también deben de considerarse a la hora de los procesos de renaturalización de los cauces, incluidos aquellos situados dentro de los entornos urbanos.

1.2 Estrategia Nacional de Restauración de Ríos

La Estrategia Nacional de Restauración de Ríos en primer lugar, establece su finalidad última y concreta en la recuperación de los cauces fluviales, así como los principios en que debe asentarse de acuerdo a la intención perseguida, justificando su contenido, la importancia y los métodos a seguir propuestos. La Estrategia Nacional de Restauración de Ríos debe tener como fin último la mejora del estado ecológico de todos los cursos fluviales españoles, y ser un elemento más dentro de los programas de medidas que se lleven a cabo en los ríos, en los próximos años, integrados en los respectivos Planes Hidrológicos de Cuenca (Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, 2010).

Con este objetivo general, la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos se concibe como un conjunto de actuaciones encaminadas a iniciar un “proceso de cambio en la

gestión de los sistemas fluviales”, a través del cual se pueda lograr la mejora del estado ecológico de los ríos e integrar, cada vez en mayor medida, la participación social.

Este proceso de cambio propuesto en la gestión de los sistemas fluviales no puede realizarse de inmediato, sino que requiere un tiempo de asimilación de las nuevas ideas y conceptos, por lo que es necesario comenzar lo antes posible con su implantación y tratar de acelerar el conocimiento y adopción de los principios que lo sustentan, intentando detener los procesos y amenazas de degradación ambiental de los ríos y ganar tiempo en su recuperación ecológica, con el apoyo social (Buijs, 2009).

En la *Figura 1* se presentad el esquema del proceso que trata de impulsar la estrategia de restauración propuesta, a través del cual se pueda pasar de un estado actual antropizado de los ríos, con un grado variable de deterioro, a un estado ecológico bueno, teniendo en cuenta los fundamentos que deben inspirar dicha estrategia, centrados por una parte en los principios científicos que rigen el funcionamiento de los ríos en condiciones naturales y, por otra, en los objetivos y requerimientos de la Directiva Marco del Agua.



Figura 1. Estrategia Nacional de Restauración de Ríos, con el objetivo de lograr el buen estado ecológico de los cursos fluviales a través de actuaciones con base científica promovidas por la Directiva Marco del Agua. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino (2010).

Los principios científicos aludidos van a permitir valorar el estado actual de los ríos y diferenciar lo que todavía queda en buen estado y lo que está alterado con diferentes niveles de degradación, mientras que los principios de la DMA, reforzados por la más

reciente Directiva Europea sobre Evaluación y Gestión de los Riesgos de Inundación del 23 de octubre de 2007 (Directiva 2007/60/CE), van a propiciar una gestión más integrada y multidisciplinar de los ecosistemas fluviales, fomentando su recuperación.

1.3 Funciones ecosistémicas y diversidad de los ríos

Los ríos son ecosistemas dinámicos, complejos e integradores, con múltiples conexiones con otros ecosistemas. El caudal y la calidad de las aguas, son posiblemente, las variables más importantes de los ríos puesto que definen su morfología y estructura, su diversidad biológica y las tasas de sus procesos ecosistémicos.

La diversidad y abundancia de formas de vida en ríos, reflejan millones de años de evolución y adaptación a ciclos naturales y a las fluctuaciones del caudal. Es por ello que la actividad antropogénica en materia de infraestructuras, ha disminuido la conectividad y mermado el régimen de caudal de los ríos, con la consecuente pérdida de biodiversidad. Estos hechos ponen de manifiesto la necesidad de implantar caudales ecológicos con los que se favorezca la recuperación de la biodiversidad, la vida de los peces que de manera natural y la vegetación autóctona en las riberas (Encalada, 2010).

A finales del siglo XIX, ríos como el Támesis, se encontraban altamente contaminados y fueron foco de atención por los científicos que comprendieron que la degradación se debía a que los ríos no eran solo “tuberías llenas de agua” que cómodamente transportan los desechos y la contaminación al mar, sino que además del agua y otros agentes químicos disueltos, existían en los ríos organismos que habitaban y habían evolucionado en estos ecosistemas (Hardach, 2015). Los organismos, que pudieron sobrevivir a la contaminación (hongos, bacterias y algunos invertebrados), estaban descomponiendo el material orgánico y desechos que los seres humanos vertían en su cauce. Es decir, desde el siglo XIX, se empezó a considerar a los ríos, y otros cuerpos de agua dulce, como ecosistemas únicos, con un ensamblaje de especies diverso y donde se realizaban procesos ecosistémicos cruciales para el funcionamiento del planeta.

Los ríos se originan en las altas montañas, bajan por valles y recorren llanuras extensas y zonas de inundación hasta llegar a su desembocadura en el mar. A su paso drenan los terrenos de las cuencas hidrográficas por donde cruzan, y acarrear la signatura química

de la litología y de los suelos, que lavan y erosionan. A lo largo de este continuo, desde su origen hasta su desembocadura, el caudal del río se incrementa de forma natural.

Los ríos son, en definitiva, ecosistemas dinámicos, complejos e integradores, con múltiples conexiones con otros ecosistemas: longitudinales (conexión río arriba - río abajo), laterales (conexión con la cuenca hidrográfica, suelos y vegetación de la ribera) y verticales (conexión con las aguas subterráneas y las precipitaciones).

Las conexiones longitudinales y laterales se reflejan en uno de los principales procesos ecosistémicos de los ríos, que es el transporte y procesamiento de materiales en suspensión, químicos y otros nutrientes que mantienen los ciclos biogeoquímicos del planeta. Por otro lado, los ríos reciben constantemente material orgánico, ya sea de origen antropogénico (como residuos) o de origen natural (como la hojarasca), y a lo largo de este continuo transforma la materia orgánica (por descomposición), principalmente a cargo de organismos heterótrofos acuáticos, como bacterias saprofitas y hongos. De esta manera, los ríos, a través de su flujo de corriente, turbulencia y procesos de descomposición, tienen la capacidad de auto-purificar sus aguas, con un cierto límite que, si se traspasa, deriva en problemas de contaminación difíciles de solucionar. Así mismo, existen organismos fotosintéticos que mantienen las complejas redes tróficas en estos ecosistemas, la mayoría de ellos microscópicos, como las algas perifíticas (Zapata Anzola y Donato Rondon, 2005).

En resumen, en su estado natural, los ríos cumplen diversas funciones ecosistémicas como provisión de agua para los seres humanos, depuración de aguas, control de inundaciones y sequías, mantenimiento de hábitat para peces, aves y otra vida silvestre, mantenimiento de los flujos de sedimentos, nutrientes y salinidad de estuarios. Los ríos reciben, almacenan y transportan el agua de lluvia y este caudal, tanto en riachuelos de montaña como en grandes planicies de inundación, fluctúa de acuerdo a ciclos naturales y a la estacionalidad de cada región. La diversidad y abundancia de formas de vida en los ecosistemas lóticos reflejan millones de años de evolución y adaptación a estos ciclos naturales y a las fluctuaciones del caudal.

2. FINALIDAD Y OBJETIVOS

Este trabajo de fin de grado tiene la finalidad de estudiar casos de renaturalizaciones en ríos y la posible aplicación de las técnicas aprendidas en dichos proyectos, al cauce del río Vinalopó a su paso por la ciudad de Elche y de esta manera, tener como objetivo recuperar los valores ambientales perdidos y devolver las funciones ecosistémicas que debería poseer este sistema fluvial.

Los ríos son fuente de nutrientes, grandes contenedores y transportadores de biodiversidad, corredores de vida entre las partes altas y las bajas de una cuenca. Pero al mismo tiempo, bien conservados, ofrecen una gama de servicios, sin coste, a la sociedad tal y como se ha comentado: abastecimiento de agua limpia, control de plagas, laminación de avenidas, control de la erosión, regulación climática, pulmones de aire limpio, espacios para la educación, para la ciencia, para actividades recreativas, para la recuperación del acervo cultural de las ciudades... o simplemente para el disfrute estético, como la contemplación, sin más (Parrilla Domínguez et al., 2021).

Para conseguir la finalidad de este estudio, los objetivos específicos de este trabajo fin de grado son:

- Análisis del marco legislativo actual y de la bibliografía existente.
- Estudio de casos de renaturalización en España y países de nuestro entorno europeo.
- Enumeración de las principales estrategias empleadas en procesos de renaturalización
- Propuesta y análisis de las posibilidades de aplicación al río Vinalopó en su tramo urbano de Elche.
- Elaboración de conclusiones.

3. MATERIALES Y METODOS

La metodología empleada ha consistido, en primer lugar, en la revisión bibliográfica y de algunos casos relevantes, y se ha caracterizado por la utilización de datos secundarios como fuente de información. Se ha pretendiendo encontrar soluciones a los problemas de renaturalización de ríos por una doble vía:

- 1) Relacionando datos ya existentes que proceden de distintas fuentes documentales.
- 2) Proporcionando una visión panorámica y sistemática de la problemática sobre la renaturalización de los ríos.

Una de las principales ventajas del método bibliográfico es que permite cubrir una amplia gama de fenómenos y datos ya que abarca una realidad espacio-temporal mucho más dilatada. Un posible inconveniente es que puede existir la duda sobre la calidad de las fuentes bibliográficas. Para paliar esta dificultad se han contrastado los datos, materiales e informaciones y las condiciones concretas en que han sido obtenidos los datos, tratando de comprobar la inexistencia de incoherencias o contradicciones. Se han utilizado varias fuentes distintas, cotejándolas cuidadosamente, pero básicamente bases de datos de editoriales científicas y ministeriales. En síntesis, la investigación bibliográfica ha consistido en la búsqueda, recopilación, organización, valoración, crítica e información de datos bibliográficos.

En segundo lugar, una vez analizados diferentes casos de renaturalización en el ámbito europeo y nacional, considerados como exitosos por su aplicación y resultados obtenidos, se procede a la elaboración síntesis y de propuestas que puedan ser adaptadas al río Vinalopó a su paso por la ciudad de Elche.

En esta parte, la metodología se basa en la aplicación de ejemplos a la resolución de problemas, es decir, el uso del conocimiento experimental adquirido y su posible aplicación en un nuevo marco de actuación.

En este sentido, esta segunda parte del trabajo fin de grado, persigue plasmar la filosofía que emana del análisis inicial del estado de la cuestión que se presenta como introducción de este estudio, que parte tanto de las directrices europeas como de la trasposición de las mismas a España, considerando en este sentido como fuente de

información principal los datos del Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico (MITECO).

Finalmente, una vez evaluados casos de renaturalización y control de cauces fluviales y las posibilidades de su aplicación al medio urbano de la ciudad de Elche, se discuten sus ventajas e inconvenientes, considerando el uso de la estrategia DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades), sintetizado para el caso del río Vinalopó, un medio altamente antropizado y con un cauce profundamente alterado como es el que transcurre por el casco urbano en Elche.

4. RESULTADOS

En primer lugar, se analizan de forma breve, siete casos de renaturalización y de actuación sobre cauces fluviales que presentan distintas estrategias, que son analizadas y sintetizadas a continuación.

4.1 Ejecución del Proyecto de disminución del riesgo de inundación y mejora del estado ecológico de los ríos Júcar y Moscas a su paso por Cuenca.

Dicho proyecto está dentro de los Planes PIMA (Plan de Impulso al Medio Ambiente), que la Confederación Hidrográfica del Júcar y la Dirección General del Agua de Castilla-La Mancha promovieron, y dirigieron la redacción del proyecto indicado en el tramo urbano de la ciudad de Cuenca donde confluyen ambos cauces (MITECO (a), 2021)

Entre los objetivos generales del proyecto se pretendía la mejora de la conectividad fluvial, la disminución de riesgo de inundación, fundamentalmente la zona residencial-hospitalaria de la margen derecha (figura 2), la mejora de la vegetación de ribera y la restauración del medio combinándolo con el fomento del uso público sostenible y dando continuidad a actuaciones realizadas en la ciudad aguas arriba.



Figura 2. Vista de la crecida del Júcar en diciembre de 2019 a su paso por Cuenca. Fuente: MITECO (a) (2021).

Las actuaciones proyectadas tenían un plazo de ejecución de 18 meses y son las que a continuación se enumeran:

- 1) Movilización de la mota del margen derecho a la altura del hospital, junto con la adecuación y recuperación.
- 2) Retirada de la mota de margen izquierda.
- 3) Retirada de escombros y residuos existentes en la zona, adecuación y restitución topográfica.
- 4) Conformación de cauces de alivio hacia las embocaduras de las obras de drenaje bajo el terraplén.
- 5) Obra de estabilidad frente a procesos erosivos de escollera en el pie del talud de la ronda Oeste.
- 6) Mejora de la sección hidráulica crítica aguas abajo de la confluencia de los ríos.
- 7) Tratamientos selvícolas sobre la vegetación existente, revegetación y ayuda al desarrollo del bosque potencial de ribera. Restauración y adecuación del cauce del río Moscas en el tramo entre la ronda Oeste y la confluencia con el Moscas.
- 8) Habilitación y dotaciones tanto para el uso público del espacio fluvial como para la interpretación y educación ambiental del entorno.



Figura 3. Planta General de Actuaciones. Fuente: MITECO (a) (2021).

En la figura 2 se puede comprobar la eficacia de la obra durante un episodio de crecida del río Júcar a consecuencia de la borrasca Fabian de diciembre de 2019. Gracias al

retranqueo de las obras de defensa frente a inundaciones en el entorno del hospital de Recoletas de Cuenca y a la mejora de la capacidad de drenaje del cauce, se pudo evitar la entrada de agua en el propio hospital, a diferencia de lo ocurrido en crecidas de años anteriores, donde las plantas bajas del citado hospital resultaban afectadas por la inundación. Por tanto, una actuación de restauración fluvial y recuperación de las riberas, la vegetación y la capacidad de drenaje de los suelos, permitió afrontar una situación debida a un evento meteorológico extremo que derivó en un incremento de agua en el cauce, evitando las inundaciones que se venían produciendo con anterioridad. En este caso destaca el acondicionamiento mecánico del cauce del río y recuperación de espacios de ribera.

4.2 Confluencia del río Arga y el Aragón cerca de Funes

Este ha sido un proyecto pionero que tuvo como fin reducir el riesgo de inundación de la población de Funes, al igual que en el caso anterior, devolviendo al río Arga unas condiciones cercanas a las naturales, recuperando la conexión del meandro Soto Sardillas, todo ello en el contexto de adaptación al cambio climático en el que nos encontramos. No debemos olvidar las funciones ecosistémicas de los sistemas fluviales y su relación con la vegetación, el secuestro de carbono y el posible almacenamiento en los suelos de ribera. Este proyecto se realizó en dos fases y al que habrá que sumar una tercera que está en vías de presupuestar (MITECO (b, c y d), 2021).

Los objetivos prioritarios eran reducir el riesgo de inundación del núcleo urbano de Funes y Villafranca y renaturalizar la confluencia de los ríos Arga y Aragón, para que se convirtiera en un espacio fluvial de calidad, rico en biodiversidad y que permitirá recuperar hábitats apropiados para la fauna autóctona.

La solución adoptada apuesta por recuperar el meandro de Soto Sardillas, en el tramo bajo del río Arga (término municipal de Funes), esperando que esta acción mejore la calidad de las aguas y los hábitats para la fauna silvestre, además de la llanura de inundación para reducir velocidad y erosión. Para ello se utilizan técnicas como la creación de pequeños humedales de lámina permanente similares a los que existían por estos sotos ribereños y que habían desaparecido (Kondolf, 2006).

En la primera fase se trató de paliar la degradación de los valores naturales del curso bajo del río Arga a lo largo de las últimas décadas como consecuencia de su encauzamiento mediante la construcción de cortas y de motas de tierra que implican el abandono de antiguos meandros además de la desaparición parcial de la vegetación de sus riberas. Por ello, la reconexión de estos meandros del Arga fue una de las primeras propuestas de actuación de la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos.

El proyecto de Conexión hidrológica y mejora de hábitats en los meandros del tramo bajo del río Arga, persiguen recuperar espacio fluvial para el río Arga, con anchura suficiente para que pueda desarrollar sus funciones y poder instaurar un nuevo corredor ribereño con más continuidad, complejidad y diversidad, todo ello compatibilizándolo con las actividades humanas, la disminución del riesgo de inundación y con el mantenimiento, conservación y mejora de los hábitats existentes para el visón europeo.

En esta primera fase, incluida en el Plan PIMA-Adapta-Agua 2016, y ya finalizada, se han ejecutado actuaciones en el antiguo meandro de Soto Sardilla en el río Arga, junto a su confluencia con el río Aragón, en el Término Municipal de Funes (Navarra), abarcando unos 2 kilómetros de longitud.



Figura 4. Apertura del cauce en la salida del meandro - cauces trenzados. Fuente: MITECO (c) (2021).



Figura 5. Recuperación llanura inundación - humedal L1. Fuente: MITECO (c) (2021).

Las actuaciones de esta primera fase comprendieron:

- Apertura del cauce en la salida del meandro (figura 4).
- Mejora de la calidad de las aguas en el meandro, mediante la retirada de fangos acumulados en el cauce abandonado procedente de un antiguo vertido.

- Recuperación de la llanura de inundación en la que se incluye la retirada de escollera en la confluencia del Arga y Aragón. También se han realizado actuaciones puntuales de protección de taludes (figura 5).
- Naturalización de las zonas de intervención y mejora de hábitats fluviales y para el visón europeo mediante reforestación, de forma compatible con cultivos agrícolas y cultivo de chopos, y la creación de humedales e islas generados a partir de excavaciones irregulares en el terreno.

La fase 2 permitió seguir avanzando en la recuperación del corredor ribereño en la conservación y mejora de los hábitats existentes, especialmente para el visón europeo (*Mustela lutreola*), especie muy amenazada que encuentra en los ríos Arga y Aragón refugio para sus poblaciones y en la disminución del riesgo de inundación, que ya se ha hecho evidente en las primeras avenidas tras la ejecución de la fase 1.



Figura 6. Fangos - trabajos retirada. Fuente MITECO (c) (2021).



Figura 7. Fangos-construcción diques auxiliares. Fuente: MITECO (c) (2021).

Los principales trabajos que se ejecutaron son los siguientes:

- Mejora de la calidad de las aguas en el meandro mediante la retirada de los fangos acumulados en el mismo (Figura 6).
- Recuperación de la llanura de inundación, mediante la retirada de los rellenos efectuados durante las obras de canalización, continuando los trabajos de la fase 1.
- Recuperación de un antiguo meandro puesto en cultivo, mediante la retirada de los rellenos efectuados y la construcción de un brazo que conectará la madre vieja del Arga con el río Aragón.

- Naturalización de las zonas de intervención mediante la plantación de especies vegetales de ribera propias de la zona.
- Construcción de dos humedales adaptados a los requisitos biológicos del visón europeo, que se añaden a los tres ya ejecutados en la primera fase.
- Descanalización del río Arga, aguas abajo del núcleo urbano de Funes, y retranqueo de los diques de defensa protegiendo los elementos en riesgo como el polígono industrial (Figura 7).
- Reposiciones de servicios afectados, como acequias, caminos, y el azud y el parque de Las Mesicas.

Sin lugar a dudas, de esta actuación, lo más destacable es la recuperación de los sotos como elementos para recuperar la biodiversidad y mejorar el entorno y, de forma muy destacada, recuperación de llanuras de inundación que permiten laminar y controlar las avenidas.

4.3. Implementación del plan hidrológico de Cuenca del Duero en el Centro-Sur de la cuenca del Duero.

Este es un proyecto englobado en el LIFE RBMP-DUERO, cofinanciado por la Comisión Europea a través del Programa **LIFE-IP 2016** “Medio ambiente – Agua” (MITECO (c), 2021).

El proyecto LIFE RBMP-DUERO tiene como objetivo principal respaldar el cumplimiento de la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE), la Directiva de Tratamiento de Aguas Residuales (91/271/CEE), la Directiva de Aguas Subterráneas (2006/118/CE), la Directiva de Inundaciones (2007/60/CE) y la Directiva Hábitats (92/43/CEE), mediante la implementación del Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero.

El proyecto implementará el Plan Hidrológico en tres subcuencas (ríos Trabancos, Zapardiel y Arevalillo), en las cuales no se alcanza el buen estado ecológico. Las medidas a implantar se enfocarán en resolver problemas como el mal estado de las masas de agua, la contaminación difusa y vertidos de aguas residuales, la sobreexplotación de las

aguas subterráneas, la restauración de ríos y humedales, la pérdida de biodiversidad y el riesgo de inundaciones y sequías, todo ello bajo la variable del cambio climático.

Los objetivos específicos del proyecto consisten en la restauración de unos 80 km de tramos fluviales; consecución del buen estado ecológico de las masas de agua; mejora de la continuidad fluvial actuando sobre barreras existentes, establecimiento de una estrategia de recuperación de humedales y su posterior aplicación en humedales del ámbito territorial del proyecto, mejora de la recarga de acuíferos, creación de nuevas actividades económicas relacionadas con el ecoturismo, reducción del riesgo de inundaciones, creación de nuevas áreas recreativas, redacción de un borrador de Plan de Adaptación al Cambio Climático para una subcuenca y creación de nuevas áreas forestales, mejorando la Red Natura 2000, entre otras.

En este caso es un proyecto de gran envergadura, que persiguió entre otros fines, actuaciones que mejorarán la calidad de las aguas, su depuración y aprovechamiento para recarga de acuíferos, reconectando los ríos (aguas superficiales) con las aguas subterráneas a través de las zonas húmedas y la recuperación de las riberas. Afectó a 154 municipios y una superficie próxima al tamaño de la provincia de Alicante.

4.4 Renaturalización del río Aire (Ginebra)

En cuanto a actuaciones fuera del ámbito nacional, comenzamos por resumir la realizada en el río Aire, que atraviesa valles históricamente dedicados a la agricultura en Suiza. A partir de finales del siglo XIX, el cauce se canalizó progresivamente. En 2001, el estado de Ginebra abrió un concurso con la idea de restaurar el río a su forma original destruyendo el canal de cemento y hormigón. En cambio, se propuso una alternativa para combinar el canal con un vasto espacio de “divagación” para el río, es decir, de cauce sin ajustar a un marco estricto, para que el río fuera actuando y recuperándose según su discurrir natural.

El proceso de renaturalización fue adjudicado al Grupo Superposiciones y los arquitectos encargados fueron Julien Descombes y Marco Rampini (Atelier Descombes Rampini, 2016), el canal se convierte en el centro de las transformaciones, asumiendo el rol de convertirse en una línea de referencia que da la posibilidad de comprender el antes y el

después de los cambios experimentados. Un devenir que se superpone a ambas situaciones del cauce del río y sus numerosas transformaciones (figura 8).



Figura 8. Patrón en forma de diamante. Fuente: Atelier Descombes Rampini (2016).

La justificación oficial del programa de renaturalización fue ecológica. Sin embargo, el proyecto propuso un camino alternativo, donde los cambios ecológicos urgentes se incorporarán e insertan dentro de un cambio cultural más amplio. La compleja organización del diseño del nuevo trazado, en diamante, asocia al nuevo espacio fluvial con una serie lineal de jardines en el antiguo canal (figura 9) consiguiendo que todo el diseño en el antiguo cauce se convierta en un jardín lineal.



Figura 9. Jardines en el antiguo canal. Fuente: Atelier Descombes Rampini (2016).

Conscientes del esfuerzo inútil de diseñar un lecho fijo y conscientes de que a un río generalmente discurre y traza su cauce libremente, se propuso un patrón cuya forma aborda el juego entre el flujo del río y el terreno preparado. Este patrón en forma de diamante (figura 10) abre una serie compleja de canales indeterminados para los flujos.

Estos canales se excavaron a lo largo de todo el nuevo trazado del río, eliminando la capa superficial, manteniendo un control preciso del perfil longitudinal del río. Las dimensiones de estas islas de rombos se configuraron intentando emular los tamaños generales de los antiguos meandros. El resultado es bueno, aun habiéndose efectuando intervenciones claramente artificiales en una situación natural, luego dejada a merced de las fuerzas naturales y la evolución propia rediseñada por las aguas.



Figura 10. Canales indeterminados para el flujo. Fuente: Atelier Descombes Rampini (2016).

En este caso, el diseño basado en la intervención de los arquitectos del taller mencionado (Atelier Descombes Rampini), y sobre la base de la estética, ha tenido finalmente un resultado desde el punto de vista ambiental positivo, aun no siendo la idea básica perseguida por estos arquitectos. Por ejemplo, no parece razonable la eliminación de la capa superficial del nuevo lecho, eliminando suelo, que sin embargo se utilizó parcialmente en el nuevo diseño del cauce de cemento y hormigón anterior. Por otro lado, se necesita espacio del que no suele disponerse en cauces que quedan encorsetados dentro del medio urbano, siendo esta una actuación en un área periurbana de la que sí dispone de dicho espacio, pero no suele ser habitual ya que los ríos en tramos urbanos suelen ir encorsetados por el trazado de la propia población.

4.5 Renaturalización del río Isar en Múnich (Baviera, Alemania)

El río Isar se encontraba canalizado en todo su recorrido por la ciudad de Múnich. Se buscó el retorno a una imagen naturalizada del cauce y las riberas, con los objetivos de garantizar y mejorar la protección frente a inundaciones, la recuperación del buen estado ecológico del río, la recuperación de las orillas para el ocio y actividades de recreo y la mejora de la calidad del agua.

Se centró en un total de 8 km del río desde la zona sur de la periferia, aguas arriba, hasta la isla del museo en el centro de la ciudad, donde se sitúa el *Deutches Museum*. Dentro de este tramo se encuentra la zona denominada *Flaucher*, área que se puede considerar como la única que había mantenido un aspecto natural, y que sirve como modelo para los objetivos del nuevo proyecto de recuperación.

El proyecto se abordó en tres fases y tramos, la primera como parte experimental para verificar las soluciones incorporadas, en la segunda se siguieron criterios similares a la anterior y para la tercera y más complicada (centro de la ciudad), se realizó un modelo hidráulico previo a escala 1:30 para ver las repercusiones.

En conjunto se consiguió dar más espacio al río, se aportaron sedimentos de grava y se diseñaron islas, se eliminaron las defensas de hormigón antiguas y se escondieron y enterraron nuevos diques y conducciones, se desarmaron vigas soleras, se naturalizaron rampas y se establecieron planos de bloques de piedra (figura 11).



Figura 11. Río Isar en Múnich. Fuente: fotografías de Foto FrauHau (flickr).

Los resultados han sido excelentes, lográndose todos los objetivos previstos. El río ha iniciado el movimiento de materiales de forma natural, modificando el cauce, generando la sensación en el ciudadano de estar en plena naturaleza aun estando cerca del centro neurálgico de la ciudad (figura 11).

El resultado es un río naturalizado con ciertas zonas transitables con mínimas condiciones de seguridad para la práctica de ciertos deportes, y otras zonas más contemplativas y de respeto absoluto de la dinámica del río.

Es el proyecto más emblemático de rehabilitación fluvial urbana en Europa. Destaca la aplicabilidad de todo su proceso metodológico, en el que hubo fases de prueba y varias revisiones. Además, todo partió de un consenso ciudadano y por tanto de una concienciación colectiva. Se trabajó con la comunidad para definir qué espacios conservar en las condiciones tradicionales y cuáles cambiar para poder fusionar con la idea de rehabilitación fluvial. Es muy interesante el hecho de que el río está totalmente integrado en la ciudad, no hay vacíos ni espacios intermedios (Espinosa, 2012; Sopena 2013).

Sin lugar a dudas, la situación de este río, salvando las distancias y el entorno ambiental, es extrapolable al modelo que se podría aplicar en ciudades como Elche, en particular dos aspectos: la metodología empleada en el proceso de restauración y la concienciación ciudadana.

4.6 Renaturalización del río Thur (Suiza)

El presente estudio de renaturalización del río Thur fue llevado a cabo por Paillex et al. (última consulta en línea el 21 de noviembre de 2021), del Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Acuáticas, concretamente con los departamentos de Análisis de Sistemas, Evaluación y Modelado Integrados, Recursos Hídricos y Agua Potable y Ciencias Sociales Ambientales de Dübendorf (Suiza). Es una actuación que se enmarca dentro de una visión multidisciplinar.

Con su nacimiento en los Alpes y su desembocadura cerca de las cataratas del Rin, el Thur fue una vez un río trenzado dinámico que fluye a través de la meseta suiza. Sin embargo, para ganar tierra cultivable y disminuir los impactos de las inundaciones, la mayor parte del río estaba restringido a un canal recto y único y rodeado de altos diques a finales del siglo XIX.

Hoy día somos conscientes de que las construcciones humanas por sí solas no pueden evitar los impactos de las inundaciones y ha de haber una simbiosis entre la naturaleza con su papel protector contra las inundaciones y su estado ecológico al mismo tiempo. Esta es la filosofía que emana del proyecto de renaturalización de este río.

El río Thur está situado en el noreste de Suiza. Es un río de tierras bajas de 130 km de longitud y con un área de captación de 1730 km², y desemboca en el río Rin. Es un río

en sus inicios libre de presas y embalses artificiales, que mostraba fluctuaciones en el nivel del agua como sucede en los ríos alpinos no regulados. Sin embargo, este río ha sido regulado para abastecer a la agricultura y la protección contra inundaciones. A pesar de esta situación, se implementó el programa de renaturalización para rehabilitar el río en un tramo de 2 km (ver punto verde en la figura 12).

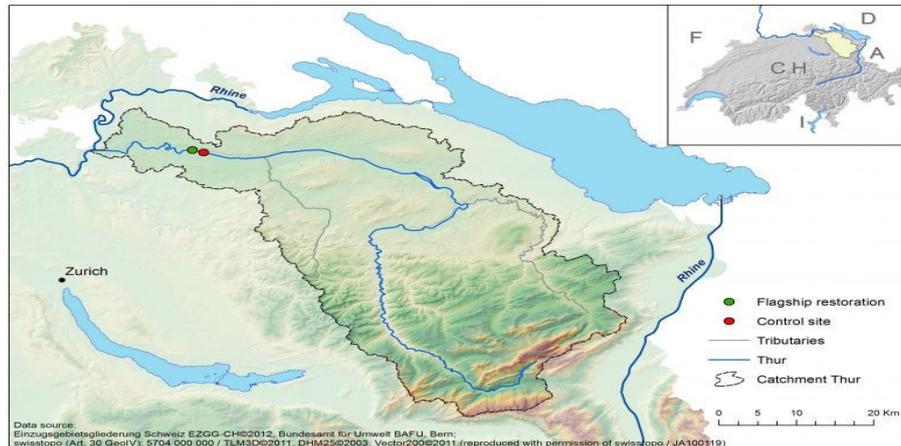


Figura 12. Mapa de localización Fuente: <https://reformrivers.eu/news/297>

Antes de la actuación de la ingeniería fluvial de 1890, el río se trenzaba, las barras de grava eran frecuentes, las islas estaban presentes, el bosque aluvial natural acompañaba al río. La complejidad y heterogeneidad de los hábitats se mantuvieron por la dinámica natural del propio río. Su regulación creó un canal monótono rodeado de altos diques y acompañado de terraplenes que fijaban el lecho del río. Se ganaron nuevas tierras agrícolas detrás de los diques para la producción de cultivos, y entre los diques y los terraplenes para el pastoreo. Al mismo tiempo, los pueblos y las ciudades estaban mejor protegidos de los eventos de inundación.

Estas intervenciones humanas tuvieron consecuencias directas sobre las condiciones hidromorfológicas, el funcionamiento del ecosistema y su biodiversidad. Las barras de grava desaparecieron, las especies ribereñas características se volvieron raras, las especies relacionadas con las llanuras aluviales desaparecieron y la complejidad del sistema se redujo en gran medida (figura 13).



Figura 13. A. Thur encarnado, que fluye desde los pre Alpes suizos. B. Terraplens dispuestos a lo largo del cauce del río (flecha naranja) para estabilizar el río y fijar su forma. C. Terraplens a lo largo del río (flecha naranja inferior) seguidos de una superficie estrecha disponible para la alimentación de animales domésticos (flecha roja), y limitados por diques altos (flecha naranja superior) con superficies agrícolas o bosques detrás de los diques. El mismo esquema es válido para ambos lados del río. Fuente: <https://reformrivers.eu/news/297>

Una sección de 1,5 km del río y su llanura de inundación fue restaurada intensivamente. El río se ensanchó a un lado del canal principal del río. Los terraplens a lo largo del lado derecho del río se eliminaron para proporcionar más espacio al río en un área donde los diques ya estaban ausentes antes de la restauración (figura 14). Se agregaron estructuras artificiales adicionales para mejorar la capacidad del río para trenzar. Se esperaba que los procesos dinámicos regresaran, con patrones naturales de erosión y deposición, una mejor conexión entre el canal principal del río y la llanura de inundación, y la recreación de canales secundarios. La renaturalización y la estabilización del lecho del río también permitió extraer agua potable filtrada en el sedimento (Schirmer et al., 2014).

En general, se esperaba con esta actuación un aumento de la diversidad de hábitats fluviales y terrestres, lo que llevaría a un aumento de la riqueza y diversidad biótica, tanto en el río como en las orillas.

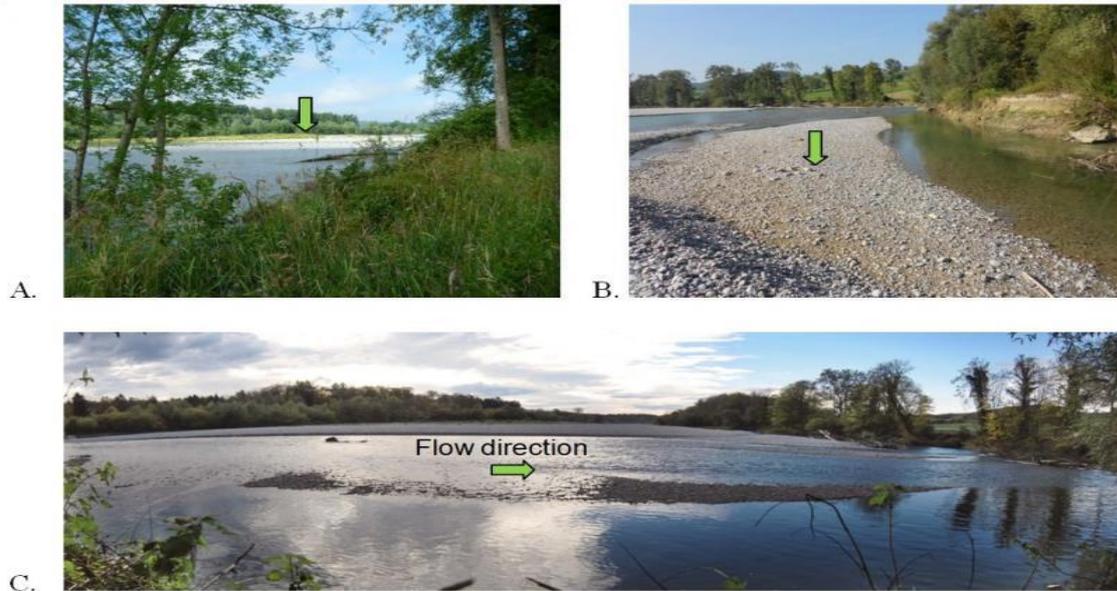


Figura 14. A. Barra de grava recreada en el lado izquierdo del río (flecha verde) y presencia de madera dentro del canal principal del río. B. Parte del sitio restaurado con el canal principal del río a la izquierda de la foto, un cuerpo de agua estancado y un bosque aluvial a la derecha con barras de grava entre (flecha verde). C. Vista aguas abajo desde la parte media del sitio restaurado. Fuente: <https://reformrivers.eu/news/297>

Como resultado de la restauración del río, podemos observar que se recrearon barras de grava, aparecieron canales secundarios y ahora coexisten zonas de erosión y deposición a la escala del alcance restaurado. Menos visibles, pero medibles con métodos apropiados, son las mejoras biológicas en el alcance restaurado en comparación con los tramos regulados. La riqueza en invertebrados bentónicos, peces, escarabajos de tierra, vegetación acuática y vegetación de llanuras aluviales ha aumentado en la sección restaurada (véase tabla 3).

Tabla 3. Número de taxones observados en un río Thur degradado y restaurado. Fuente: <https://reformrivers.eu/news/297>

INDICADORES	DEGRADADO	RESTAURADO
INVERTEBRADOS BENTONICOS	39	47
PECES	7	10
ESCARABAJOS DE TIERRA	3	13
VEGETACIÓN ACUÁTICA	3	9
VEGETACIÓN RIBEREÑA	3	29

Destaca de manera muy clara la recuperación de la biodiversidad en el tramo renaturalizado, en contraste con los tramos que persisten encauzados y regulados, siendo el mismo río.

4.7 Antiguo canal de hormigón del río Kallang

Una vez analizados los ejemplos anteriores, sin querer incluir nuevos en este TFG para adecuarlo a lo establecido para los trabajos fin de grado en cuanto a su extensión, se tomó la decisión de incluir un ejemplo ajeno al ámbito europeo ya que su similitud con el río Vinalopó a su paso por la ciudad de Elche es muy notable.

El estudio fue realizado por el Chandrashekhara (2012) sobre el río Kallang de Singapur, el río más largo de este pequeño estado (figura 15). Es un río de 10 km de longitud que se origina en el embalse de *Lower Pierce* en el oeste y fluye hacia el sur para encontrarse con el mar cerca de *Marina Barrage*. Este río tiene muy poca agua durante la época seca. Durante la época lluviosa, el nivel del agua crece rápidamente pudiendo ocasionar inundaciones. Para tener un control efectivo de las inundaciones, la parte occidental del río se transformó en un canal de hormigón con un pequeño canal en el fondo para el flujo de agua durante la época seca que posee una gran similitud con el río Vinalopó (figura 16).



Figura 15. Antiguo canal de hormigón del río Kallang.
Fuente: Chandrashekhara (2012).



Figura 16. Río Vinalopó a su paso por la ciudad de Elche.
Fuente: elaboración propia

Sin embargo, la destrucción del ecosistema natural del río causada por tal disposición similar a un canal de riego, es bien conocida.

La recuperación de un lecho natural del río también puede hacer que el área sea paisajísticamente atractiva, ya que se pueden desarrollar parques y áreas de recreo a lo largo del lecho del río, compatibilizándolas con sus funciones ambientales. Por ello se desarrolló un proyecto para la transformación del antiguo canal de hormigón del río Kallang en un río renaturalizado con riberas, utilizando diferentes variedades de plantas y materiales para el lecho (figura 17). Lo que se intentó fue integrar el lecho natural del río con un parque para que la vía fluvial se volviera accesible al público, de manera que se pudiera disfrutar junto con la restauración del ecosistema del río y los servicios que ofrece.



Figura 17. Bordes de río mostrando el uso de diferentes variedades de plantas y materiales. Fuente: Chandrashekhara (2012).

Inicialmente, se creó un banco de pruebas para probar diferentes métodos para la estabilización de bancos laterales (figura 18), metodología que en alguna manera sigue la renaturalización efectuada en Múnich.

Para la restauración del lecho del río, quizás la tarea más desafiante fue la estabilización de las laderas en las orillas del río. Las técnicas de bioingeniería se utilizan comúnmente para la estabilización de taludes en los países europeos. Gracias a los resultados del banco de pruebas en *Bishan Park*, se pudo monitorizar el rendimiento de dicho sistema en sus climas tropicales. Se decidió la técnica más adecuada, después de tener en cuenta

la pendiente de la orilla del río, el tipo de plantas, así como las actividades recreativas planificadas en las proximidades.

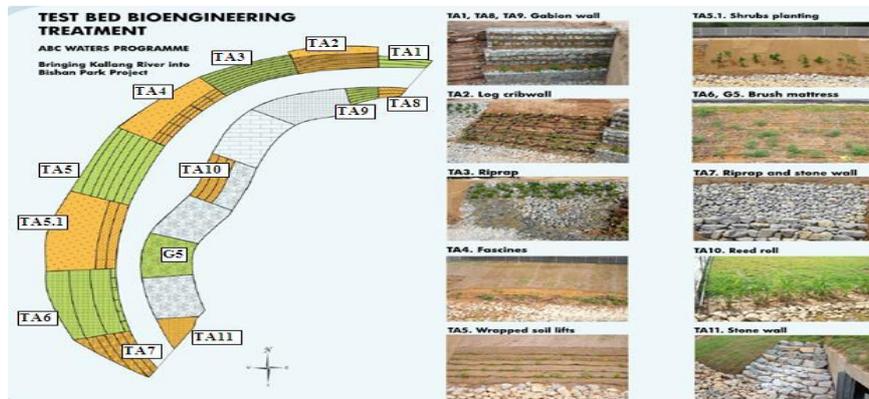


Figura 18. Banco de pruebas para la estabilización de bancos laterales. Fuente: Chandrashekhara (2012).

En el banco de pruebas, de 60 metros de longitud, se probaron aproximadamente 10 tipos diferentes de técnicas. El flujo del río se desvió al banco de pruebas para simular los flujos durante el clima seco y durante las fuertes lluvias. Se decidió que el lecho de hormigón existente sería reemplazado por el que diera mejores resultados. Después de un período de monitoreo de 6 meses, el diseño para la naturalización del canal se finalizó a partir de los datos recopilados en dichos ensayos.

En este sentido, las estrategias utilizadas para poder controlar el lecho y los laterales del río, son muy interesantes desde el punto de vista de la situación similar de partida a la existente en el río Vinalopó.

4.8 Sinopsis de estrategias utilizadas

Las estrategias se han adaptado a cada caso en particular, lo cual es la primera de las conclusiones más relevantes. En el caso europeo, siempre se debe tener presente el marco legal que regula y de obligado cumplimiento como es la Directiva Marco de Aguas (DMA) que tiene un doble objetivo: por un lado, evitar la continua degradación de los recursos hídricos junto con la rehabilitación de los sistemas acuáticos y, por otro lado, un consumo sostenible de agua inspirado en principios de protección de los recursos a largo plazo.

Las estrategias de los casos citados se han centrado en: a) la mejora de la conectividad fluvial, b) la disminución de riesgo de inundación y sequías, c) la mejora de la vegetación de ribera, d) el uso y adaptación de espacios para laminación de avenidas y control de inundaciones, e) resolver problemas como el mal estado de las masas de agua, la contaminación difusa y los vertidos de aguas residuales, f) evitar la sobreexplotación de las aguas subterráneas. Todo ello está bajo la perspectiva del cambio climático y la restauración del medio combinado con el fomento del uso público sostenible para lograr espacios fluviales de calidad, ricos en biodiversidad y que permitan recuperar hábitats apropiados para la fauna y flora autóctonas.

El éxito de la restauración de un río depende de que se usen las especies adecuadas. La biodiversidad adecuada para la renaturalización puede ser detectada en otras partes cercanas del río que no están afectadas por las modificaciones antrópicas (Sundermann et al., 2011).

Las diferentes estrategias y técnicas empleadas, teniendo presente las casuísticas de los diferentes ríos han sido muy diversas, indicando algunas de las más importantes a continuación:

- La retirada de los fangos acumulados.
- Plantación de especies vegetales de ribera propias de la zona.
- Creación de humedales e islas generados a partir de excavaciones irregulares en el terreno.
- Conformación de cauces de alivio hacia las embocaduras.
- Obras de estabilidad frente a procesos erosivos.
- Llanuras de inundación.
- Naturalización de las zonas de intervención y la creación de humedales e islas generados a partir de excavaciones irregulares en el terreno.
- “Descanalización” del río (eliminación de cauces de cemento y hormigón).
- Otras actuaciones, entre ellas las de ensayos previos a escala para testar las actuaciones antes de su ejecución.

Todas estas estrategias serían deseables que partieran de un consenso ciudadano como es el caso de Múnich y Ginebra. En este último, se abrió un concurso con la idea de restaurar el río a su forma original destruyendo el canal. Finalmente se propuso combinar el canal con un vasto espacio nuevo para el río.

De esta forma ciencia y ciudadanía podrían alcanzar un punto de partida y trabajar para definir qué espacios conservar en las condiciones naturales tradicionales y cuáles cambiar para poder fusionar con la idea de renaturalización fluvial. El éxito de las estrategias de renaturalización en zonas urbanas depende de la aceptación de los ciudadanos.

4.9 Propuesta de aplicación al río Vinalopó a su paso por la ciudad de Elche

Es necesario planificar la reordenación del territorio y su futura relación con el medio ambiente urbano ya que se convertirá en la expresión espacial de las políticas económicas, sociales, culturales y ecológicas de la sociedad de Elche. La ordenación del territorio es una disciplina científica, técnica administrativa y una política concebida como un enfoque interdisciplinario y global, cuyo objetivo es un desarrollo equilibrado de las regiones y la organización física del espacio según un concepto rector. En el caso de la existencia de cauces fluviales en los espacios urbanos, como así sucede en Elche, la expresión de estas políticas pasa necesariamente por adaptar dichos espacios y en la medida de lo posible, integrar las estrategias de renaturalización emanadas de la DMA.

De las estrategias comentadas con anterioridad, la propuesta más evidente para el Vinalopó sería la eliminación de la solera de hormigón y el encauzamiento central y en la medida de lo posible, los taludes laterales, pero se ha de estudiar la orografía del cauce, la litología y los suelos de las riberas que determinan dichos taludes. En las figuras 19 y 20 podemos observar el estado actual del cauce en el año 2021.

La eliminación de la solera de hormigón es lo más deseable, poniendo en contacto el lecho del río con el entorno y concretamente con la posibilidad de depuración de las aguas en relación con el subsuelo. Por el contrario, la eliminación de los taludes laterales puede no ser aconsejable en muchas zonas, dado el perfil abrupto y la inestabilidad de las laderas, que presentan algunos materiales poco consistentes y muy erosionables, y

que es evidente en la parte superior de estos taludes en algunas zonas del río a su paso por el casco urbano (véanse las figuras 21 y 22).



Figura 19. Estado actual río Vinalopó a su paso por la ciudad de Elche. Fuente: elaboración propia.



Figura 20. Estado actual río Vinalopó a su paso por la ciudad de Elche. Fuente: elaboración propia.



Figura 21. Estado actual taludes superiores del Vinalopó a su paso por la ciudad de Elche. Fuente: elaboración propia.



Figura 22. Estado actual taludes superiores de río Vinalopó a su paso por la ciudad de Elche. Fuente: elaboración propia.

Esta inestabilidad es presente y notoria en el Molino Real, ubicado sobre los taludes del río Vinalopó (véanse las figuras 23 y 24).



Figura 23. Estado actual Molino Real. Fuente: elaboración propia.



Figura 24. Estado actual Molino Real. Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, se encuentran integrados en ellos diferentes infraestructuras de evacuación de aguas pluviales que podrían verse afectadas (figuras 25 y 26). Sería deseable acompañar estas obras con un sistema de recogida de aguas pluviales que suelen ir acompañadas de residuos y contaminación urbana y su derivación a tratamientos de depuración.



Figura 25. Infraestructuras de evacuación de aguas. Fuente: elaboración propia.



Figura 26. Infraestructuras de evacuación de aguas. Fuente: elaboración propia.

Se aconsejaría la no eliminación de los taludes inferiores de mampostería y la estabilización de los taludes superiores, con técnicas de hidrosiembra y realización de obras similares que los pudieran estabilizar. En la solera inferior, el lecho del río, se propondría su retirada, aunque quizás no el 100% si puede afectar a la estabilidad de los laterales y estudiar si sería aconsejable dejar un margen mínimo de solera o introducir alguna variedad de cama rocosa que pueda dar estabilidad a los muros de mampostería para evitar problemas en los procesos de avenidas de aguas propios de ríos mediterráneos de climas secos como es el caso.

Una vez retirada total o parcialmente la solera de hormigón y eliminado el canal central, se propondría realizar humedales e islas generados a partir de excavaciones irregulares en el terreno, como en el caso de renaturalización del río Aire (Ginebra) y la plantación de especies vegetales de ribera propias de la zona. En la figura 27 se marcan algunas zonas dónde podrían realizarse actuaciones comentadas.

Es aconsejable realizar un mapa específico de inundación del cauce del río a su paso por la ciudad de Elche en consonancia con las actuaciones a desarrollar, y así poder definir algún área apta para realizar una llanura de inundación y prevenir los efectos cada vez más recurrente de gotas frías y sus consecuencias.



Figura 27. Esquema indicativo de posibles zonas de actuación en el Río Vinalopó. Fuente: elaboración propia.

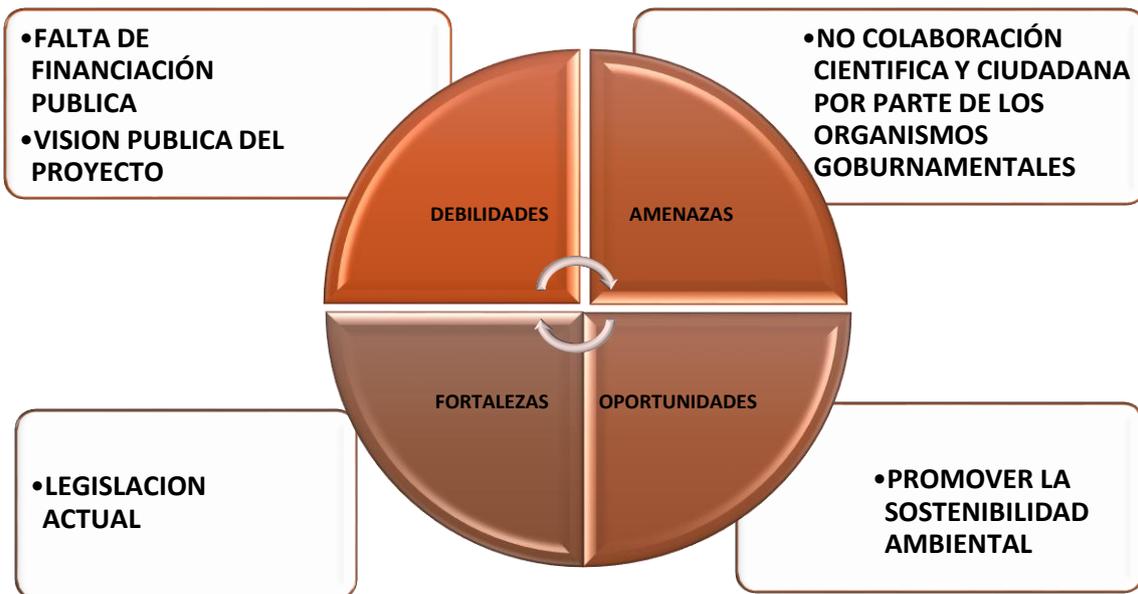


Figura 28. Matriz DAFO. Fuente: elaboración propia.

La propuesta de aplicación podría nacer con algunas debilidades como serian la falta de financiación por el organismo público y que la visión publica que se pudiera tener por parte de ciudadanía de la ciudad de Elche, que fuese desfavorable por la falta de información de los innumerables beneficios del proyecto, a la vez que el proyecto no estuviera respaldado por conocimientos técnicos y científicos por parte de técnicos ambientales.

Por otro lado, este proyecto tiene el respaldo legal y es una de sus fortalezas, a la vez la oportunidad de favorecer la sostenibilidad ambiental. Esto se refleja en la matriz DAFO (figura 28).

5. DISCUSIÓN

Se puede abrir el debate por parte de varios sectores de la población sobre las actuaciones que se pudieran llevar para la renaturalización del río Vinalopó. Es por ello que es de gran importancia la vinculación entre la investigación científica y la participación social, ya que la investigación permite conocer el funcionamiento del río con mayor precisión (Buijs, 2009).

El éxito de una restauración no es solamente ecológico, depende de muchas perspectivas incluidas las sociales. En general, el paisaje y la estética influye notablemente en la percepción social (Jähnig et al., 2011) y es necesario considerarlo a la hora de proceder a la renaturalización de ríos en medios urbanos y preguntarnos si el resultado final será estéticamente agradable.

El cambio de paradigma en el manejo de los ríos urbanos debe apuntar a recuperar los valores ecosistémicos y las oportunidades ambientales, sociales, recreativas, culturales y económicas (Postel & Richter, 2003). Cabe preguntarse por tanto si el proyecto aportara un aumento de oportunidades recreativas y educativas comunitarias sobre el río Vinalopó y si se protegerán infraestructuras importantes en las inmediaciones del río Vinalopó.

En ese cambio se enfatiza la regulación de los fenómenos sociales como un elemento *sine qua non* para lograr un aprovechamiento sostenible de cualquier ecosistema. La ciencia ha de ser capaz de integrar a todos los actores presentes en el proceso.

Lo que no podemos obviar son los datos y los impactos que han sufrido las cuencas fluviales europeas asociados a factores antropogénicos como el cambio de uso de los suelos, la agricultura, la deforestación, la reforestación y la urbanización, que afectan la escorrentía y el rendimiento de los sedimentos, así como los impactos de los canales de los ríos, como las regulaciones fluviales, las presas, los embalses, la extracción de agua, la minería de grava, la canalización, etc., que modifican directamente el canal y las llanuras aluviales.

Se deben usar indicadores para evaluar las estrategias de renaturalización de ríos, como las propuestas por Woolsey et al. (2007), que plantearon 49 indicadores para la evaluación. En este trabajo fin de grado, lo que se propone son estrategias de actuación

que, en fase de desarrollo de un proyecto completo, deberían acompañarse de un sistema de indicadores para su evaluación y, siguiendo la metodología desarrollada en Múnich, realizar ensayos previos para ver la efectividad de las actuaciones.

En este caso en concreto, el río Vinalopó se ha visto afectado por presa del pantano de Elche, originando aguas arriba que el agua se embalse. La deposición de sedimentos en la presa conduce a una disminución del transporte de sedimentos en dirección aguas abajo en comparación con la situación inicial sin la presa. La disminución de la descarga de agua y la carga de sedimentos aguas abajo de las presas dan como resultado un aumento de la pendiente, la incisión del lecho del río (figura 29). Por otro lado, los sedimentos finos pueden vencer este obstáculo y es importante conocer su papel ya que contribuyen a la distribución de contaminantes durante los eventos de inundación. Los contaminantes absorbidos en los sedimentos finos pueden depositarse en el lecho del río o en las llanuras de inundación y pueden ser movilizados por eventos de inundación posteriores, (Hart & Poff, 2002).

Las llanuras aluviales actúan como una trampa para sedimentos fluviales finos, cohesivos y potencialmente contaminados. Por lo tanto, los cambios en los flujos de sedimentos finos son de importancia.

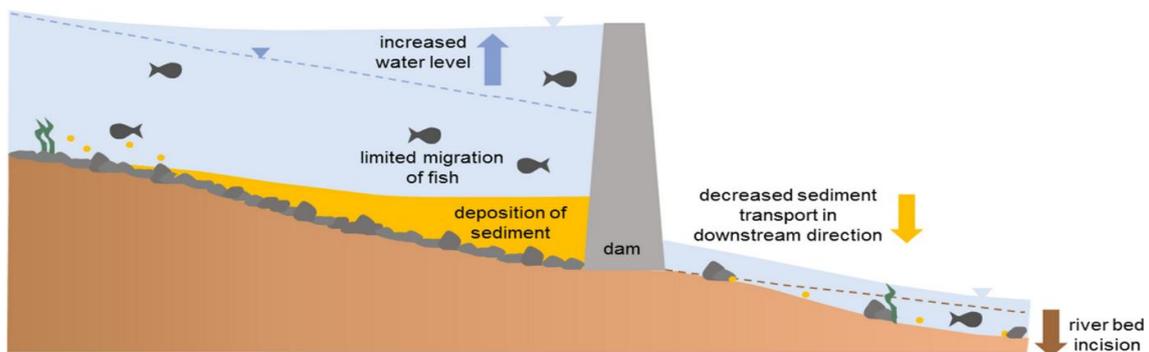


Figura 29. Consecuencias de la construcción de presas en la morfodinámica fluvial como ejemplo de impactos en los cauces de los ríos. Fuente: <https://enveurope.springeropen.com/articles/10.1186/s12302-021-00561-4>

Por ello, junto a la visión general del cauce del río urbano y su renaturalización, es necesario considerar otras acciones como la del control de sedimentos finos y la posible contaminación asociada, previamente y de forma posterior al paso por el entramado urbano.

6. CONCLUSIONES Y PROYECCIÓN FUTURA

En este trabajo de final de grado se han hecho presente los impactos humanos en la morfodinámica fluvial, los efectos y las consecuencias de los impactos antropogénicos. Cada factor de impacto antropogénico tiene sus propias consecuencias y debe ser analizado individualmente, por lo tanto, es necesario analizar y comprender la historia de un río y evaluar las implicaciones futuras para las restauraciones fluviales con el fin de garantizar un desarrollo fluvial seguro y sostenible (Morandi et al., 2014). Una mejor comprensión de los procesos morfodinámicos efectivos es indispensable para las restauraciones de ríos y las estrategias de gestión de los mismos. Lograr un estado morfológico "natural" del río significa tener en cuenta el comportamiento dinámico de un sistema río-llanura de inundación.

Las proyecciones futuras de todas las renaturalizaciones deberían incluir análisis teóricos, estudios de modelado numérico, mediciones de campo continuas o repetitivas durante varios años con el fin de que se convierta en una herramienta útil para investigar estos procesos.

Los ríos reaccionan a todos los factores de impacto naturales y antropogénicos presentes dentro del mismo. Comprender el sistema significa comprender su historia, así como sus condiciones actuales e investigar sus implicaciones futuras.

El futuro del río Vinalopó a su paso por la ciudad de Elche, es la renaturalización de su cauce, por la retirada de la solera de hormigón total o parcialmente, eliminado el canal central, realizar humedales e islas generados a partir de excavaciones irregulares en el terreno, como en el caso de renaturalización del río Aire (Ginebra) y la plantación de especies vegetales de ribera propias de la zona. La estabilización de sus riberas ya que algunos materiales presentan signos de la inestabilidad y que es evidente en la parte superior de estos taludes en algunas zonas del río a su paso por el casco urbano.

Es imprescindible realizar un mapa específico de inundación del cauce del río, previamente a las actuaciones, y así poder definir algún área apta para realizar una llanura de inundación y prevenir los efectos cada vez más recurrente de gotas frías y sus consecuencias.

7. BIBLIOGRAFIA

Atelier Descombes Rampini (publicado el 30 de junio de 2016, última consulta 21 de noviembre de 2021). Renaturalización del río Aire. LANDEZINE. Recuperado de: http://landezine.com/index.php/2016/06/renaturation-of-the-river-aire-geneva/?__cf_chl_jschl_tk__=pmd_B.f.xgMln1jJIV0v3nWUqbxWY2dmluxt8s8j041MefA-1633337281-0-gqNtZGzNAhCjcnBszQN9

Bernhardt, E.S., Sudduth, E.B., Palmer, M.A., Allan, J.D., Meyer, J.L., Alexander, G., Follstad-Shah, J., Hassett, B., Jenkinson, R., Lave, R., Rumps, J. & Pagano, L. (2007). Restoring rivers one reach at a time: results from a survey of U.S. river restoration practitioners *Restoration Ecology* 15(3), 482-493. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2007.00244.x>

Buijs, E. (2009). Public support for river restoration. A mixed-method study into local residents' support for and framing of river management and ecological restoration in the Dutch floodplains. *Journal of Environmental Management* 90(8), 2680-2689. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.02.006>

Chandrashekhara, A. (publicado el 11 de mayo de 2012, última consulta 19 de noviembre de 2021). Restoring an urban river bed to its natural Eco-system; A Singapore experiment. Recuperado de: <https://chandrashekharasandprints.wordpress.com/2012/05/11/restoring-an-urban-river-bed-to-its-natural-eco-system-a-singapore-experiment/>

Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (última consulta 19 de noviembre de 2021). Recuperado de: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2000-82524>

Directiva 2006/118/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de diciembre de 2006, relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro (última consulta 19 de noviembre de 2021). Recuperado de: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2006-82677>

Directiva 2007/60/CE del parlamento europeo y el consejo de 23 de octubre de 2007 relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación (última consulta 19 de noviembre de 2021). Recuperado de: <https://www.boe.es/doue/2007/288/L00027-00034.pdf>

Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres (última consulta 19 de noviembre de 2021). Recuperado de: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1992-81200>

Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas (última consulta 19 de noviembre de 2021). Recuperado de: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1991-80646>

Elizalde, G. (2009). El suelo en la fase superficial del ciclo geológico. *Geoenseñanza* 14(2), 265-292.

Encalada, A. (2010). Funciones ecosistémicas y diversidad de los ríos: Reflexiones sobre el concepto de caudal ecológico y su aplicación en el Ecuador. *Polémika* 2(5), 40-47.

Espinosa, P. (2012) Perspectivas del diseño urbano a partir de la rehabilitación fluvial en las ciudades en el ámbito de los países desarrollados. Trabajo fin de master de Ordenación Territorial y Medioambiental, Universidad de Zaragoza.

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, 123-139. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00267-012-9862-1>

Hardach, S. (publicado 2 de marzo de 2015, última consulta 19 de noviembre de 2021). Londres: cómo el río Támesis fue rescatado de la muerte. BBC News. Recuperado de: https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/12/151120_vert_earth_rio_tamesis_yv

Hart, D.D. & Poff, N.L. (2002). A special section on dam removal and river restoration. *BioScience* 52(8), 653–655.

Jähnig, S.C., Lorenz, A.W., Hering, D., Antons, C., Sundermann, A., Jedicke, E. & Haase, P. (2011). River restoration success: a question of perception. *Ecological Applications* 21(6), 2007-2015. Doi: <https://doi.org/10.1890/10-0618.1>

Kondolf, G.M. (2006). River restoration and meanders. *Ecology and Society* 11(2), 1-18. Doi: <http://www.jstor.org/stable/26266029>

Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y marino (2010). Restuaración de ríos. Bases de la estrategia nacional de restauración de ríos. Secretaria General Técnica del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid (España).

MITECO (a), Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (última consulta 19 de noviembre de 2021). Ejecución del Proyecto de disminución del riesgo de inundación y mejora del estado ecológico de los ríos Júcar y Moscas a su paso por Cuenca. Recuperado de: <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/delimitacion-y-restauracion-del-dominio-publico-hidraulico/estrategia-nacional-restauracion-rios/Plan-PIMA-ADAPTA-Jucar-Moscas-Cuenca.aspx#prettyPhoto>

MITECO (b), Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (última consulta 19 de noviembre de 2021). Conexión hidrológica y mejora de hábitats en los meandros del tramo bajo del río Arga (Navarra). Fase 1. Recuperado de: <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/delimitacion-y-restauracion-del-dominio-publico-hidraulico/estrategia-nacional-restauracion-rios/Plan-PIMA-Adapta-Rio-Arga-Fase-1.aspx>

MITECO (c), Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (última consulta 19 de noviembre de 2021). Conexión hidrológica y mejora de hábitats en los meandros del tramo bajo del río Arga (Navarra). Fase 2. Recuperado de: <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/delimitacion-y-restauracion-del-dominio-publico-hidraulico/estrategia-nacional-restauracion-rios/Plan-PIMA-ADAPTA-Rio-Arga-Fase-2.aspx>

MITECO (d), Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (última consulta 19 de noviembre de 2021). El Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente inicia la II fase del proyecto de reconexión de los meandros del río Arga (Navarra), la obra de restauración de ríos más importante del país. Recuperado de: [https://www.miteco.gob.es/es/prensa/historico/el-ministerio-de-agricultura-y-pesca-alimentaci%C3%B3n-y-medio-ambiente-inicia-la-ii-fase-del-proyecto-de-reconexi%C3%B3n-de-los-meandros-del-r%C3%ADo-arga-\(na/tcm:30-435767](https://www.miteco.gob.es/es/prensa/historico/el-ministerio-de-agricultura-y-pesca-alimentaci%C3%B3n-y-medio-ambiente-inicia-la-ii-fase-del-proyecto-de-reconexi%C3%B3n-de-los-meandros-del-r%C3%ADo-arga-(na/tcm:30-435767)

MITECO (e), Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (última consulta 19 de noviembre de 2021). Life RBMP-DUERO. Recuperado de: <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/delimitacion-y-restauracion-del-dominio-publico-hidraulico/estrategia-nacional-restauracion-rios/Life-RBMP-DUERO.aspx>

Morandi, B., Piégay, H., Lamouroux, N. & Vaudor, L. (2014). How is success or failure in river restoration projects evaluated? Feedback from French restoration projects. *Journal of Environmental Management* 137, 178-188. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.02.010>

Müller, G. & Koll, K. (2005). River re-naturalization: historic and anthropogenic constraints, ecosystems and their interaction. Proceedings of the 5th International Symposium on Ecohydraulics, 12-17/09/2004, Madrid, Spain.

Orlando Parrilla Domínguez, O., González Briz, E., Urquiaga Cela, R & Martín Barajas, S. (2021). *Renaturalización de tramos urbanos de ríos*. Madrid, España. Ed. Área de Aguas de Ecologistas en Acción.

Paillex, A., Logar, I., Schirmer, M., Schuwirth, N., Siber, R., Yang, H., & Reichert, P. (última consulta 19 de noviembre de 2021). Rewidening and rewilding the Thur river (Switzerland). Recuperado de: REFORMA (reformrivers.eu), <https://reformrivers.eu/news/297>.

Palmer, M., 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), 363-596. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2007.00243.x>

Postel, S. & Richter, B. (2003). *Rivers for Life: Managing Water for People and Nature*, Island Press, Washington, DC.

Proposición No de Ley 161/002738 (2021). Diario de sesiones del congreso de los diputados comisiones, renaturalización de los tramos urbanos de los ríos (Número de expediente 161/002738) y sobre el despliegue de la renaturalización de los ríos a su paso por zonas urbanas (Número de expediente 161/002755). Recuperado de: https://www.congreso.es/public_oficiales/L14/CONG/DS/CO/DSCD-14-CO-434.PDF#page=38

Schirmer, M., Luster, J., Linde, N., Perona, P., Mitchell, E. A. D., Barry, D. A., Hollender, J., Cirpka, O. A., Schneider, P., Vogt, T., Radny, D., and Durisch-Kaiser, E. (2014). Morphological, hydrological, biogeochemical and ecological changes and challenges in river restoration - the Thur River case study. *Hydrological Earth System Science* 18, 2449-2462. Doi: <https://doi.org/10.5194/hess-18-2449-2014>

Sopena, M.P. (2013). Recuperación del paisaje en la ciudad: las riberas urbanas en las cuencas de los ríos Garona e Isar. Trabajo Fin de Máster en Estudios Avanzados en Historia del Arte. Universidad de Zaragoza.

Sundermann, A., Stoll, S. & Haase, P. (2011). River restoration success depends on the species pool of the immediate surroundings. *Ecological Applications* 21(6), 1962-1971. Doi: <https://doi.org/10.1890/10-0607.1>

Woolsey, S., Capelli, F., Gonser, T., Hoehn, E., Hostmann, M., Junker, B., Paetzold, A., Roulier, C., Schweizer, S., Tiegs, S.D., Tockner, K., Weber, C. & Peter, A. (2007), A strategy to assess river restoration success. *Freshwater Biology* 52(4), 752-769. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2007.01740.x>

Zapata Anzola, M.A. & Donato Rondón, J.C (2005). Cambios diarios de las algas perifíticas y su relación con la velocidad de corriente en un río tropical de montaña (río Tota - Colombia). *Limnetica* 24(3-4), 327-338. Doi: 10.23818/limn.24.32