

Material vegetal vivo
como elemento de construcción

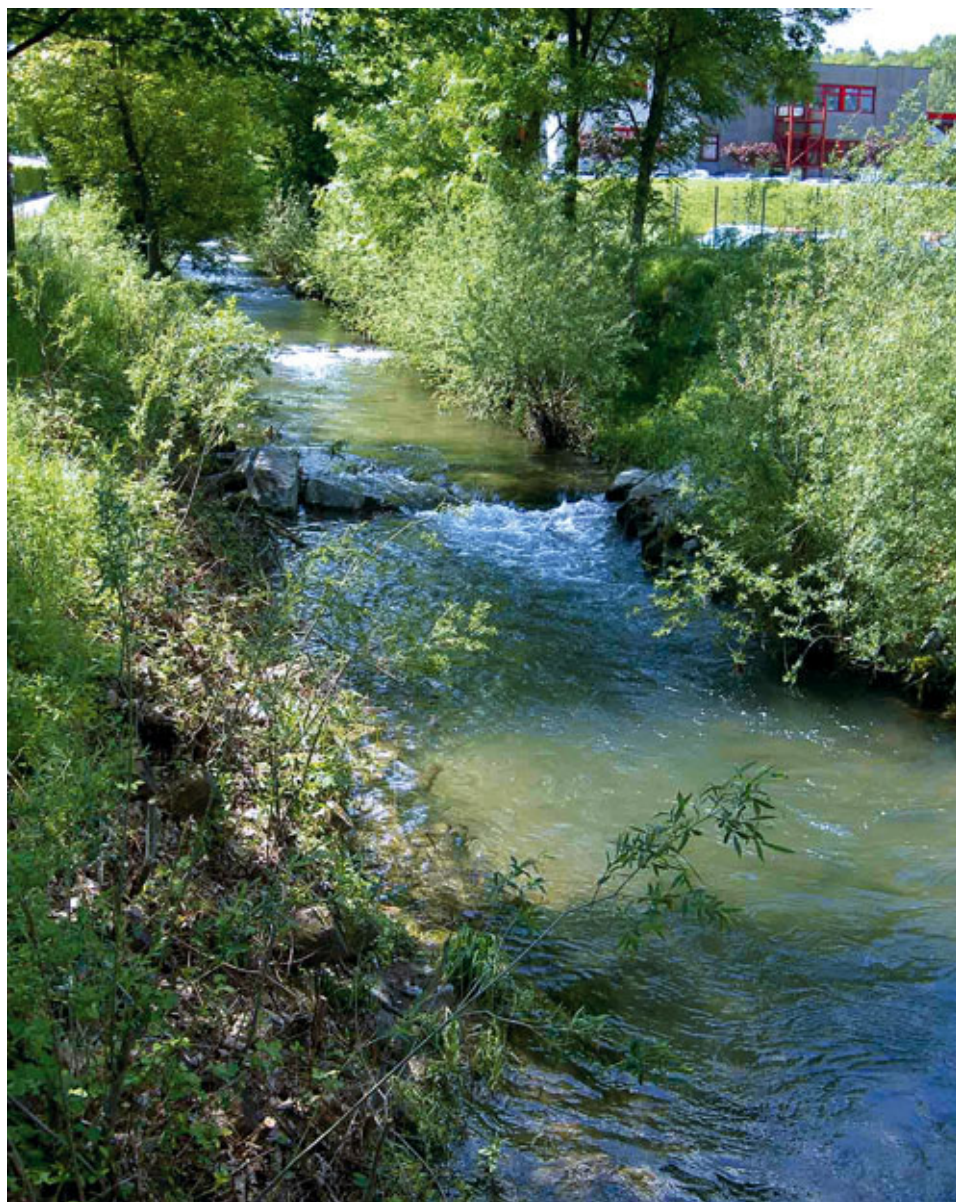
¿Qué es la ingeniería biológica o "bioingeniería"?

Paola Sangalli

Asociación Española
de Ingeniería del Paisaje.
aeip@telefonica.net.

**La ingeniería biológica
o bioingeniería se utiliza
en todos los ámbitos
de obra civil,
especialmente
en el ámbito
de la consolidación
de taludes, riberas
y para el control
de la erosión**

La ingeniería del paisaje se describe también como la disciplina constructiva que persigue objetivos técnicos, ecológicos, estéticos y económicos, utilizando sobre todo semillas, plantas y comunidades vegetales solos o en combinación con materiales inertes como piedra, tierra, madera, hierro o acero como elementos constructivos.





La ingeniería biológica comprende una serie de técnicas que utilizan material vegetal vivo como elemento de construcción, sólo o combinado con materiales inertes, dentro del campo de la restauración ambiental. La ingeniería biológica o bioingeniería se utiliza en todos los ámbitos de obra civil, especialmente en el ámbito de consolidación de taludes, riberas y para el control de la erosión.

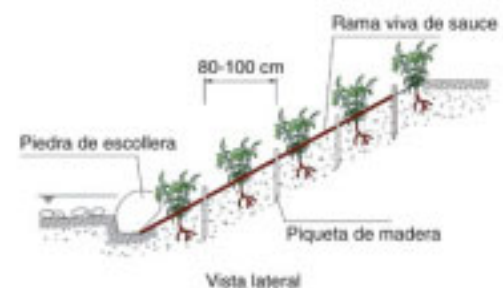
El nombre proviene del término alemán "Ingenieurbiologie" y en castellano se traduce como "ingeniería biológica", "bioingeniería" o "ingeniería del paisaje".

De manera más concreta y de acuerdo con la definición del profesor austríaco H. M. Schiechteln, considerado el padre de esta disciplina, se entiende por ingeniería biológica, bioingeniería o ingeniería del paisaje a "la disciplina constructiva que persigue objetivos técnicos, ecológicos, estéticos y económicos, utilizando sobre todo materiales vivos como semillas, plantas, partes de plantas y comunidades vegetales solos o en combinación con materiales inertes como piedra, tierra, madera, hierro o acero como elementos constructivos". Estos objetivos se consiguen aprovechando los múltiples rendimientos de las plantas y utilizando técnicas constructivas de bajo impacto ambiental.

La ingeniería biológica tiene su origen en la conjunción de técnicas forestales con técnicas de ingeniería tradicional; ha sido desarrollada principalmente en Centro Europa: Austria, Suiza, Alemania y en menor medida Italia y Francia, países que formando parte del Arco Alpino, tienen una tradicional sensibilidad por el mantenimiento del entorno natural y tratan de regenerar los impactos producidos por sus grandes obras, mediante técnicas que activen o potencien la regeneración natural. No se trata de una disciplina que sustituya a la ingeniería clásica, pero, sin embargo, hay que entenderlo como un elemento necesario y complementario en las obras de ingeniería convencional.

Está suficientemente documentado que una capa de plantas protege la superficie del suelo contra la erosión y que la inexistencia de vegetación acelera los procesos erosivos (Siechteln, 1.993). El uso de plantas como material para estabilizar el suelo está frecuentemente asociado al empleo de materiales inertes, secundarios, cuya finali-

El origen de la ingeniería biológica se sitúa en torno a la Edad Media, cuando los únicos elementos constructivos eran la piedra y la madera. La sujeción de deslizamientos, caminos y terrenos erosionados por arroyos, aludes y cárcavas se efectuaba combinando estos materiales con plantas vivas





Investigación científica, incorporación de nuevos materiales industriales y evolución de criterios y capacidades técnicas, han llevado a la consolidación de la bioingeniería, que se ha convertido en un instrumento operativo no sólo para el control de la erosión, sino también para la protección del ambiente natural

dad es ayudar a establecer unas condiciones físicas en las primeras fases, cuando todavía el material vegetal no ha llegado a su efectividad óptima (Lovejoy, 1.993).

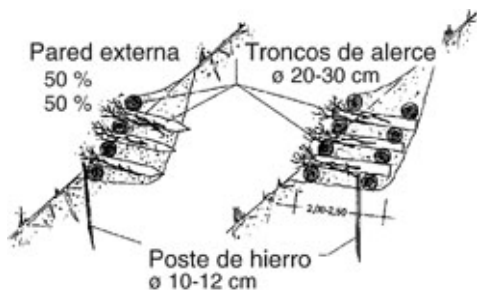
Muchas de las técnicas que forman parte de la ingeniería biológica son conocidas en la península: hidrosiembras, utilización de mantas orgánicas, muros verdes, pero hay numerosas técnicas con gran posibilidad de aplicación que resultan menos conocidas: lechos de ramaje, entramados de madera, peldaños de leña y roca, faginas drenantes, trenzados de mimbre y así hasta más de ciento cincuenta técnicas distintas que forman parte de esta disciplina.

Las técnicas de bioingeniería se pueden aplicar en todos aquellos lugares donde las plantas que se utilizan como material vivo constructivo puedan crecer bien, en las zonas templadas, subtropicales y tropicales. Los límites claros son las zonas climáticas frías, áridas y semiáridas.

Orígenes de estas técnicas

El origen de las técnicas de ingeniería biológica se sitúa en torno a la Edad Media, época en que las técnicas constructivas eran de tipo empírico, basado en la experiencia y en la observación de los resultados y en donde los únicos elementos constructivos que existían eran las piedras y la madera. La sujeción de deslizamientos, caminos y terrenos erosionados por arroyos, aludes y cárcavas se efectuaba con estos materiales y su combinación con plantas vivas.

A finales del siglo XVIII se tiene constancia de las primeras obras publicadas que hacen referencia a la Ingeniería biológica como disciplina. Esto permite establecer el origen de estas técnicas en la Europa Alpina, particularmente en Austria y Suiza. En el año 1886 se publicó una obra recopilatoria titulada "Estabilización de las Riberas de nuestros Ríos y Desprendimientos de Tierras" (Robert Lauterburg,) Durante el siglo XIX e inicios del XX estas técnicas se aplicaron principalmente en obras de restauración hidrológico-forestal. La aparición de nuevas técnicas y materiales, sobre todo el hormigón, hizo que las técnicas de ingeniería biológica quedaran relegadas al ámbito rural y forestal de la zona centroeuropea y perdieran relevancia a favor de estas últimas.



En la década de los 30, en el siglo XX, se sufrió una de las crisis económicas más graves de Europa Occidental. Esto permitió que muchas de las técnicas de bioingeniería se rescataran debido a su bajo coste. En la Alemania de anterior a la Segunda Guerra Mundial se integraron en la ingeniería de ríos y autopistas y en 1936 se creó un centro oficial para investigación en ingeniería biológica. En una época de fuerte recesión, los deslizamientos, la erosión de los torrentes, las avalanchas y los aludes necesitaban técnicas artesanales baratas, con materiales disponibles in situ, de manera inmediata y a un coste mínimo. Fueron los operadores forestales pertenecientes a la Administración Pública los que empezaron a experimentar, valorar, codificar y consolidar algunas tipologías y criterios de intervención basados en la utilización de material vivo (plantas) y/o natural (madera, piedras...).

Más recientemente, la divulgación de estos temas ha recibido un notable impulso con publicaciones específicas como "Ingenierubiologie" (Kreuder 1951), "Sicherungsarbeiten im landschaftsbau" (Schichtln 1973), o más actuales, como "Die Weiden in der Praxis" (Schichtln 1992).

Las investigaciones científicas de los últimos 40 años, la incorporación de nuevos materiales industriales, la evolución de los criterios y de las capacidades técnicas han llevado a la consolidación científica de esta disciplina que en base a nuevas exigencias sociales y culturales, y a un cambio en la escala de valores, sobre todo con la emergente conciencia ambiental, se ha convertido en un instrumento operativo, no sólo para el control de la erosión, sino también para protección del ambiente natural. Se ha pasado de la actuación empírica de la agricultura de montaña, centrada exclusivamente en la defensa del suelo y la potencialidad de estas técnicas en el campo general de la defensa del paisaje y del medio ambiente.

Situación en la Península Ibérica

Al igual que en el resto de Europa, las primeras actuaciones se realizaron durante el pasado siglo fundamentalmente en la corrección hidrológica forestal. En España se estableció la repoblación y mejora de montes públicos a través de la ley de 11 Julio de 1877, con el objetivo de evitar la denudación de los suelos necesitados de protección. El real Decreto de Junio de 1901 crea los Servicios hidrológico-forestales los que se deben los primeros proyectos de restauración hidrológico forestal y la creación de coberturas vegetales en amplias áreas de los macizos montañosos de los Pirineos, Sistema Central e Ibérico y Sierra Nevada.

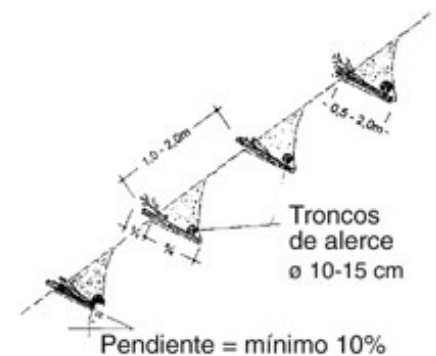
En este tipo de trabajos de corrección hidrológica forestal se aplicaban muchas de las técnicas hoy en día englobadas dentro del término ingeniería biológica. La regresión demográfica del medio rural y el elevado requerimiento de mano de obra que dichas técnicas requieren, provocó el abandono de las mismas. Otra explicación se debe al bajo coste de estas técnicas frente a otros métodos tradicionales de construcción lo que las hace poco atractivas a las empresas ejecutoras e incluso a los propios proyectistas. Desde finales de los años veinte hasta prácticamente los años 80, exceptuando algunas actuaciones concretas en grandes infraestructuras, la presencia de estas técnicas es prácticamente inexistente.

Dado que las técnicas de bioingeniería han sido desarrolladas principalmente en los países del arco alpino, las primeras experiencias se han realizado con pequeñas modificaciones en las áreas de influencia Atlántica, principalmente en la región Norte de la Península Ibérica, donde las condiciones climáticas así como las especies vegetales existentes se asemejan a las centro europeas.

En noviembre de 1993 se realizan las primeras jornadas dedicadas a las técnicas de Ingeniería biológica y en el año 1995 surge la Asociación Española de Ingeniería del Paisaje, uno de cuyos objetivos es la divulgación de técnicas de bioingeniería a nivel nacional



Foto Bonterra Ibérica





Según Schiechteln y Begemann, las técnicas aplicadas en la ingeniería del paisaje cumplen diversas funciones en los ámbitos técnico, ecológico, paisajístico y económico

A partir de finales del siglo XX, surge en la sociedad de nuestro país, aunque con cierto retraso con respecto a otros países europeos, la necesidad de preservar el paisaje y de minimizar las actuaciones antrópicas y se comienzan los trabajos de restauración del paisaje. Las leyes sobre evaluación de impacto ambiental, tanto a nivel nacional como a nivel de Comunidad Autónoma se hacen eco de esta necesidad y se establece la obligación de acompañar los proyectos de una evaluación de Impacto ambiental y de un proyecto de restauración. Es, por tanto, en esta década cuando se rescata el interés por las técnicas de bioingeniería, por tratarse de técnicas que permiten conjugar la eficacia técnica con los objetivos ecológicos y del paisaje. En noviembre de 1993 se realizan las primeras jornadas dedicadas a las técnicas de Ingeniería biológica y en el año 1995 surge la Asociación Española de Ingeniería del Paisaje, uno de cuyos objetivos, como reza en sus estatutos, es la divulgación de las técnicas de bioingeniería a nivel nacional.

Al tratarse de técnicas desarrolladas principalmente en los países del arco alpino (Austria, Suiza, Alemania, Italia) las primeras experiencias se han realizado con pequeñas modificaciones en las áreas de influencia Atlántica, principalmente en la región Norte de la Península, donde las condiciones climáticas así como las especies vegetales existentes se asemejan a las centro europeas. Para su desarrollo a nivel del resto de la Península, de clima mediterráneo, es necesario adaptarlas a las condiciones específicas, basándonos en las primeras experiencias realizadas en zonas climáticas similares, como Italia, Francia o Grecia.

Las limitaciones climáticas expuestas así como otros factores que veremos a continuación, explican que el número de intervenciones y los ejemplos expuestos sean de menor envergadura que los ejemplos de otros países. Sin embargo, estamos empezando.

Eligiendo bien las técnicas así como los materiales vivos e inertes, se obtiene una persistencia extraordinaria con gastos de mantenimiento de poca consideración.



Los efectos de las intervenciones de la bioingeniería al favorecer la introducción de la vegetación modifican las características ecológicas de la zona de intervención. Las funciones ecológicas están ganando importancia, teniendo en cuenta que éstas difícilmente se pueden alcanzar por parte de la ingeniería clásica.

Para qué sirven estas técnicas

Las técnicas de bioingeniería se pueden aplicar en todos aquellos lugares donde las plantas que se utilizan como material vivo constructivo puedan crecer bien, en las zonas templadas, subtropicales y tropicales. Los límites claros son las zonas climáticas frías, áridas y semiáridas.

En Europa, los umbrales de aridez pueden aparecer ocasionalmente en el este de la región mediterránea así como en las áreas nivales alpinas interiores y de Europa del Este. Mucho más frecuentes son los umbrales de frío alpinos y árticos, reconocibles e la zona límite de la vegetación arbórea y en los límites altitudinales de las praderas densas. Cuanto más pobre en especies es una región tanto más limitada es la aplicación en estas zonas de las técnicas de la bioingeniería.

Estas técnicas hoy en día tienen más utilidad que en el pasado, cuando sólo se empleaban en las zonas de montaña. En la actualidad, con los cambios en los modelos económicos y con una mayor sensibilidad hacia los temas ambientales y en términos generales de calidad de vida, la bioingeniería tiene un gran campo de intervención en el paisaje y en la defensa del medio ambiente.

Estos ámbitos de aplicación son: Reconstrucción de ambientes húmedos, zonas costeras, márgenes fluviales y embalses; intervenciones en áreas montañosas, principalmente en la recuperación de desprendimientos, estabilidad de laderas y pistas de esquí; recuperación de obras públicas, autopistas, gaseoductos y vías férreas; renaturalización de minas, canteras, escombreras, y vertederos.

Aunque estas técnicas ofrecen un amplio abanico de posibilidades, tienen asimismo una serie de limitaciones que condicionan su ejecución:

- **Estacionalidad:** los trabajos deben realizarse cuando el material vegetal se encuentra en un estadio vegetativo adecuado y cuando las características climáticas locales son favorables al adecuado enraizamiento de la vegetación. En la utilización de estacas de sauce, el período de intervención será durante la parada vegetativa, esto es desde noviembre a febrero, mientras que para las hidrosiembras el periodo más favorable es la primavera

- **Mantenimiento:** al no ser las intervenciones de efecto inmediato, se deben realizar controles y un mantenimiento tras la realización: entresacas, resiembras, sustitución de plantas, abonados, podas, etc.

- **Personal capacitado:** dado que son técnicas recientes y que deben emplearse simultáneamente a otras técnicas de construcción, una limitación importante lo constituye la falta de personal formado en la ejecución concreta. De ahí la importancia de realizar cursos teórico-prácticos para su formación

- **Obtención del material vegetal a utilizar:** Muchas veces en el mercado no se encuentran las semillas de las especies y variedades más adecuadas a la intervención, por lo que se emplean mezclas de semillas estándar y no siempre las más idóneas. En cuanto a la obtención de sauces, en muchos casos se requieren el permiso de las autoridades competentes para su obtención.

- **Condiciones de seguridad:** estas técnicas pueden sustituir a las técnicas tradicionales solo cuando las condiciones ambientales y de seguridad garanticen su buen funcionamiento. En otros casos, por razones de se-



El resultado de las obras de bioingeniería son sistemas vivos, basados en la sucesión natural, es decir, que permanecen en equilibrio mediante una autorregulación dinámica sin necesidad de aporte de energía artificial



Foto Bonterra Ibérica

Eligiendo bien las técnicas de bioingeniería a aplicar en el paisaje, así como los materiales vivos e inertes, se obtiene una persistencia extraordinaria con gastos de mantenimiento de muy poca consideración



Foto Bonterra Ibérica

guridad, será preferible recurrir a actuaciones de la ingeniería clásica. No se trata tanto de sustituir unas técnicas por otras sino utilizar las más idóneas en cada caso.

Objetivos de estas técnicas

Según Schiechteln y Begemann cumplen diversas funciones: técnicas, ecológicas, paisajísticas y económicas. Las funciones principales de la bioingeniería son las siguientes:

■ **Funciones técnicas:** Se refieren a la protección y estabilización del suelo mediante el sistema radical.

- Protección de la superficie del suelo contra la erosión debido al viento, las precipitaciones, el hielo y la corriente de agua y protección contra la caída de piedras y el viento.

- Estabilización en profundidad del suelo y eliminación y absorción de fuerzas mecánicas nocivas.

- Disminución de la velocidad de la corriente en riberas, agregación y estabilización superficial y/o profunda del suelo, drenajes.

- Favorece la acumulación de nieve, arenas y arrastres de material y aumenta la rugosidad del terreno, creando así una defensa contra aludes.

■ **Funciones ecológicas:** Los efectos de las intervenciones de la bioingeniería al favorecer la introducción de la vegetación modifican las características ecológicas de la zona de intervención. Las funciones ecológicas cada vez están ganando más importancia, teniendo en cuenta que estas difícilmente se pueden alcanzar por parte de la ingeniería clásica:

- Mejora del balance hídrico por un aumento de la interceptación, mejora en la capacidad de retención de agua del suelo y mejora del consumo de agua por las plantas.

- El desarrollo de asociaciones vegetales más estables pertenecientes a las series de vegetación de la zona, en especial el empleo de especies autóctonas que contribuyen a acelerar la recuperación del ecosistema original.

- Drenaje del suelo, protección contra el viento y las inmisiones, desagregación mecánica del suelo por las raíces de las plantas.

- Compensación de las condiciones de temperatura en la zona sub-aérea y en el suelo.

- Sombreado y mejora de la cantidad de nutrientes en el suelo, con el consiguiente aumento de la fertilidad de suelos pobres.

- Protección contra el ruido y aumento de la productividad en áreas agrarias cercanas.

■ **Funciones estéticas:** Encaminados a la mejora del paisaje, siendo algunos de estos objetivos los siguientes:

- Restauración de cicatrices en el paisaje causadas por episodios catastróficos o por las actividades humanas (minería, obra pública, escombreras de inertes, escombreras mineras, vertederos de residuos industriales y urbanos).

- Integración de obras y construcciones en el paisaje
- Pantalla visual para la ocultación de diferentes infraestructuras de fuerte impacto visual.

- Enriquecimiento de los paisajes mediante la creación de focos visuales y nuevas estructuras, formas y colores en la vegetación.



Foto Bonterra Ibérica



Las obras de bioingeniería no son siempre más baratas que las obras de ingeniería clásica. Pero teniendo en cuenta la durabilidad de estas obras, incluyendo los trabajos de mantenimiento, las obras de bioingeniería normalmente son más económicas.

Efectos económicos

Las obras de bioingeniería no son siempre más baratas que las obras de ingeniería clásica. Pero teniendo en cuenta la durabilidad de estas obras, incluyendo los trabajos de mantenimiento, las obras de bioingeniería normalmente son más económicas. Las ventajas más relevantes son:

- Ahorro de costes comparado con las técnicas tradicionales de construcción, aunque este punto no siempre se cumple; ahorro de costes de mantenimiento y saneamiento.

- Creación de zonas verdes y comunidades arbóreas y arbustivas utilizables por la población en terrenos anteriormente degradados o baldíos.

El resultado de las obras de bioingeniería son sistemas vivos, basados en la sucesión natural, es decir, que permanecen en equilibrio mediante una autorregulación dinámica sin necesidad de aporte de energía artificial.

Eligiendo bien las técnicas así como los materiales vivos e inertes, se obtiene una persistencia extraordinaria con gastos de mantenimiento de poca consideración.

Clasificación de las técnicas

Las técnicas se dividen en 4 grandes grupos:

- **Técnicas de recubrimiento:** Son técnicas destinadas a evitar la erosión superficial. Dentro de este grupo se distinguen: siembras de diversos tipos, con o sin acolchados; hidrosiembras tanto de especies herbáceas como especies leñosas; empleo de mantas orgánicas en las siembras; traslado de tepes, o de fragmentos de plantas: rizomas y estolones, principalmente; recubrimiento con varas de salicáceas.

- **Técnicas de estabilización:** Estas técnicas permiten estabilizar el terreno hasta 2 m de profundidad y se basan en la disposición de plantas leñosas obtenidas por reproducción vegetativa y colocada en filas horizontales. Las plantas tienen que tener la capacidad de emitir raíces adventicias de manera que formen un entramado que permita la sujeción del terreno. Dentro de estas técnicas se encuentran: Estaquillados de sauces; lechos de ramaje; sucesión de estacas y faginas o ribalta viva; trenzados de mimbre; faginas de ribera; esteras de ramas; empalizadas.

- **Técnicas mixtas:** A diferencia de las anteriores, estas técnicas conjugan la utilización de elementos vegetales con los materiales tales como madera, acero galvanizado, piedra, hormigón... El material inerte actúa como estabilizador hasta que las plantas sean capaces de realizar esta función. Dentro de estas técnicas se encuentran: Entramados de madera; peldaños de leña; enrejados vivos; tierras reforzadas o muros verdes; mallas tridimensionales, geoceldas etc; gabiones revegetados

- **Técnicas complementarias:** Junto con las técnicas constructivas propiamente dichas, se deben utilizar otras técnicas que completan y complementan las anteriores pero que no cumplen una finalidad de estabilización o protección frente a la erosión, son por ejemplo la plantación de especies leñosas con el fin de acelerar el desarrollo de la vegetación, la creación de barreras anti-ruido, los drenajes, las rampas para peces, etc.

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

BIBLIOGRAFÍA

- **LUCA DE ANTONIS E VINCENZO MARIA MOLINARI**
Interventi di sistemazione del territorio con tecniche d'Ingegneria Naturalistica Regione Piemonte, 2003.
- **AUTORES VARIOS**
1as Jornadas de Bioingeniería. Fuenterrabía: Asociación Española de Ingeniería del Paisaje, 1992.
- **AUTORES VARIOS**
I Congreso Asociación Española de Ingeniería del paisaje - Libro de Ponencias. Granada: Ed. Adhara, S.L., 1995.
- **AUTORES VARIOS**
IECA Soil Stabilization Series: Methods and Techniques for Using Bioengineering to Control Erosion Volumen 5. Steamboat Springs (CO): IECA, 1998.
- **SCHIECHTL, H. M.**
Manual de ordenación de cuencas hidrográficas. Estabilización de laderas con tratamientos del suelo y la vegetación. Roma: Guías FAO: Conservación 13/1. FAO, 1986.
- **SCHIECHTL, H. M.; STERN, R.**
Ingegneria naturalistica. Manuale delle opere in terra. Ed. Castaldi-Feltre, 1992.
- **SCHIECHTL, H. M.; STERN, R.**
Ground Bioengineering Techniques for Slope Protection and Erosion Control. Blackwell Science.
- **ZEH, HELGARD**
Tecniche di Ingegneria Naturalistica. Milano: Il Verde Ed., 1997.
- **NTJ 12S PARTE 2:**
Técnicas de bioingeniería. Técnicas de estabilización.
- **NTJ 12S PARTE 3:**
Técnicas de bioingeniería. Técnicas mixtas o combinadas.