



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE
Y MEDIO RURAL
Y MARINO

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

INFORME TÉCNICO

para

Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino

Secretaría de Estado de Cambio Climático

Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental

ENCOMIENDA DE GESTIÓN DE TRABAJOS DE ASISTENCIA TÉCNICA, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN MATERIAS COMPETENCIA DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE CALIDAD Y EVALUACIÓN AMBIENTAL (2009-2013)

**Actuación nº 4: Asistencia técnica, investigación y desarrollo tecnológico en
materia de evaluación ambiental estratégica (EAE)**

**Guía sobre técnicas de restitución y restauración de
cauces en el cruce de ríos por infraestructuras lineales
enterradas con vistas a la EAE de planes de
infraestructuras**

**INFORME A4T115
TOMO ÚNICO**

Clave CEDEX: 51-309-5-001

Madrid, noviembre de 2011

Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE
Y MEDIO RURAL
Y MARINO

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

TÍTULO: ENCOMIENDA DE GESTIÓN DE TRABAJOS DE ASISTENCIA TÉCNICA, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN MATERIAS COMPETENCIA DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE CALIDAD Y EVALUACIÓN AMBIENTAL (2009-2013).

Actuación nº 4

Asistencia técnica, investigación y desarrollo tecnológico en materia de evaluación ambiental estratégica (EAE)

GUÍA SOBRE TÉCNICAS DE RESTITUCIÓN Y RESTAURACIÓN DE CAUCES EN EL CRUCE DE RÍOS POR INFRAESTRUCTURAS LINEALES ENTERRADAS CON VISTAS A LA EAE. DE PLANES DE INFRAESTRUCTURAS

INFORME A4T115

TOMO ÚNICO

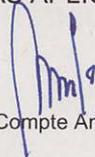
CLIENTE: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino
Secretaría de Estado de Cambio Climático
Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental

EL PRESENTE INFORME CONSTITUYE UN DOCUMENTO OFICIAL DE ESTE TRABAJO Y, DE ACUERDO CON LAS NORMAS GENERALES DEL ORGANISMO, SU ENTREGA SUPONE EL CUMPLIMIENTO DE LAS ACTUACIONES TÉCNICAS DEL MISMO REFERENTES A LA MATERIA OBJETO DEL INFORME.

VALIDEZ OFICIAL

VISTO EL CONTENIDO DEL INFORME Y SIENDO ACORDE CON LAS CLAUSULAS DEL CONVENIO DE COLABORACION CORRESPONDIENTE, SE PROPONE AUTORIZAR SU EMISIÓN.

EL DIRECTOR DEL CENTRO DE ESTUDIOS
DE TÉCNICAS APLICADAS


Fdo. Alberto Compte Anguela

AUTORIZA LA EMISIÓN DEL INFORME:

Madrid, a 30 de noviembre de 2011

EL DIRECTOR DEL CEDEX


Fdo. Mariano Navas Gutiérrez



SÓLO SON INFORMES OFICIALES DEL CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS (CEDEX) LOS REFRENDADOS POR SU DIRECCIÓN.

GUÍA SOBRE TÉCNICAS DE RESTITUCIÓN Y RESTAURACIÓN DE CAUCES EN EL CRUCE DE RÍOS POR INFRAESTRUCTURAS LINEALES ENTERRADAS CON VISTAS A LA EAE DE PLANES DE INFRAESTRUCTURAS

Índice

1.	INTRODUCCIÓN	3
2.	TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN DE CAUCES.....	3
2.1.	Principales elementos a tener en cuenta para devolver el cauce a su estado original y garantizar su estabilidad.....	4
2.2.	Principales técnicas actuales de restauración de cauces.....	4
2.2.1.	Técnicas vivas de recubrimiento.....	7
2.2.2.	Técnicas vivas de estabilización.....	10
2.2.3.	Técnicas mixtas	16
2.2.4.	Resumen de las técnicas actuales de restauración de cauces y consideraciones prácticas para su aplicación.....	21
2.3.	Estimación económica de las técnicas de restauración de cauces	26
2.4.	Tiempo estimado de recuperación de las márgenes en función de la técnica empleada	31
3.	RECOMENDACIONES SOBRE LAS TÉCNICAS A EMPLEAR	32
4.	BIBLIOGRAFÍA.....	38

GUÍA SOBRE TÉCNICAS DE RESTITUCIÓN Y RESTAURACIÓN DE CAUCES EN EL CRUCE DE RÍOS POR INFRAESTRUCTURAS LINEALES ENTERRADAS CON VISTAS A LA EAE DE PLANES DE INFRAESTRUCTURAS

1. Introducción

En los últimos años, la política energética de nuestro país ha propiciado la construcción de gasoductos a lo largo y ancho de la geografía nacional. Debido a las largas distancias que se necesitan para el transporte de gas y petróleo desde las zonas de producción hasta las de procesado o comercio, los proyectos de instalación de conductos enterrados pueden llegar a cruzar numerosos cursos de agua. La afección sobre los cauces dependerá fundamentalmente de la técnica empleada para la instalación de estas infraestructuras, así como de su posterior restauración.

La presente guía pretende servir de apoyo para la evaluación ambiental de las obras de cruce de infraestructuras lineales bajo cauce y la propuesta de medidas correctoras o de restauración de los tramos afectados. La guía consta de dos partes:

- Parte I: Técnicas de cruce de ríos
- Parte II: Técnicas de restauración de cauces

En la primera parte se hacía una revisión de los métodos empleados normalmente para la instalación de conducciones soterradas, así como de su aplicabilidad en función de los distintos condicionantes relativos a la conducción y al lugar en el que se va a llevar a cabo la obra, prestando especial atención a los principales elementos del cauce a tener en cuenta a la hora de elegir la técnica de cruce, tanto por cuestiones constructivas como por cuestiones medioambientales.

En esta segunda parte se hace una revisión de los principales elementos a tener en cuenta para devolver el cauce a su estado original y garantizar su estabilidad, y se proponen diversos métodos de restauración, prestando especial atención a su aplicabilidad en función de las características del tramo y su coste. La combinación de estos aspectos junto con los tratados en la primera parte de la guía permite finalmente llegar a unas recomendaciones sobre las técnicas a emplear en función de las características del cauce y del cruce realizado.

2. Técnicas de restauración de cauces

De entre las diversas técnicas existentes para el cruce de ríos y arroyos por infraestructuras lineales soterradas, son las de construcción mediante zanja, tanto sin como con desvío del caudal, las que dan lugar a importantes alteraciones del lecho y las riberas, y las que necesitarán por tanto que se lleven a cabo medidas correctoras o de restauración que permitan estabilizar las zonas alteradas y minimizar la erosión, así como recuperar los hábitats y especies afectados y mejorar los aspectos estéticos de la zona.

En este capítulo se hace una revisión de los principales elementos a tener en cuenta para devolver el cauce a su estado original y garantizar su estabilidad, así como de las



distintas técnicas de restauración, prestando especial atención a su aplicabilidad y a los costes económicos de las mismas.

2.1 Principales elementos a tener en cuenta para devolver el cauce a su estado original y garantizar su estabilidad

La restauración tras las obras de cruce debe tener como objetivo devolver el cauce a su estado original y garantizar su estabilidad, para lo que será preciso conocer cómo estaba antes de la instalación de la infraestructura. Para ello habrá que prestar especial atención a los elementos que se van a ver afectados por las obras, que son en esencia los siguientes:

- Granulometría y textura del lecho.
- Morfología del cauce, y en particular la sección transversal y su trazado en planta o sinuosidad.
- Vegetación de ribera.
- Fauna acuática, principalmente bentónica e ictiofauna.

Estos cuatro elementos deberían ser monitorizados tras la restauración para verificar el éxito de la misma, si bien las tareas de restauración deberán centrarse en la granulometría y textura del lecho, la morfología del cauce y la vegetación de ribera, pues se considera que la fauna acuática se recuperará por sí sola tras la restauración de estos tres elementos.

Por otra parte, existen además otros factores naturales y antrópicos que pueden condicionar el ritmo de la recuperación y el éxito de la restauración, entre los que cabe destacar:

- Potencial de regeneración natural de los ecosistemas: depende de factores naturales como el clima, el suelo, etc. de la zona a restaurar, e influye de forma directa en la capacidad de recuperación de la vegetación de ribera y la fauna acuática.
- Régimen hidrológico e hidráulico: se trata de un factor que en muchos casos puede tener una importante componente antrópica (por ejemplo en tramos con presencia de presas aguas arriba), y que determina el régimen de líquidos y sólidos del río, lo que tiene una repercusión directa sobre la capacidad de recuperación de la granulometría y la textura del lecho así como de la morfología del cauce, y por tanto, de forma indirecta, en la recuperación de la vegetación de ribera y la fauna acuática.
- Usos en márgenes y riberas: es un factor antrópico que influye en la velocidad de recuperación de la vegetación y, en consecuencia, de forma indirecta en la recuperación de la fauna acuática del tramo. Por lo tanto, en aquellos lugares en los que existan usos que puedan comprometer o retardar la restauración (recreativos, pastoreo, etc.) será recomendable adoptar medidas temporales para limitar el acceso.

2.2 Principales técnicas actuales de restauración de cauces

La restauración del cauce afectado por las obras de cruce debe consistir en una serie de actuaciones que permitan restituir su morfología original, recreando las condiciones del lecho y de las márgenes previas a la ejecución de las obras, a la vez que se proporcionan las condiciones adecuadas para la recuperación de los hábitats y especies.

Así, la restauración del tramo afectado por la instalación de la conducción soterrada debería incluir:

- Recuperación de la granulometría y textura del lecho, efectuando el relleno de zanja en la zona más próxima a la superficie con el mismo material extraído.
- Recuperación del perfil transversal original del cauce, dejando las márgenes y los taludes como se encontraban antes de las obras.
- Reposición de la tierra vegetal.
- Revegetación con plantas autóctonas, a ser posible las mismas especies que las eliminadas durante las obras.

A la hora de recuperar el perfil transversal del cauce será necesario proteger las riberas contra la erosión y llevar a cabo actuaciones para estabilizar las márgenes. Para ello se deberían emplear técnicas de restauración “blandas” o de bioingeniería.

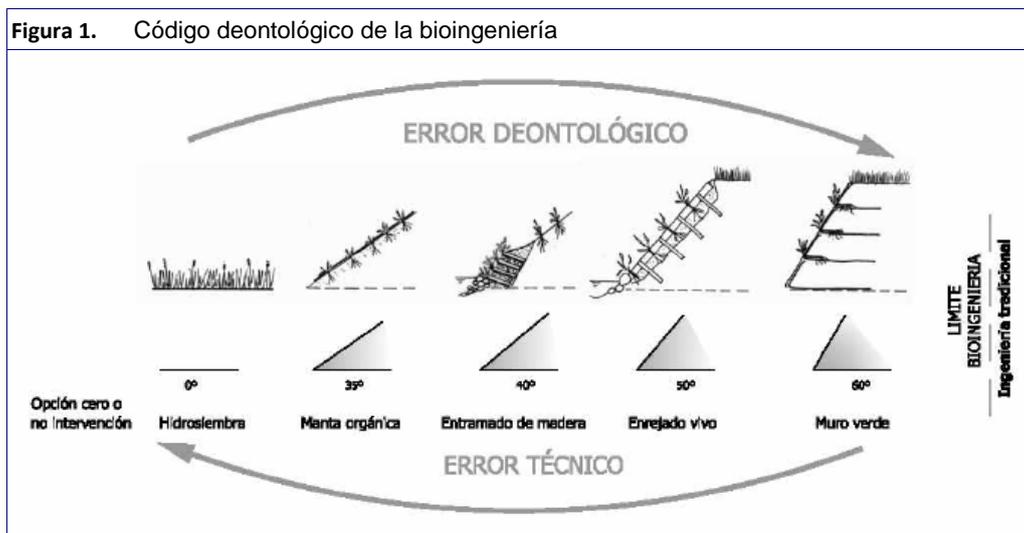
Las técnicas de ingeniería biológica o bioingeniería se utilizan en todos los ámbitos de obra civil, especialmente el control de la erosión y la estabilización de taludes y riberas, y tienen como particularidad el uso de materiales vegetales vivos (plantas, semillas, partes de plantas, etc.), solos o combinados con materiales inertes (piedra, tierra, madera, acero, etc.). Las técnicas de bioingeniería persiguen no solo la protección y estabilización del suelo frente a los fenómenos erosivos, sino también la regeneración de hábitats y la integración de las actuaciones en el entorno paisajístico circundante, para lo que utilizan la vegetación como mejor solución a largo plazo para alcanzar dichos objetivos.

Las obras de bioingeniería presentan una serie de ventajas frente a las de ingeniería clásica, ya que si se tiene en cuenta la durabilidad de la obra incluyendo los trabajos de mantenimiento, resultan normalmente más económicas, además de desempeñar importantes funciones ecológicas y estéticas. No obstante, también tienen una serie de limitaciones, ya que su implantación está condicionada a determinadas épocas del año, pueden existir dificultades para la obtención del material vegetal a utilizar, precisan de controles y mantenimiento tras la ejecución, y no siempre proporcionan todas las exigencias de consolidación y seguridad requeridas en algunos casos. Por lo tanto, no se trata tanto de sustituir unas técnicas por otras sino de utilizar la más idónea en cada caso.

La elección de la técnica a emplear depende principalmente de las características del tramo sobre el que se va a actuar, en particular de su estado ecológico, tanto antes de la realización de la obra de cruce como tras su desarrollo, prestando especial atención

a los elementos que se quieren restaurar así como a los condicionantes que pueden presentarse para la aplicación de una u otra técnica. No hay que olvidar además que el éxito de la actuación dependerá también de la necesidad de mantenimiento y de la vida útil de las técnicas empleadas.

Conviene resaltar aquí el código deontológico de la bioingeniería, que incluye, entre otros, el principio de adoptar siempre la tecnología menos compleja a igual resultado, considerando siempre la hipótesis de no intervención, entendiendo por solución menos compleja la que requiera menor nivel de energía, esto es menor complejidad, más sostenible.



Fuente: Bosch y Argimon, 2010

La elección de las técnicas y su colocación se ve limitada por parámetros hidráulicos como la velocidad del flujo, que está correlacionada con la pendiente del cauce, y el transporte de sólidos. Así, en los tramos altos, que presentan una mayor energía, se puede intervenir sólo con obras rígidas con bloque de piedra, como escolleras vegetadas o gaviones vegetados, o bien otras que soportan velocidades altas y transporte de sólidos de tamaño grueso, como tierras reforzadas o entramados vivos, mientras que en los tramos medios y bajos, al disminuir la velocidad y la capacidad erosiva de la corriente, aumenta progresivamente la gama de las técnicas utilizables.

Las técnicas se dividen en 2 grandes grupos:

- **Técnicas vivas**, en las que son las plantas vivas las que resuelven satisfactoriamente las fuerzas desestabilizadoras del suelo, y pueden ser:
 - **Técnicas de recubrimiento**, destinadas a evitar la erosión superficial, dentro de las cuales se distinguen las siembras con o sin acolchados, las hidrosiembras, el trasplante de tepes, el empleo de mantas orgánicas, los herbazales estructurados, etc.

- **Técnicas de estabilización**, que permiten estabilizar el terreno y se basan en la disposición de plantas leñosas normalmente obtenidas por reproducción vegetativa de modo que las raíces adventicias formen un entramado que permita la sujeción del terreno. Dentro de estas técnicas se encuentran las plantaciones de árboles y arbustos, el estaquillado, las fajinas, las empalizadas, las esteras o cobertura de ramas, etc.
- **Técnicas mixtas**, que conjugan la utilización de elementos vegetales con materiales como madera, piedra, hormigón, etc., actuando el material inerte como estabilizador hasta que las plantas sean capaces de realizar esta función. Dentro de estas técnicas se encuentran los entramados de madera, las tierras reforzadas o muros verdes, los gaviones revegetados, las escolleras revegetadas, etc.

La combinación de una o más técnicas permite la obtención de resultados que combinan los aspectos técnicos de control de la erosión y estabilización con los ecológicos y paisajísticos.

Existen numerosísimas técnicas de bioingeniería, muchas de ellas de aplicación en el ámbito fluvial, en el que los sauces (*Salix spp.*) son probablemente el género de plantas leñosas más utilizadas, junto con los tarajes (*Tamarix spp.*) y las adelfas (*Nerium oleander*), debido a su capacidad de reproducción vegetativa, crecimiento rápido y resistencia a la tracción. Además, existen en la Península especies herbáceas con propiedades que las hacen idóneas para su aplicación en la bioingeniería fluvial, como son el lirio amarillo (*Iris pseudoacorus*), el carrizo (*Phragmites australis*), los juncos (*Juncus spp.*), el falso junco (*Scirpoides holoschoenus*), los cárices (*Carex spp.*), las espadañas (*Typha spp.*), etc.

A continuación se hace una revisión de las técnicas de bioingeniería más utilizadas actualmente en actuaciones de recuperación y restauración en el ámbito fluvial:

- Técnicas vivas de recubrimiento
 - Siembra
 - Hidrosiembra
 - Transplante de tepes
 - Herbazal estructurado en fibra
 - Geomallas orgánicas
- Técnicas vivas de estabilización
 - Plantación de árboles y arbustos
 - Estaquillado
 - Fajinas
 - Empalizadas
 - Biorrollos
 - Estera o cobertura de ramas



CEDEX

- Técnicas mixtas
 - Escollera vegetada
 - Tierra reforzada o muro verde
 - Entramado vivo
 - Enrejado vivo
 - Gaviones vegetados
 - Geomallas sintéticas

2.2.1 Técnicas vivas de recubrimiento

2.2.1.1 Siembra

Consiste en revegetar de forma manual o mecánica las orillas y taludes con una mezcla adecuada de semillas de especies autóctonas anuales o bianuales de crecimiento rápido, con el objetivo de establecer una cubierta vegetal protectora que evite la erosión y aporte materia orgánica al suelo.

Se trata de una técnica muy económica que se puede llevar a cabo de forma manual o con maquinaria agrícola convencional, y es aplicable tanto en superficies extensas como localizadas. Además, permite hacer la preparación del terreno y la siembra en una sola operación. No es de aplicación en taludes inclinados o zonas con inundaciones frecuentes, pues las semillas podrían ser arrastradas.

Para su aplicación es necesario obtener semillas de la especie que se quiera implantar o, a ser posible, una mezcla de semillas con combinación de varias especies, lo que no siempre resulta factible. Además se puede aplicar algún tipo de acolchado o mulching protector, como paja o celulosa, para amortiguar la energía de las gotas de lluvia, disminuir la evaporación y crear unas condiciones microclimáticas favorables para la nascencia de las plántulas.

La época más adecuada para la siembra es en otoño o primavera, prestando especial atención al margen de meses de que dispone la planta para generar un sistema radicular suficientemente desarrollado antes de que llegue el verano.

2.2.1.2 Hidrosiembra

La hidrosiembra es un caso particular del anterior que consiste en la siembra por aspersión de una mezcla de agua, semillas, fijadores, fertilizantes y aditivos que favorece la adhesión de las semillas al terreno y su la germinación. La hidrosiembra permite la formación de una cubierta vegetal uniforme que reduce la pérdida de suelo por erosión y disminuye la escorrentía superficial.

Se trata de una técnica de rendimiento elevado y coste bajo en relación a otras, lo que permite aplicarla en grandes superficies, siempre y cuando el acceso a la zona sea

bueno, pues requiere maquinaria de grandes dimensiones, y la inclinación del terreno no sea excesiva.

Con la hidrosiembra la vegetación se establece de forma más efectiva y rápida que con la siembra manual o mecánica, y además incorpora materiales que mejoran el terreno, como fertilizantes, acolchados, correctores del pH, etc. Por otra parte permite ahorrar costes en mano de obra.

Figura 2. Hidrosiembra en los trabajos de mejora del espacio fluvial del Río Congost en La Garriga, Barcelona



Fuente: Aquanea S.L.

2.2.1.3 Transplante de tepes

Consiste en la implantación de una cubierta herbácea continua sobre el suelo a partir de tepes previamente cultivados en vivero o recuperados in situ, dotando al terreno de un recubrimiento superficial rápido sin necesidad de tener que esperar a la germinación de las semillas.

Se trata de una técnica que resulta costosa en relación con el resto de técnicas de recubrimiento, por lo que su uso se debe restringir a situaciones muy concretas en zonas sometidas a procesos de erosión ligeros pero muy constantes y que requieren un recubrimiento inmediato. La acción protectora de los tepes de hierba es muy superficial, de forma que sólo resisten el impacto de las gotas de lluvia y escorrentías superficiales ligeras.

Figura 3. Instalación de tepes en la margen de un río



Fuente: www.solucionesespeciales.net

2.2.1.4 Herbazal estructurado en fibra

Consiste en la plantación de herbazales estructurados en fibra de coco y vegetados con helófitas totalmente desarrolladas y con una densidad homogénea de tallos a lo largo de toda la superficie.

Los herbazales de helófitas proporcionan una cobertura inmediata de las riberas, por lo que se utilizan para la consolidación de márgenes fluviales, consiguiendo una máxima integración en el medio, nivel de acabado de obra elevado y gran integración paisajística. Cabe destacar además la función de refugio de fauna, ya que al tratarse de un ambiente maduro permite la colonización inmediata por peces, anfibios y todo tipo de invertebrados.

Las especies a emplear varían en función del medio donde se quieran colocar para que se adapten de forma idónea a las condiciones ambientales de la zona (exposición solar, salinidad, tipo de suelo, climatología).

Figura 4. Esquema de herbazal estructurado en fibra (izquierda) e instalación en el encauzamiento del río Cardener a su paso por Sant Joan de Vilatorrada, Barcelona (derecha)



Fuente: Aquanea S.L.

Fuente: Aquanea S.L.

2.2.1.5 Geomallas orgánicas

Son redes o mantas fabricadas con materiales naturales, generalmente de origen vegetal (paja de cereal, yute, fibra de coco) aunque también se utilizan materiales de desecho, como papel usado o residuos forestales, que son fijadas al terreno con piquetas, clavos o grapas proporcionando protección temporal contra la erosión superficial y disminuyendo la escorrentía.

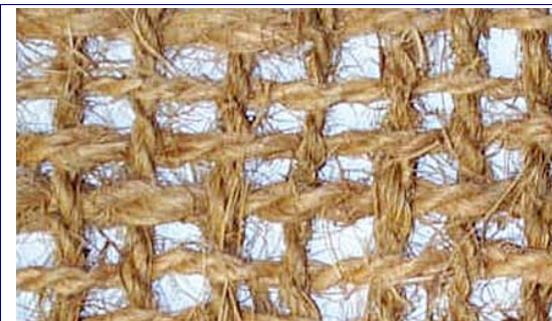
Se utilizan generalmente después de movimientos de tierras y reperfilados del talud para sujetar las capas superficiales del terreno de forma temporal. Además se suelen combinar con otras técnicas de recubrimiento como la siembra, la hidrosiembra o el estaquillado. Al ser biodegradables, sólo deben ser usadas cuando es suficiente un control de la erosión hasta que la vegetación haya arraigado.

Las mantas orgánicas actúan como un colchón amortiguador de la energía cinética de las gotas de lluvia, evitando la erosión por golpeteo, y ralentizan la evaporación evitando el desecamiento del suelo y de las semillas. En las redes, las fibras con las que están tejidas actúan como pequeños diques que evitan que las semillas y el suelo sean arrastrados. Tanto unas como otras añaden materia orgánica al suelo al descomponerse y favorecen y aceleran los procesos de arraigo y desarrollo de las plantas.

Figura 5. Manta orgánica (izquierda) y red orgánica (derecha)



Fuente: Bonterra Ibérica S.L.



Fuente: Bonterra Ibérica S.L.

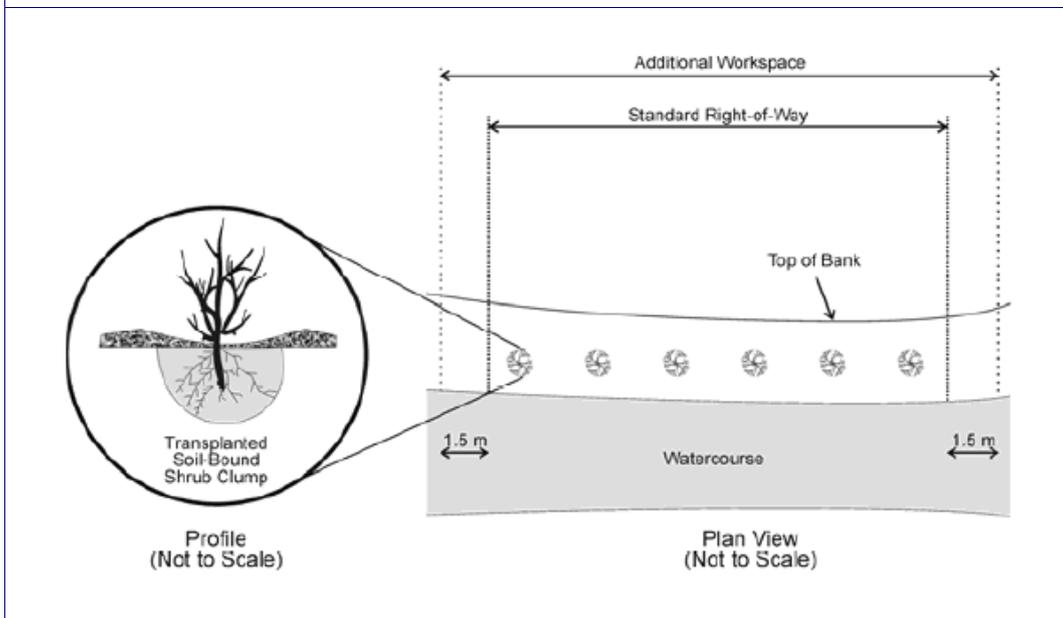
2.2.2 Técnicas vivas de estabilización

2.2.2.1 Plantación de árboles y arbustos

Consiste en la plantación de ejemplares de árboles y arbustos procedentes de viveros especializados, cultivadas particularmente en viveros de obra o incluso, en el caso particular de las obras de cruce, rescatados de la zona de construcción.

Es una técnica que permite obtener una cobertura vegetal y un resultado visual inmediatos, pero que presenta más dificultad de adaptación de las plantas a su nuevo emplazamiento que con otras técnicas, pues éstas son susceptibles de ser arrancadas por acción del viento, la lluvia, el agua o el ganado hasta que arraigan suficientemente. Por otra parte, puede necesitar riegos de apoyo y reposición de marras.

Figura 6. Esquema de plantación de matorral en el ancho de la pista de trabajo de una obra de cruce de un río



Fuente: CAPP *et al.*, 2005

2.2.2.2 Estaquillado

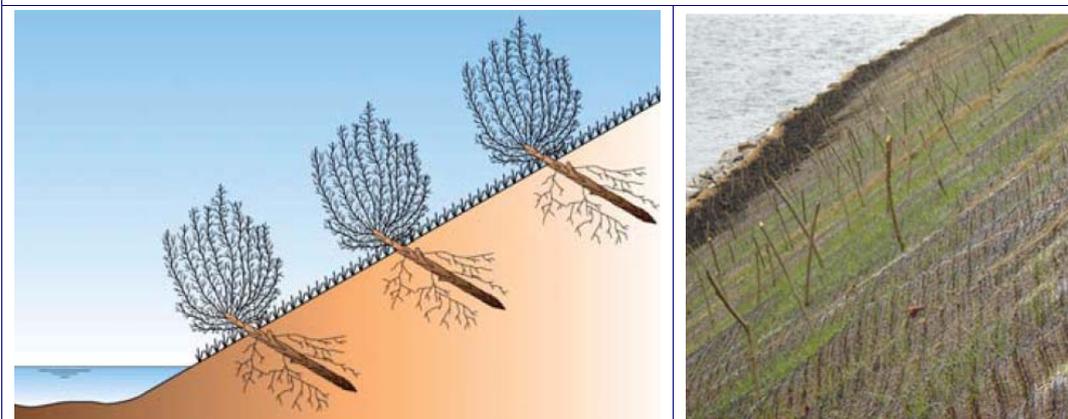
Esta técnica consiste en la introducción de estaquillas o esquejes vivos no ramificados directamente sobre el terreno con el objeto de que su desarrollo radical lo estabilice y proteja frente a la erosión.

Se utiliza para la repoblación rápida en zonas donde las fuerzas de tracción del agua son bajas, para la sujeción a medio plazo de los materiales de recubrimiento empleados para controlar la erosión, como mantas orgánicas o geomallas, y para la estabilización de taludes de pendiente limitada. También se usan para revegetar escolleras o para colocar entre gaviones.

El estaquillado permite un recubrimiento rápido y una buena cobertura vegetal a bajo coste cuando las condiciones son favorables y se realiza de forma adecuada, pues emplea material autóctono normalmente disponible en el lugar de las obras y no necesita una preparación exhaustiva del terreno, si bien el efecto estabilizador se encuentra limitado en los momentos previos al desarrollo del sistema radical de las plantas. Además esta técnica reduce la velocidad de la corriente cerca de las orillas al aumentar la rugosidad del terreno.

Las especies normalmente utilizadas son salicáceas, aunque también se pueden emplear otras como tarajes o adelfas. Tanto la época de poda o corte de las estaquillas como la de plantación están condicionadas por el periodo de reposo vegetativo de las diferentes especies, generalmente de otoño a primavera. Las estacas se pueden conservar en cámaras frigoríficas hasta el momento de su uso.

Figura 7. Esquema de estaquillado (izquierda) y estaquillado en el río Nalón a su paso por La Felguera, Asturias (derecha)



Fuente: ACA, 2008

Fuente: Aquanea S.L.

2.2.2.3 Fajinas

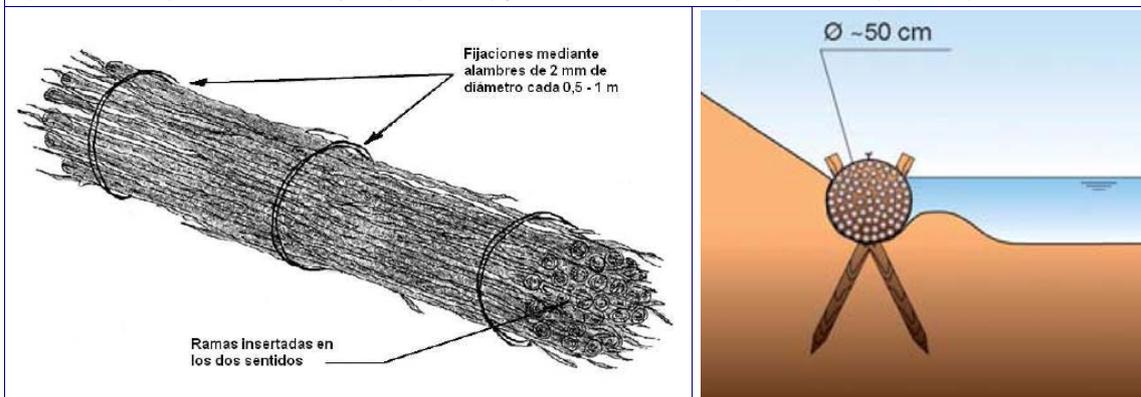
Las fajinas son manojos de ramas vivas de plantas leñosas atados formando estructuras cilíndricas que se disponen al pie del talud o en terrazas, bien siguiendo las curvas de nivel en el caso de laderas secas o bien ligeramente inclinadas para favorecer el drenaje y reducir la erosión superficial en laderas húmedas, con la finalidad de que una vez colocadas en tierra arraiguen y desarrollen plantas enteras.

Las fajinas reducen la pendiente de los taludes a través de la creación de discontinuidades, proporcionando una reducción inmediata de la erosión superficial, así como protección frente a deslizamientos superficiales, además de un microclima apto para el desarrollo y establecimiento de la vegetación.

En restauración fluvial se emplean generalmente al pie del talud, combinadas con otras técnicas de defensa en cursos de agua con caudales de nivel medio relativamente constante, en los que la oscilación de la lámina de agua no debería superar el metro, y con una velocidad inferior a 3 m/s.

Se trata de una técnica rápida y sencilla para cuya ejecución se utilizan ramas de especies con capacidad de reproducción vegetativa, como salicáceas y tarajes, que se fijan al terreno mediante estacas durante la estación de reposo al pie del talud, a la altura del nivel más frecuente del agua.

Figura 8. Esquema de una fajina (izquierda) y de su colocación al pie del talud (derecha)



Fuente: Aquanea S.L.

Fuente: ACA, 2008

2.2.2.4 Empalizadas

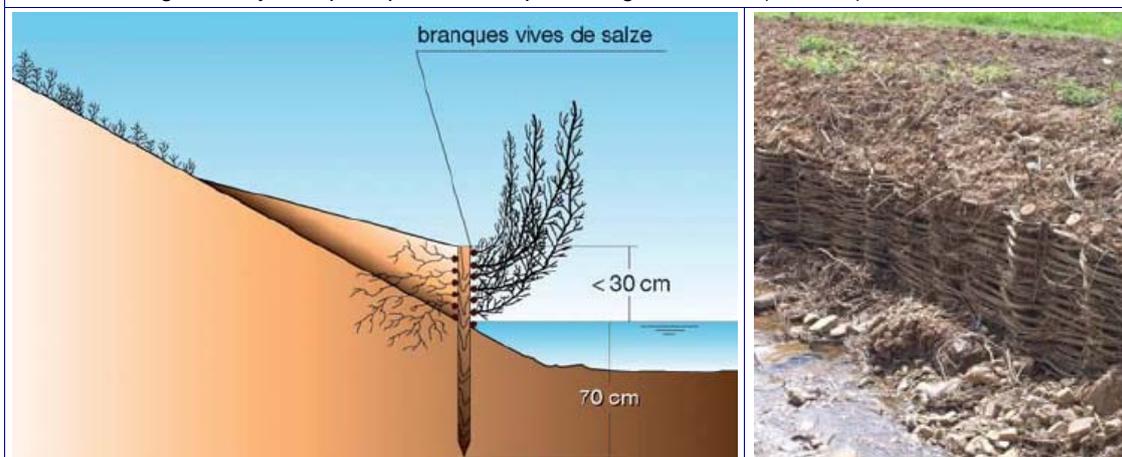
La empalizada es un conjunto de ramas vivas flexibles de especies leñosas con capacidad de reproducción vegetativa que se disponen formando una trenza alrededor de piquetas de madera o metálicas ancladas al terreno bien en las márgenes siguiendo las curvas de nivel del talud, o bien directamente en las orillas.

Se utilizan normalmente en ríos de pendiente modesta y con variaciones limitadas del nivel de agua en los que se busca una reducción de la longitud o continuidad de los taludes, reteniendo los sólidos del suelo, estabilizando el terreno y proporcionando una cubierta vegetal que crea un microclima favorable para la germinación de las semillas, y por tanto, para la regeneración natural. No son de aplicación en ríos con transporte de sólidos de tamaño grueso ni en aquellos con variaciones importantes del nivel de agua.

Las empalizadas trenzadas proporcionan una protección contra la erosión inmediata y eficaz, incluso antes de haber enraizado y brotado, mediante un procedimiento relativamente sencillo y a un coste que no es elevado, aunque superior a otras técnicas de estabilización como el estaquillado y las esteras de ramas.

El trenzado se realiza con ramas vivas, largas y flexibles, de especies de fácil enraizamiento (por ejemplo, del género *Salix*), y la época de implantación se reduce al periodo de reposo vegetativo de las diferentes especies, que transcurre generalmente de otoño a primavera.

Figura 9. Esquema de empalizada (izquierda) y empalizada en las obras de restauración del arroyo Vega de Rey a su paso por el municipio de Arganza, León (derecha)



Fuente: ACA, 2008

Fuente: CH Miño-Sil

2.2.2.5 Biorrollos

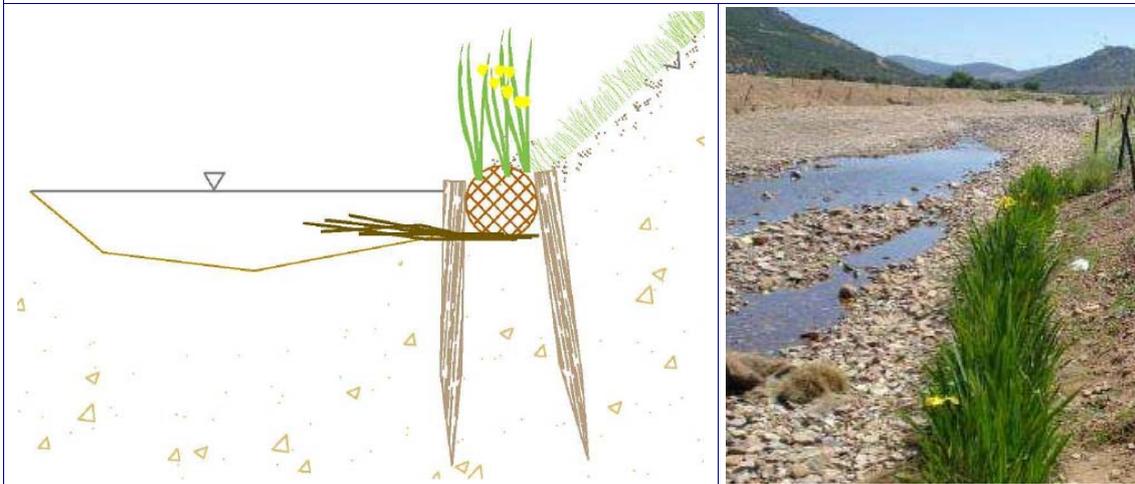
Son estructuras cilíndricas biodegradables construidas con fibras de coco entretejidas que incorporan plantas propias de ribera que se mantienen una vez degradada la malla, permitiendo una rápida colonización natural.

Se emplean para la consolidación y revegetación de márgenes fluviales en cursos de agua de pequeño tamaño con orillas bajas y velocidades preferiblemente no superiores a 3 m/s¹, proporcionando una estabilización rápida de las riberas y del pie de los taludes.

Los biorrollos se instalan en contacto con el agua, si bien resisten períodos de sequía al tener la fibra de coco gran capacidad de retención de la humedad. Normalmente se emplean con especies helófitas, y se fijan al suelo mediante estacas. La época de instalación es todo el año excepto el periodo estival.

¹ Se observa un buen rendimiento en velocidades de paso de agua de 1,5 m/s en continuo y, si está correctamente fijado, puntas de hasta 5 m/s.

Figura 10. Esquema de biollorro (izquierda) y biorrollos ya desarrollados tras tres meses desde su instalación en el Arroyo Piedralá, Ciudad Real (derecha)



Fuente: Aquanea S.L.

Fuente: Aquanea S.L.

2.2.2.6 Esteras o cobertura de ramas

Se trata de un recubrimiento de la superficie de la margen del río con estacas y varas de especies vegetales que tengan capacidad de reproducción vegetativa de forma perpendicular a la corriente del agua y fijadas mediante alambre tensado entre pilotes metálicos o piquetas vivas o muertas, de modo que se cubra la práctica totalidad del suelo.

Esta técnica resulta eficaz para revegetar la superficie de riberas amenazadas por la corriente de agua y/o el oleaje, constituyendo una protección inmediata contra la erosión así como una repoblación rápida y efectiva de las márgenes, por lo que es un buen sustituto de los geotextiles.

Su coste es elevado y requiere mucha mano de obra, así como una gran cantidad de material vivo de especies con alta capacidad de reproducción vegetativa (por ejemplo de los géneros *Salix* o *Tamarix*), si bien se pueden emplear otras especies como alisos, avellanos, etc., siendo en ese caso aconsejable el empleo de hormonas de arraigo. Las ramas, que se fijan al terreno con estacas durante la estación de reposo, desarrollan en una o dos estaciones una espesa franja de vegetación arbustiva que requiere aclareos (aproximadamente 30% cada 4 años) y cuya alta densidad puede impedir el asentamiento de otras especies leñosas.

Es una técnica que necesita humedad constante en el suelo, y no resulta de utilidad en zonas inundables o en cauces con corrientes muy fuertes y elevada capacidad de transporte sólido. Admite pendientes de talud de hasta 30°-35°.

Figura 11. Esquema de cobertura de ramas (izquierda) y ejecución de una cobertura de ramas en la margen de un río tras la instalación de un cruce de una tubería en Gales (derecha)



Fuente: Mataix, 2007

Fuente: Salix River & Wetland Services Limited

2.2.3 Técnicas mixtas

2.2.3.1 Escollera vegetada

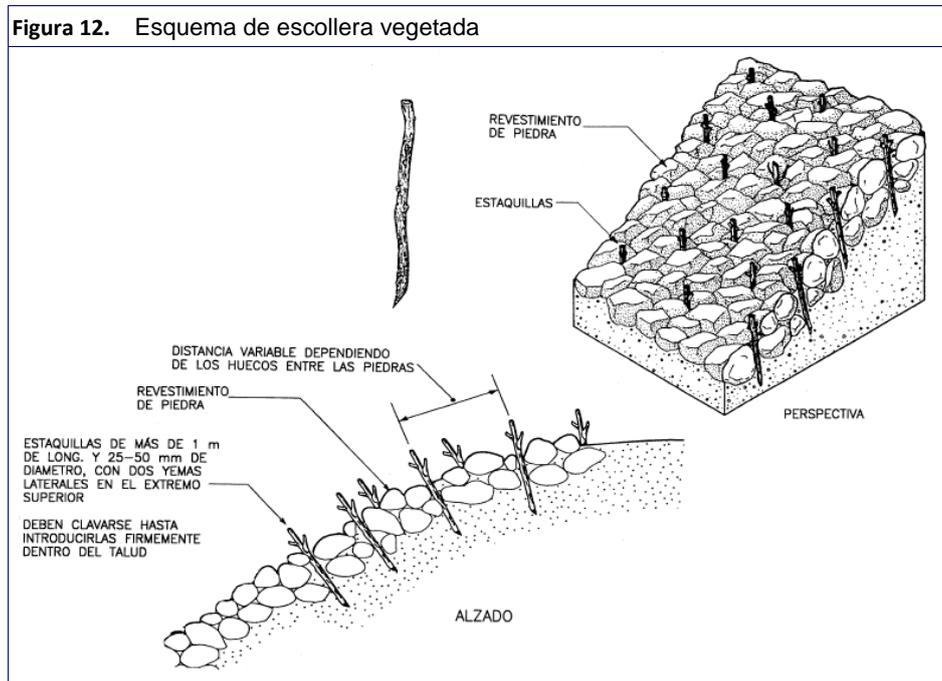
Consiste en un revestimiento de las márgenes con roca suelta (desde piedras a cantos rodados) y tierra vegetal en cuyas aberturas se colocan estacas vivas de especies vegetales con capacidad de reproducción vegetativa.

Se utiliza 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, proporcionando una estructura de larga durabilidad en pendientes moderadas y corrientes de energía de media a alta. Con el tiempo, en las zonas de depósito preferente de las corrientes fluviales, se suele producir un proceso de naturalización de la ribera quedando oculta la escollera.

Se trata de una técnica sencilla y de bajo coste que resulta muy efectiva para proteger las márgenes frente a la erosión y en poco tiempo puede conferir una buena cobertura vegetal. Para su aplicación se utilizan estaquillas de longitud suficiente para atravesar el recubrimiento de modo que queden firmemente clavadas en el suelo y sobresalgan por encima de aquel. El estaquillado puede realizarse una vez concluido el revestimiento del talud o de forma simultánea a su ejecución.

Las raíces de las plantas desarrolladas a partir de las estaquillas drenan el exceso de agua del talud y crean una densa matriz en el suelo sobre el que se asienta el revestimiento rocoso que refuerza el efecto de protección superficial de éste y evita el arrastre de finos por debajo y entre las piedras que lo forman.

Figura 12. Esquema de escollera vegetada



Fuente: Mataix, 2007

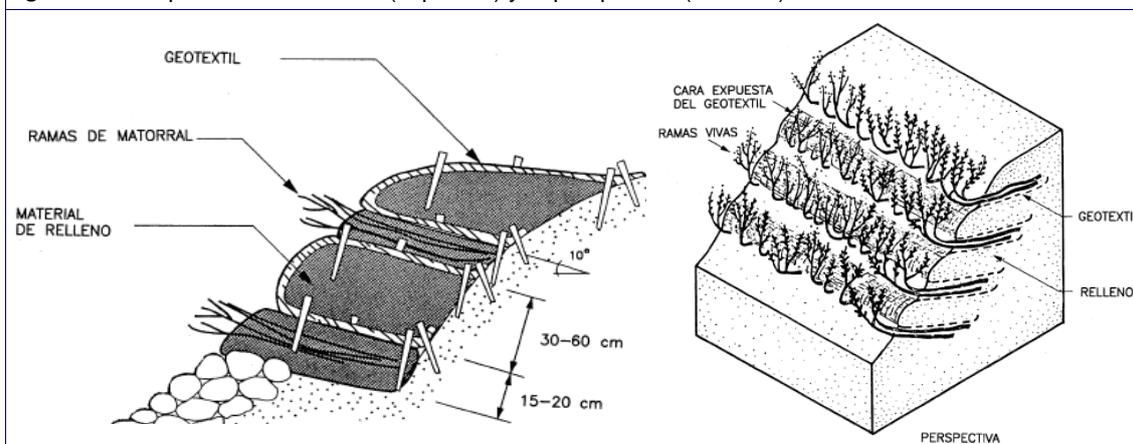
2.2.3.2 Tierra reforzada o muro verde

Consiste en alternar capas de poco espesor de ramas de especies leñosas con capacidad para enraizar y capas más gruesas de tierra de relleno envueltas en un geotextil, formando una estructura que, en un primer momento, actúa como un muro de contención, y que cuando las ramas arraigan, penetran dentro del talud anclando firmemente toda la estructura.

Se trata de una técnica muy adecuada para la estabilización de taludes y márgenes fluviales con alta inclinación, proporcionando control de la erosión y una cubierta casi inmediata. Su construcción resulta muy laboriosa. La pendiente no debería superar 60° para permitir el aporte de agua de lluvia a las plantas.

Para su instalación se necesita material vivo de especies con alta capacidad de reproducción vegetativa, que se fija al terreno con estacas durante la estación de reposo vegetativo.

Figura 13. Esquema de la sección (izquierda) y la perspectiva (derecha) de un muro verde



Fuente: Mataix, 2007

2.2.3.3 Entramado vivo

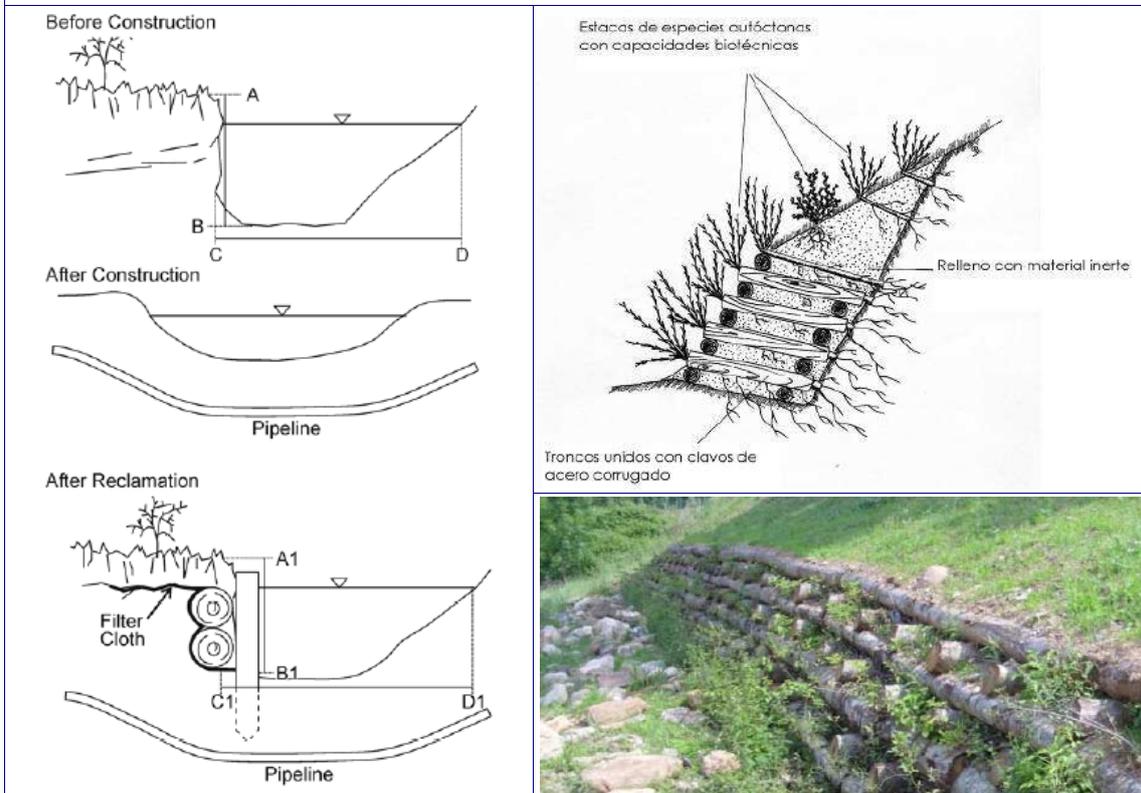
Son muros de gravedad huecos formados por una estructura celular de troncos de madera que se rellenan con tierra y en cuya cara frontal se introducen varas y ramas de especies leñosas con capacidad de reproducción vegetativa, las cuales enraízan dentro de la estructura y en el talud.

La estructura de madera puede construirse bien de manera que forme una especie de muro o cajón vertical paralelo a la superficie del talud (entramado vivo con palo vertical), en cuyo caso la altura máxima es de 1 m, o bien en forma de escalera (entramado vivo tipo Krainer), situando la base de la estructura más o menos alejada del pie del talud y acercando progresivamente los siguientes pisos a él, en cuyo caso la pendiente no debe superar 60° para permitir el crecimiento de las plantas.

Se utilizan como muros de contención en taludes y riberas expuestas a la erosión poco estables y con pendientes elevadas que se sitúan en cursos de agua rápidos con transporte de sólidos incluso de grandes dimensiones, proporcionando protección inmediata contra la erosión y, a medida que la vegetación se desarrolla, estabilidad a largo plazo.

Se trata de una obra compleja y costosa pero que resulta más económica que las tradicionales obras en roca u hormigón.

Figura 14. Esquema de recuperación de cauce tras una obra de cruce mediante instalación de entramado vivo con palo vertical (izquierda), y esquema y foto de entramado vivo tipo Krainer en los trabajos de mejora del espacio fluvial del Río Congost en La Garriga, Barcelona (derecha)



Fuente: CAPP *et al.*, 2005

Fuente: Aquanea S.L.

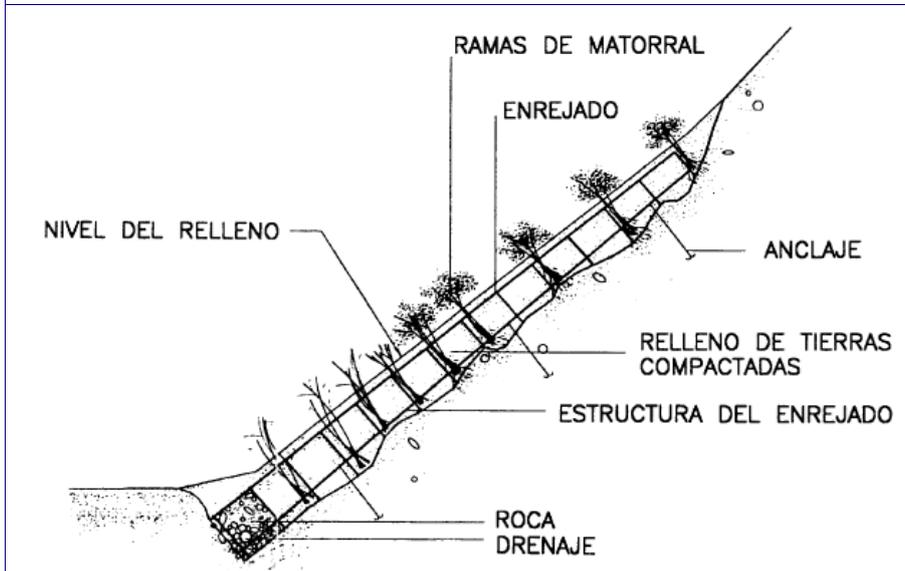
2.2.3.4 Enrejado vivo

Es una estructura tridimensional con forma de reja compuesta por troncos dispuestos perpendicularmente entre ellos y anclados al terreno con piquetas o estacas vivas. La estructura se rellena con tierra y en sus vanos se instalan capas de ramas de matorral.

El principal propósito del enrejado de madera es sujetar el terreno y facilitar el establecimiento de la vegetación, estabilizando de forma inmediata las riberas. Permite revegetar taludes de gran pendiente (preferiblemente no superior a 50°) sin necesidad de tener que remodelarlos, y a medida que las especies vegetales desarrollan las raíces, la capacidad de estabilización se incrementa y es menos necesaria la actuación del enrejado, que acaba en degradarse y perder las propiedades mecánicas. Además, la vegetación reduce la escorrentía superficial y disminuye la velocidad del agua.

La instalación del enrejado es sencilla y requiere muy pocos trabajos previos de limpieza y excavación en el talud, así como poco volumen de suelo para rellenar la estructura. Sin embargo, no es viable si las dimensiones son grandes y la inclinación del talud es excesiva. Por otra parte, no soporta tracciones elevadas, por lo que hay que proteger el pie con un rompeolas o un entramado.

Figura 15. Esquema de enrejado vivo

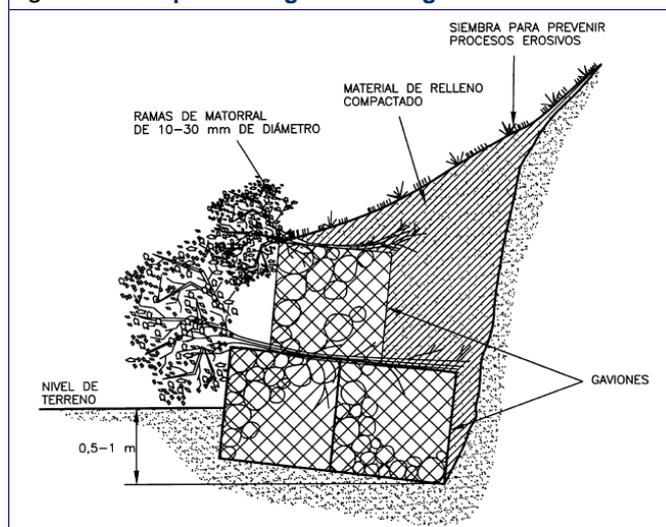


Fuente: Mataix, 2007

2.2.3.5 Gaviones vegetados

Se trata de muros construidos con gaviones anclados al terreno entre los que se intercalan capas de ramas de especies con capacidad de reproducción vegetativa cuyas raíces al desarrollarse acaban alcanzando el talud, arraigando en él y consolidando así la estructura. Las ramas también se pueden colocar dentro de los propios gaviones. Esta estructura, de instalación cara y laboriosa, proporciona estabilidad a largo plazo a taludes y riberas de pendientes elevadas en los que otras técnicas pueden fallar, y se puede aplicar en cursos de agua con corrientes de alta energía.

Figura 16. Esquema de gaviones vegetados



Fuente: Mataix, 2007

2.2.3.6 Geomallas sintéticas

Se trata de un término que engloba una amplia gama de productos de base sintética que se fijan al suelo con piquetas, clavos o grapas y una vez instalados sobre el talud se rellenan de tierra y se siembran, estabilizando el terreno gracias al aumento de la resistencia a la fricción y al esfuerzo cortante. Se diferencian de las mallas orgánicas en que son permanentes, dando una protección durante un periodo mayor, por lo que se aplican en sitios de restauración más compleja. Las geomallas sintéticas, que pueden ser de diversos tipos (bidimensionales, tridimensionales, volumétricas, etc.), se emplean para proteger la superficie de márgenes y taludes frente a la erosión y sujetar las capas superficiales del terreno, y están especialmente indicadas para el tratamiento de aquellos con gran pendiente en los que es necesario aportar suelo. También favorecen y aceleran los procesos de arraigo y desarrollo de las plantas, pero precisan de actuaciones complementarias para la implantación del material vegetal. Se suelen utilizar de manera combinada con otras técnicas de recubrimiento como la siembra, la hidrosiembra o el estaquillado.

Figura 17. Instalación de geomalla permanente en los trabajos de restauración y estabilización de los márgenes del torrente de Llops en el término municipal de Martorell, Barcelona (izquierda y centro) y evolución tres años después (derecha)



Fuente: Aquanea S.L.

2.2.4 Resumen de las técnicas actuales de restauración de cauces y consideraciones prácticas para su aplicación

Como se ha podido comprobar en los apartados anteriores, existe un gran número de técnicas de restauración que permiten proteger las riberas contra la erosión y estabilizar los márgenes. Todas ellas desempeñan, por lo tanto, una función de control de la erosión y estabilización a la vez que cumplen una serie de funciones ecológicas y paisajísticas. A continuación se recoge una tabla resumen en la que se indican una serie de atributos de las diferentes opciones de intervención y ofrece una visión global del conjunto de propuestas.

Tabla 1. Resumen de las técnicas de bioingeniería empleadas en la restauración de cauces

		TÉCNICAS VIVAS										TÉCNICAS MIXTAS						
		de recubrimiento					de estabilización											
		Siembra	Hidrosiembra	Tepes	Herbazal estructurado en fibra	Geomalla orgánica	Plantación	Estaquillado	Fajinas	Empalizada	Biorrollos	Esteras o cobertura de ramas	Escollera vegetada	Tierra reforzada o muro verde	Entramado vivo	Enrejado vivo	Gaviones vegetados	Geomalla sintética
Protección contra la erosión	Inmediata			X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	A medio plazo	X	X															
	A largo plazo	X	X				X	X										
	Superficial	X	X	X		X						X						X
	A poca profundidad				X		X	X	X	X	X		X	X		X	X	
	A mucha profundidad						X	X					X	X	X	X	X	
Disminución de la escorrentía superficial	Bastante o mucho	X	X	X	X	X			X	X	X	X			X	X		X
	Poco						X	X										
Efecto visual	Inmediato			X	X		X											
	A medio plazo	X	X		X	X	X				X	X				X		X
	A largo plazo							X	X	X	X	X	X	X	X		X	

Fuente: Elaboración propia (completado de ACA, 2008)

En las siguientes tablas se resumen la velocidad del flujo y el tamaño de los sólidos admitido por las distintas técnicas de bioingeniería.



Tabla 2. Aplicabilidad de las técnicas de bioingeniería en función de la velocidad de la corriente y el transporte de sólidos admitido

Velocidad de la corriente	> 6 m/s	3-6 m/s		< 3 m/s	
Transporte de sólidos admitido	Todos los diámetros	> 20 cm	5-20 cm	1-5 cm	< 1 cm
Técnica	Escolleras vegetadas Gaviones vegetados		Escolleras vegetadas Gaviones vegetados Tierras reforzadas o muros verdes Entramado vivo	Siembra Hidrosiembra Transplante de tepes Herbazales estructurados en fibra Geomallas orgánicas y sintéticas Plantación de árboles y arbustos Estaquillado Fajinas Empalizadas Biorrollos Esteras o coberturas de ramas Entramados vivos Enrejados vivos Tierras reforzadas o muros verdes Escolleras vegetadas Gaviones vegetados	

Fuente: Sauli *et al.*, 2002

Tabla 3. Aplicabilidad de las técnicas de bioingeniería en función de la velocidad de la corriente

Velocidad de la corriente	Técnica de bioingeniería
 < 3 m/s 3 - 6 m/s > 6 m/s	Siembra Hidrosiembra Geomallas orgánicas Geomallas sintéticas Estaquillado Transplante de tepes Herbazales estructurados en fibra Plantación de árboles y arbustos Esteras o coberturas de ramas Fajinas Empalizadas Biorrollos Enrejados vivos Entramados vivos Tierras reforzadas o muros verdes Gaviones vegetados Escolleras vegetadas

Fuente: Sauli *et al.*, 2002

Pero la aplicación de una u otra técnica depende además de la pendiente del talud en la que se va a realizar la actuación, tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4. Aplicabilidad de las técnicas de bioingeniería en función de la pendiente del talud

Pendiente máxima	Técnica
Muy baja (< 15°)	Siembra
Baja (15° - 35°)	Hidrosiembra Transplante de tepes Herbazal estructurado en fibra Esteras o coberturas de ramas Estaquillado Fajinas*
Moderada (35° - 45°)	Empalizadas Biorrollos Geomallas orgánicas Plantación de árboles y arbustos
Alta (> 45°)	Enrejado vivo Entramado vivo Geomallas sintéticas Tierras reforzadas o muro verde Escollera vegetada Gaviones vegetados

* Soportan pendientes superiores si se sitúan al pie del talud

Fuente: Elaboración propia

La tabla anterior muestra la pendiente máxima admisible por las distintas técnicas de bioingeniería, pero su inclusión en una categoría no significa que no sean de aplicación en pendientes inferiores. Así, la plantación de árboles y arbustos se considera que se puede realizar en taludes de pendiente moderada, pero también se recomienda en aquellos de pendiente inferior.

Otros aspectos a considerar en la elección de la técnica a emplear son el nivel medio del agua en condiciones ordinarias, las fluctuaciones del nivel del agua a lo largo del año, la longitud del talud, etc.

En la siguiente tabla se recoge de forma simplificada un resumen de las limitaciones indicadas a lo largo del documento:



Tabla 5. Resumen de las limitaciones a la aplicación de las técnicas de bioingeniería en restauración de cauces

		TÉCNICAS VIVAS											TÉCNICAS MIXTAS					
		de recubrimiento					de estabilización											
		Siembra	Hidrosiembra	Tepes	Herbazal estructurado en fibra	Geomalla orgánica	Plantación	Estaquillado	Fajinas	Empalizada	Biorrollos	Estera o cobertura de ramas	Escollera vegetada	Tierra reforzada o muro verde	Entramado vivo	Enrejado vivo	Gaviones vegetados	Geomalla sintética
Capacidad para soportar la tracción hidráulica	< 3 m/s	X	X	X	X											X		
	3 - 6 m/s					X	X	X	X	X	X	X						X
	> 6 m/s												X	X	X		X	
Velocidad de la corriente	< 5 cm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X		X
	5 - 20 cm													X	X			
	> 20 cm												X				X	
Transporte de sólidos admitido	< 15°	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					X		X
	15° - 35°												X	X	X		X	
Pendiente máxima del talud	35° - 45°	X																
	> 45°		X	X	X			X	X			X						
	Baja					X	X			X	X							
	Moderada												X	X	X	X	X	X

Fuente: Elaboración propia a partir de ACA, 2008

No obstante, es importante tener en cuenta que para asegurar la estabilidad y protección de márgenes y orillas lo más adecuado es emplear varias de las técnicas indicadas anteriormente. Así, en la parte baja y hasta la cota de las crecidas habituales habría que situar los elementos que ofrezcan más resistencia al flujo, como empalizadas, biorrollos, entramados, escolleras vegetadas, etc.; hasta la cota correspondiente a la máxima crecida ordinaria pueden emplearse elementos como mantas orgánicas, coberturas de ramas, etc., y por encima de esta cota recurrir, salvo circunstancias singulares, solamente a la plantación.

2.3 Estimación económica de las técnicas de restauración de cauces

La base de precios empleada para la estimación del coste de las técnicas descritas en apartados anteriores ha sido el “Cuadro de Precios Unitarios de la Actividad Forestal. Edición 2004” del Colegio de Ingenieros de Montes. Los precios no disponibles en esta base de datos fueron obtenidos del “Manuale d’Ingegneria Naturalistica applicabile al settore idraulico. Regione Lazio” (Sauli *et al.*, 2002).

Todos los precios se han actualizado al año 2011 mediante dos métodos:

- Actualización a 2009 con el índice ponderado de costes de ingeniería civil (Ministerio de Fomento, 2009) y actualización del tramo 2009-2011 con el Índice de Precios de Consumo (base 2006 - Instituto Nacional de Estadística).
- Actualización de todo el periodo con el Índice de Precios de Consumo (base 2006 - Instituto Nacional de Estadística).

En las siguientes tablas se resume la estimación del coste de las diferentes actuaciones de restauración indicadas en los apartados anteriores. Los costes proceden en todos los casos del “Cuadro de Precios Unitarios de la Actividad Forestal. Edición 2004” del Colegio de Ingenieros de Montes, salvo que se indique lo contrario.

Actuaciones	Presupuesto 2011 (actualización A) €/m ²	Presupuesto 2011 (actualización B) €/m ²
m ² siembra manual semilla comb. césped (mezcla varias esp.) sobre t. preparado con Mezcla semillas para 1 m ² cespced para zonas con poco mant. (c. park)	4,97	4,50
m ² siembra mec. semilla combinada césped (mezcla varias esp.) 1000<S<5000 m ² con Mezcla semillas para 1 m ² cespced para zonas con poco mant. (c. park)	3,85	3,49

Actuaciones	Presupuesto 2011 (actualización A) €/m ²	Presupuesto 2011 (actualización B) €/m ²
m ² hidrosiembra cualquier terreno y pendiente, con hidrosebradora S<1000 m ² con Mezcla de semillas para hidrosiembra zonas de clima oceánico subhúmedo	1,40	1,27
m ² hidrosiembra cualquier terreno y pendiente, con hidrosebradora S<1000 m ² con Mezcla de semillas para hidrosiembra zonas de clima árido o semiarido pH>6,5	1,43	1,29
m ² hidrosiembra cualquier terreno y pendiente, con hidrosebradora S<1000 m ² con Mezcla de semillas para hidrosiembra zonas de clima continental pH<6,5	1,43	1,29
m ² hidrosiembra cualquier terreno y pendiente, con hidrosebradora S<1000 m ² con Mezcla de semillas para hidrosiembra zonas de clima frío de montaña	1,35	1,22
m ² hidrosiembra cualquier terreno y pendiente, con hidrosebradora S<1000 m ² con Mezcla de semillas para hidrosiembra zonas de clima del litoral mediterráneo	1,29	1,17
m ² hidrosiembra cualquier terreno y pendiente, con hidrosebradora S<1000 m ² con Mezcla de semillas para hidrosiembra zonas de clima árido salino	1,37	1,24
m ² hidrosiembra cualquier terreno y pendiente, con hidrosebradora S<1000 m ² con Mezcla de semillas para hidrosiembra zonas encharcadas o humedales	1,37	1,24
m ² hidrosiembra cualquier terreno y pendiente, con hidrosemb. 1000 <S<2000 m ² con Mezcla de semillas para hidrosiembra zonas de clima oceánico subhúmedo	1,43	1,41
m ² hidrosiembra cualquier terreno y pendiente, con hidrosemb. 1000 <S<2000 m ² con Mezcla de semillas para hidrosiembra zonas de clima árido o semiarido pH>6,5	1,45	1,43



Tabla 7. Estimación del coste de las técnicas vivas de recubrimiento: hidrosiembra

Actuaciones	Presupuesto 2011 (actualización A) €/m ²	Presupuesto 2011 (actualización B) €/m ²
m ² hidrosiembra cualquier terreno y pendiente, con hidrosemb. 1000 <S<2000 m ² con Mezcla de semillas para hidrosiembra zonas de clima continental pH<6,5	1,45	1,43
m ² hidrosiembra cualquier terreno y pendiente, con hidrosemb. 1000 <S<2000 m ² con Mezcla de semillas para hidrosiembra zonas de clima frío de montaña	1,37	1,36
m ² hidrosiembra cualquier terreno y pendiente, con hidrosemb. 1000 <S<2000 m ² con Mezcla de semillas para hidrosiembra zonas de clima del litoral mediterráneo	1,32	1,31
m ² hidrosiembra cualquier terreno y pendiente, con hidrosemb. 1000 <S<2000 m ² con Mezcla de semillas para hidrosiembra zonas de clima árido salino	1,40	1,38
m ² hidrosiembra cualquier terreno y pendiente, con hidrosemb. 1000 <S<2000 m ² con Mezcla de semillas para hidrosiembra zonas encharcadas o humedales	1,40	1,38
m ² hidrosiembra cualquier terreno y pendiente, con hidrosembradora S>2000 m ² con Mezcla de semillas para hidrosiembra zonas de clima oceánico subhúmedo	1,65	1,64
m ² hidrosiembra cualquier terreno y pendiente, con hidrosembradora S>2000 m ² con Mezcla de semillas para hidrosiembra zonas de clima árido o semiarido pH>6,5	1,68	1,66
m ² hidrosiembra cualquier terreno y pendiente, con hidrosembradora S>2000 m ² con Mezcla de semillas para hidrosiembra zonas de clima continental pH<6,5	1,68	1,66
m ² hidrosiembra cualquier terreno y pendiente, con hidrosembradora S>2000 m ² con Mezcla de semillas para hidrosiembra zonas de clima frío de montaña	1,60	1,59
m ² hidrosiembra cualquier terreno y pendiente, con hidrosembradora S>2000 m ² con Mezcla de semillas para hidrosiembra zonas de clima del litoral mediterráneo	1,55	1,54
m ² hidrosiembra cualquier terreno y pendiente, con hidrosembradora S>2000 m ² con Mezcla de semillas para hidrosiembra zonas de clima árido salino	1,63	1,61
m ² hidrosiembra cualquier terreno y pendiente, con hidrosembradora S>2000 m ² con Mezcla de semillas para hidrosiembra zonas encharcadas o humedales	1,63	1,61

Tabla 8. Estimación del coste de las técnicas vivas de recubrimiento: transplante de tepes

Actuaciones	Presupuesto 2011 (actualización A) €/m ²	Presupuesto 2011 (actualización B) €/m ²
m ² colocación tepe en rollos manuales de 2,5x0,4x0,01 m o losetas, en S<1000 m ² con m ² tepe en rollos de 2,5x0,4x0,02 m para la implant. 1m ² cesped cualquier uso	17,46	15,81

Tabla 9. Estimación del coste de las técnicas vivas de recubrimiento: herbazal estructurado en fibra²

Actuaciones	Presupuesto 2011 (actualización A) €/m ²	Presupuesto 2011 (actualización B) €/m ²
m ² plantación de herbazales estructurados en fibra de coco y vegetados con helófitas	14,85	14,73

² Fuente de los precios: MEDIODES, Consultoría Ambiental y Paisajismo S.L.

Tabla 10. Estimación del coste de las técnicas vivas de recubrimiento: geomallas orgánicas

Actuaciones	Presupuesto 2011 (actualización A) €/m ²	Presupuesto 2011 (actualización B) €/m ²
m ² estab. suelos o taludes p. inclinados, manta paja 100 % armada red esparto	5,41	4,90
m ² estab. suelos o taludes p. inclinados, manta coco 100 % armada red esparto	7,39	6,69
m ² estab. suelos/taludes p. inclinados, manta paja/coco 50 % armada red esparto	5,79	5,25

Tabla 11. Estimación del coste de las técnicas vivas de estabilización: plantación de árboles y arbustos

Actuaciones	Presupuesto 2011 (actualización A) €/m ²	Presupuesto 2011 (actualización B) €/m ²
Apertura de 1000 hoyos de 40x40x30, pdte.< 50%, s. tránsito. y Plantación 1000 plantas en hoyos, p.< 50% band. (< 250 cc), s.s. o tran. con FR. Salix alba (L.), en contenedor 0,14/0,16 m de perímetro normal incluido Distrib.1000 plantas band. (env.< 250 c.c.), dist.< 500 m, pdte.< 50%. y transporte de 50 km ³	1,71	1,55
Apertura de 1000 hoyos de 40x40x30, pdte.< 50%, s. pedreg. y Plantación 1000 plantas en hoyos, p.< 50% band. (< 250 cc), s. pedr. con FR. Salix alba (L.), en contenedor 0,14/0,16 m de perímetro normal incluido Distrib.1000 plantas band. (env.< 250 c.c.), dist.< 500 m, pdte.< 50%. y transporte de 50 km ⁴	1,75	1,58
m ² preparación manual del terreno (laboreo, desterronado, y nivelado) y m ² plantación arbustos pequeños, en t. inclinado o sujeción terraplen, d=5 p/m ² con AR. Tamarix africana (L.), raíz desnuda de 0,10/0,20 m de altura incluido transporte de 50 km	13,63	12,34
m ² preparación manual del terreno (laboreo, desterronado, y nivelado) y m ² plantación arbustos pequeños, en t. inclinado o sujeción terraplen, d=10 p/m ² con AR. Tamarix africana (L.), raíz desnuda de 0,10/0,20 m de altura incluido transporte de 50 km	20,70	18,74

Tabla 12. Estimación del coste de las técnicas vivas de estabilización: estaquillado⁵

Actuaciones	Presupuesto 2011 (actualización A) €/m ²	Presupuesto 2011 (actualización B) €/m ²
m ² plantación de esquejes con una densidad de 2 e/m ² incluido transporte	7,89	6,96
m ² plantación de esquejes con una densidad de 5 e/m ² incluido transporte	19,72	17,40
m ² plantación de esquejes con una densidad de 10 e/m ² incluido transporte	39,43	34,79

³ Presupuesto en €/m² considerando una densidad de plantación de 1.000 pies/ha.

⁴ Presupuesto en €/m² considerando una densidad de plantación de 1.000 pies/ha.

⁵ Fuente de los precios: Sauli *et al.*, 2002.



CEDEX

Actuaciones	Presupuesto 2011 (actualización A) €m	Presupuesto 2011 (actualización B) €m
m fajinada de estacas de pino y rollizos horizontales, para reducir la escor.	36,65	33,18

Actuaciones	Presupuesto 2011 (actualización A) €m	Presupuesto 2011 (actualización B) €m
m fajinada de estacas de pino y r. entrelazadas, para reducir la escorrentía	29,81	26,99

Actuaciones	Presupuesto 2011 (actualización A) €m	Presupuesto 2011 (actualización B) €m
m estabiliz. orillas cauce s/trabajos previos, con biorrollos reveg. coco d=40	152,98	138,50
m estabiliz. orillas cauce s/trabajos previos, con biorrollos reveg. coco d=60	170,49	154,36
m estabiliz. orillas cauce c/trabajos previos, con biorrollos reveg. coco d=40	174,48	157,96
m estabiliz. orillas cauce c/trabajos previos, con biorrollos reveg. coco d=60	194,40	176,00

Actuaciones	Presupuesto 2011 (actualización A) €m	Presupuesto 2011 (actualización B) €m
m recubrimiento con estacas y varas de especies con capacidad de reproducción vegetativa incluida fijación con alambre tensado entre piquetas de madera y medios auxiliares	114,05	100,62

Actuaciones	Presupuesto 2011 (actualización A) €/m ²	Presupuesto 2011 (actualización B) €/m ²
m ² estabilización de riberas mediante construcción de escollera vegetalizable y m ² plantación de esquejes con una densidad de 2 e/m ² incluido transporte	54,02	48,72
m ² estabilización de riberas mediante construcción de escollera vegetalizable y m ² plantación de esquejes con una densidad de 5 e/m ² incluido transporte	65,85	59,16

⁶ Fuente de los precios: Sauli *et al.*, 2002.

⁷ Fuente de los precios de los esquejes: Sauli *et al.*, 2002.

Tabla 18. Estimación del coste de las técnicas mixtas: tierra reforzada o muro verde⁸

Actuaciones	Presupuesto 2011 (actualización A) €/m ²	Presupuesto 2011 (actualización B) €/m ²
m ² muro para contención y protección de taludes p<60° B>30 ^a h<2 m con geotextil y 10ud plantación de esquejes incluido transporte	172,79	155,52

Tabla 19. Estimación del coste de las técnicas mixtas: entramado vivo⁹

Actuaciones	Presupuesto 2011 (actualización A) €/m	Presupuesto 2011 (actualización B) €/m
m estabilización de ribera mediante vallas de rollizos de madera tratada y 10ud plantación de esquejes incluido transporte	285,65	252,02

Tabla 20. Estimación del coste de las técnicas mixtas: enrejado vivo¹⁰

Actuaciones	Presupuesto 2011 (actualización A) €/m ²	Presupuesto 2011 (actualización B) €/m ²
m ² troncos dispuestos perpendicularmente entre ellos y anclados al terreno con piquetas de acero incluidos esquejes, hidrosiembra y medios auxiliares	151,84	133,96

Tabla 21. Estimación del coste de las técnicas mixtas: gaviones vegetados¹¹

Actuaciones	Presupuesto 2011 (actualización A) €/m ³	Presupuesto 2011 (actualización B) €/m ³
m ³ mampostería en seco gavionada, esp.> 50 cm, h< 3 m.d < 3 km. y 10ud plantación de esquejes incluido transporte	138,78	124,73

Tabla 22. Estimación del coste de las técnicas mixtas: geomallas sintéticas

Actuaciones	Presupuesto 2011 (actualización A) €/m ²	Presupuesto 2011 (actualización B) €/m ²
m ² protección suelo, geocelda polietileno de 200x200 mm y h=100 mm	15,21	13,77
m ² protección suelo, geocelda polietileno de 300x300 mm y h=100 mm	11,27	10,20
m ² protección talud rocoso, con malla metálica galvanizada de triple torsión	11,88	10,76

2.4 Tiempo estimado de recuperación de las márgenes en función de la técnica empleada

El tiempo de recuperación de las márgenes depende, por una parte, de su sensibilidad medioambiental y, por otra, del impacto residual de las técnicas empleadas.

⁸ Fuente de los precios de los esquejes: Sauli *et al.*, 2002.

⁹ Fuente de los precios: Sauli *et al.*, 2002.

¹⁰ Fuente de los precios: Sauli *et al.*, 2002.

¹¹ Fuente de los precios de los esquejes: Sauli *et al.*, 2002.



Sensibilidad medioambiental de las márgenes

La sensibilidad medioambiental está relacionada con la calidad inicial del ecosistema, es decir, antes de llevar a cabo el cruce del cauce y su restauración.

Para estimar la sensibilidad medioambiental de márgenes y riberas habrá que prestar especial atención al estado de conservación de los ecosistemas asociados, valorando aspectos como la continuidad longitudinal y transversal del bosque de ribera, su composición y estructura y la capacidad de regeneración natural. La calidad del bosque de ribera se puede estimar mediante el uso de alguno de los índices existentes, como el QBR, el RFV o el RQI, índices que normalmente permiten clasificar el estado del bosque de ribera en las 5 clases propuestas por la Directiva Marco del Agua: muy bueno, bueno, moderado, deficiente o malo.

En cualquier caso, la sensibilidad ambiental se clasificará como máxima si el ecosistema ripícola constituye un hábitat de interés comunitario, es decir, si está contemplado en del anexo I de la Directiva Hábitats (Directiva 92/43/CEE).

A continuación se incluye una tabla orientativa para facilitar la estimación de la sensibilidad medioambiental de las márgenes y riberas sobre las que se van a llevar a cabo las obras:

Sensibilidad medioambiental	Calidad del bosque de ribera	Otros
Alta	Muy buena	Hábitat prioritario del anexo I de la Directiva Hábitats
	Buena	
Media	Moderada	
Baja	Deficiente	
	Mala	

Fuente: Elaboración propia

Así, un tramo que presente un bosque de galería denso formado por especies autóctonas y ejemplares de diferentes edades, cuya calidad se definiría como buena o muy buena, sería un tramo de sensibilidad medioambiental alta, mientras que aquellos en los que sus márgenes estén cubiertas por formaciones de herbáceas o zarzales, con a lo sumo algunos árboles o arbustos dispersos, o bien alineaciones de chopos plantados o de árboles introducidos, así como cañaverales alóctonos, que constituirían tramos de calidad deficiente o mala, se deberían considerar como tramos de sensibilidad medioambiental baja.

El tiempo estimado de recuperación de las márgenes dependerá de lo que tarde el ecosistema ripícola en volver a un estado similar al original, y será por tanto mayor en aquellos tramos de sensibilidad medioambiental alta, pues habrá que esperar a que se desarrolle un bosque de ribera que presente una calidad buena o muy buena.

Impacto residual de las técnicas empleadas

Por lo general, las técnicas de bioingeniería conllevan un impacto residual bajo, ya que se basan en el uso de materiales vegetales vivos (plantas, semillas, partes de plantas, etc.), solos o combinados con materiales inertes (piedra, tierra, madera, acero, etc.).

Del conjunto de las técnicas presentadas en apartados anteriores, tendrán un impacto residual mayor las que conlleven el uso de materiales inertes, es decir, las clasificadas como mixtas, y en concreto aquellas que usen materiales que no sean naturales o biodegradables, como acero, polipropileno, etc. De este modo, se considera que tienen más impacto residual las geomallas sintéticas, las tierras reforzadas o muros verdes y los gaviones vegetados. Además, el tiempo de recuperación será mayor con estas técnicas, ya que tardarán mucho más en integrarse completamente en el paisaje. Por su parte, la estructura de los enrejados y los entramados vivos, al estar hecha de madera, acaba por degradarse con el tiempo y es la vegetación implantada la que continúa con la acción estabilizadora.

El impacto residual de las técnicas y, por tanto, el tiempo de recuperación de las márgenes, dependerá también del tipo de vegetación que se implante. Para minimizarlo, ésta tendrá que ser lo más diversa posible y estar constituida por especies adecuadas a las características del tramo, siempre autóctonas y preferiblemente de procedencia local. Por otra parte, el uso de especies de crecimiento rápido, como los sauces (*Salix spp.*), los tarajes (*Tamarix spp.*) y las adelfas (*Nerium oleander*), reduce el tiempo de recuperación. Por último, recordar que existen ciertas técnicas que proporcionan una cobertura más rápida, como la plantación de árboles y arbustos, los herbazales estructurados en fibra y los tepes.

3. Recomendaciones sobre las técnicas a emplear

La selección final del método de cruce y, en caso de que fuera necesario, de la técnica de restauración, debería ser un ejercicio que busque el equilibrio entre las distintas consideraciones constructivas, económicas y medioambientales citadas en el capítulo anterior y en la primera parte de la guía. Así, el método elegido tendría que ser aquel que resulte factible desde el punto de vista técnico y que ofrezca el nivel necesario de protección medioambiental al menor coste posible.

Los costes de las distintas técnicas de cruce son difíciles de estimar y sistematizar por los siguientes motivos:

- Los condicionantes para realizar el cruce difieren mucho de un sitio a otro, por lo que los costes de una técnica concreta pueden variar de forma muy significativa en función de las circunstancias locales.
- La mayor parte de los cruces en cauces pequeños se llevan a cabo por el mismo equipo que instala la línea principal, y su coste está incluido en el de la instalación de toda la conducción.



CEDEX

- Los contratistas no suelen facilitar sus precios, ya que se trata de una actividad basada en el precio de licitación y adjudicación.

En la siguiente tabla se reflejan los costes relativos que se pueden esperar según la técnica empleada y el tamaño del cauce. Se trata de una tabla orientativa, pues no hay que olvidar que además de la anchura existen otros muchos condicionantes constructivos a tener en cuenta, como pueden ser las dimensiones de la tubería a instalar, la profundidad, la naturaleza del sustrato, etc., por lo que el coste de cada actuación tendría que ser evaluado caso por caso.

Tabla 24. Coste relativo de las técnicas de cruce de cauces

TÉCNICA DE CRUCE		Cauces pequeños (anchura < 10 m)	Cauces medianos (anchura 10-20 m)	Cauces grandes (anchura > 20 m)
Cruce con zanja sin desvío de caudal	Excavadora con arado	Bajo	No aplicable	No aplicable
	Zanjadora	Bajo	Bajo	Bajo
	Retroexcavadora	Bajo	Bajo	Bajo a moderado
	Dragalina	No aplicable	Moderado a alto	Moderado a alto
	Draga	No aplicable	Moderado a alto	Moderado a alto
Cruce con zanja con desvío de caudal	Presas y obras de drenaje	Bajo a moderado	Moderado	No aplicable
	Presas y bombas	Bajo a moderado	Moderado	No aplicable
	Bypass de gran volumen	Bajo a moderado	Moderado	No aplicable
	Recintos estancos	No aplicable	Moderado a alto	Alto
	Desvío del cauce	No aplicable	Moderado a alto	Alto
Cruce sin zanja	Perforación horizontal dirigida	Moderado a alto	Moderado a alto	Moderado a alto
	Perforación horizontal con escudo	No aplicable	No aplicable	Muy alto
	Perforación horizontal por percusión	Alto	Alto	Moderado a alto
	Perforación horizontal a rotación	Alto	Alto	Moderado a alto
	Microtúnel	No aplicable	No aplicable	Muy alto

Fuente: Elaboración propia (modificado y completado de CAPP, CEPA y CGA, 2005)

Si los condicionantes económicos y constructivos se combinan con los medioambientales, se puede obtener una tabla que facilite la toma de decisiones en cuanto a la selección de la técnica de cruce. En cualquier caso, se trata de una tabla cuyo valor es meramente orientativo, ya que hay que insistir en que la selección final dependerá de los condicionantes específicos de cada obra.

Tabla 25. Selección de la técnica de cruce en función de condicionantes técnicos, económicos y medioambientales

TÉCNICA DE CRUCE		Cauces pequeños (anchura < 10 m)			Cauces medianos (anchura 10-20 m)			Cauces grandes (anchura > 20 m)		
		Sensibilidad ambiental			Sensibilidad ambiental			Sensibilidad ambiental		
		Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta
Cruce con zanja sin desvío de caudal	Excavadora con arado	SÍ	O	X	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	Zanjadora	SÍ	O	X	SÍ	O	X	SÍ	O	X
	Retroexcavadora	SÍ	O	X	SÍ	O	X	SÍ	O	X
	Dragalina	NA	NA	NA	€	€/O	X	SÍ	O	X
	Draga	NA	NA	NA	€	€/O	X	SÍ	SÍ	X
Cruce con zanja con desvío de caudal	Presas y obras de drenaje	SÍ	O	X	SÍ	O	X	€	€/O	X
	Presas y bombas	SÍ	O	X	SÍ	O	X	€	€/O	X
	Bypass de gran volumen	SÍ	O	X	SÍ	O	X	€	€/O	X
	Recintos estancos	NA	NA	NA	€	€/O	X	€	€/O	X
	Desvío del cauce	NA	NA	NA	€	€/O	X	€	€/O	X
Cruce sin zanja	Perforación horizontal dirigida	€	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
	Perforación horizontal con escudo	NA	NA	€	NA	NA	€	€	€	SÍ
	Perforación horizontal por percusión	NA	€	SÍ	€	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
	Perforación horizontal a rotación	NA	€	SÍ	€	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
	Microtúnel	NA	NA	€	€	€	SÍ	€	€	SÍ

SÍ Método medioambientalmente admisible

€ Método medioambientalmente admisible pero de coste elevado

O Método medioambientalmente admisible condicionado a la adopción de medidas más exigentes para minimizar impactos tanto durante la construcción como en la restauración

X Método medioambientalmente no adecuado

NA Método no aplicable desde el punto de vista técnico o económico

Fuente: Elaboración propia (modificado y completado de CAPP, CEPA y CGA, 2005)

De las anteriores, las técnicas que dan lugar a alteraciones del lecho y las riberas son las de construcción mediante zanja, tanto sin como con desvío de caudal, y serán por tanto las que precisen de medidas de restauración.

Criterios para la elección de las técnicas de restauración

En cuanto a las técnicas de restauración, como ayuda en el proceso de selección se ha elaborado una tabla o matriz en la que se combinan los criterios de aplicabilidad con los tipos de ríos básicos en función de su pendiente longitudinal y la clasificación de riberas y márgenes en función de la pendiente del talud. Las limitaciones en la aplicación de las técnicas de bioingeniería relativas a la velocidad y transporte de sólidos se han relacionado con los tres grandes tipos de ríos, lo que facilita la selección, pues inicialmente se realizará en función de éstos para corregirla



posteriormente en función de las condiciones locales del tramo en lo que se refiere a pendiente, velocidad, etc.

Tabla 26. Selección de las técnica de restauración de cauces en función del tipo de río y las condiciones locales del tramo

Tipo de río	Ríos de cabecera	Ríos de cuenca media		Ríos de cuenca baja y de planicies aluviales	
Pendiente del cauce	> 4%	2 - 4%		< 2%	
Velocidad de la corriente	> 6 m/s	3-6 m/s		< 3 m/s	
Transporte de sólidos admitido	Todos los diámetros	> 20 cm	5-20 cm	1-5 cm	< 1 cm
Pendiente máxima de la ribera	Muy baja (< 15°)	Escolleras vegetadas Gaviones vegetados	Entramado vivo Geomallas sintéticas Tierras reforzadas o muros verdes Escolleras vegetadas Gaviones vegetados	Siembra	
	Baja (15° - 35°)			Hidrosiembra Transplante de tepes Herbazales estructurados en fibra Estaquillado Esteras o coberturas de ramas	
	Moderada (35° - 45°)			Geomallas orgánicas Plantación de árboles y arbustos Fajinas Empalizadas o trenzados Biorrollos	
	Alta (> 45°)			Entramados vivos Enrejados vivos Geomallas sintéticas Tierras reforzadas o muros verdes Escolleras vegetadas Gaviones vegetados	

Fuente: Elaboración propia (modificado y completado de Sauli *et al.*, 2002)

La tabla anterior, de la que se han excluido las técnicas duras o de ingeniería clásica (a utilizar sólo cuando no sea posible la restauración mediante técnicas de bioingeniería), es de aplicación a las zonas que se ubican entre el nivel normal del agua y el alcanzado durante eventos de crecida. Fuera de éstas se recomienda elegir la técnica en función de la pendiente del talud a restaurar, tal y como se recoge a continuación.

Tabla 27. Selección de las técnica de restauración de cauces en función de la pendiente del talud

Pendiente máxima	Técnica
Muy baja (< 15°)	Siembra
Baja (15° - 35°)	Hidrosiembra Transplante de tepes Esteras o coberturas de ramas Estaquillado Fajinas
Moderada (35° - 45°)	Geomallas orgánicas Plantación de árboles y arbustos
Alta (> 45°)	Enrejado vivo Entramado vivo Geomallas sintéticas Tierras reforzadas o muro verde Escollera vegetada Gaviones vegetados

Fuente: Elaboración propia a partir de diversas fuentes

Como elemento adicional y de gran relevancia para la toma de decisiones, en la Tabla 28 se muestran los costes relativos de cada una de las técnicas, y que suponen un condicionante más a la hora de elegir las medidas de restauración a adoptar.

Tabla 28. Coste relativo de las técnicas de restauración de cauces

	TÉCNICAS VIVAS										TÉCNICAS MIXTAS					
	de recubrimiento					de estabilización					Entramado vivo	Enrejado vivo	Tierra reforzada o muro verde	Escollera vegetada	Gaviones vegetados	Geomalla sintética
Siembra	Hidrosiembra	Tepes	Herbazal estructurado en fibra	Geomalla orgánica	Plantación	Estaquillado	Fajinas	Empalizada o trenzado	Biorrollos	Esteras o cobertura de ramas						
Coste bajo	X	X			X		X									
Coste medio			X	X		X	X	X	X	X				X		X
Coste elevado											X	X	X		X	

Fuente: Elaboración propia (modificado y completado de ACA, 2008)

Por último, se hace necesario incorporar al proceso de selección el concepto de sensibilidad medioambiental, que, junto con el impacto residual, determina el tiempo de recuperación del tramo. Con este objeto, se ha elaborado la siguiente tabla, en la que queda reflejado que conforme aumenta la sensibilidad del medio se reducen las opciones hacia aquellas de menor impacto residual y tiempo de restauración más corto.



Tabla 29. Selección de las técnica de restauración de cauces en función de la sensibilidad ambiental del tramo

Pendiente máxima	Sensibilidad medioambiental del tramo		
	Alta	Media	Baja
Muy baja (< 15°)	Se recomienda el uso de técnicas de cruce sin zanja	Herbazal estructurado en fibra Estaquillado Fajinas Esteras o coberturas de ramas	Siembra
Baja (15° - 35°)			Hidrosiembra Transplante de tepes Herbazales estructurados en fibra Estaquillado Fajinas Esteras o coberturas de ramas
Moderada (35° - 45°)		Plantación de árboles y arbustos Empalizadas Biorrollos	Geomallas orgánicas Plantación de árboles y arbustos Empalizadas o trenzados Biorrollos
Alta (> 45°)		Enrejado vivo Entramado vivo	Geomallas sintéticas Entramados vivos Enrejados vivos Tierras reforzadas o muros verdes Escolleras vegetadas Gaviones vegetados

Fuente: Elaboración propia

Conviene recordar que las pendientes indicadas en las tablas anteriores se refieren a las máximas admisibles para la aplicación de las distintas técnicas, por lo que éstas se podrían emplear en las categorías de pendiente inferior, y que, tal y como se ha comentado en el apartado correspondiente, lo más adecuado es la combinación de varias de ellas en función de su localización en el talud y respecto a los niveles característicos del agua.

4. Bibliografía

- ACA. 2008. *La gestió i recuperació de la vegetació de ribera. Guia tècnica per a actuacions en riberes*. Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge.
- Bosch, J. & Argimon, X.. 2010. *NTJ 12S Parte 5: Obras de bioingeniería: técnicas de recubrimiento y de estabilización aplicables en ámbitos fluviales*. FEAC - Normas Tecnológicas de Jardinería y Paisajismo.
- CAPP, CEPA y CGA. 2005. *Pipeline Associated Watercourse Crossings, 3rd Edition*. Prepared by TERA Environmental Consultants and Salmo Consulting Inc. Calgary, Alberta.
- Colegio de Ingenieros de Montes. 2004. *Cuadro de Precios Unitarios de la Actividad Forestal. Edición 2004*. Madrid.
- Mataix, C. 2007. *Técnicas de revegetación de taludes*. En: *Restauración de ecosistemas mediterráneos*. Coord.: Rey, J.M. Universidad de Alcalá de Henares.
- Ministerio de Fomento. 2010. *Anuario Estadístico 2009*. Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Fomento, Madrid.



CEDEX

- Palmeri, F., Silván F., Prieto, I. 2001. *Manual de técnicas de ingeniería naturalística*. Administración de la Comunidad Autónoma del País Vasco, Departamento de Transportes y Obras Públicas.
- Sangalli, P. 2008. *Técnicas de ingeniería biológica utilizadas en la restauración fluvial*. En: *Áreas de ribera sostenibles. Una guía para su gestión*. Coords.: Arizpe, D., Mendes, A., Rabaça, J. E. Generalitat Valenciana.
- Sangalli, P. 2010. *Bioingeniería en ámbito fluvial*. Curso de restauración de áreas degradadas, Burgos 3-14 mayo 2010. Asociación Española de Ingeniería del Paisaje.
- Sauli G., Cornelini, P., Preti, F. 2002. *Manuale d'Ingegneria Naturalistica applicabile al settore idraulico*. Regione Lazio.

Madrid, noviembre de 2011

El Director del trabajo,

Fernando Magdaleno Mas
Doctor Ingeniero de Montes
Consejero Técnico