



Bioingeniería o Ingeniería del Paisaje

Apellidos, nombre	Pachés Giner, Maria AV (mapacgi@upvnet.upv.es)
Departamento	Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente
Centro	Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

1 Resumen de las ideas clave

La actividad humana genera impactos ambientales en el entorno que incrementan la erosión de los suelos, alteran las características de la cubierta vegetal, contaminan el agua, aire y tierra, destruyen los hábitats y deterioran la calidad del paisaje.

En las últimas décadas estas alteraciones de origen antrópico se están minimizando y corrigiendo mediante la bioingeniería o ingeniería del paisaje, aplicada a muchos ámbitos de la obra civil. En esta disciplina las técnicas utilizadas se basan principalmente en el uso y aprovechamiento de las propiedades de materiales vivos (plantas, fragmentos de plantas o comunidades vegetales) combinados con el uso de otros materiales inertes (piedras, maderas, etc.). La aplicación de estas técnicas, alternativas a las clásicas de la ingeniería civil, permite el logro de los objetivos técnicos y estructurales necesarios para resolver los problemas propios de un entorno aportando, además, beneficios ambientales, estéticos y económicos.

Por todo ello, la bioingeniería se ha convertido en una moderna herramienta de diseño que es clave en la aplicación de Soluciones Basadas en la Naturaleza.



Leonardo da Vinci

“Las raíces de los sauces previenen el colapso de los taludes de los canales, y las ramas de los sauces, que se colocan en los márgenes y después se cortan cada año, se convierten en densas masas y así se obtiene un margen vivo de una sola pieza”.

2 Objetivos

Una vez leas con detenimiento este artículo serás capaz de:

- Definir y explicar los objetivos de la bioingeniería o ingeniería del paisaje.
- Enumerar y relacionar las principales funciones de la bioingeniería o ingeniería del paisaje.
- Identificar las diferentes áreas de aplicación de la bioingeniería o ingeniería del paisaje.
- Clasificar las principales técnicas de la bioingeniería o ingeniería del paisaje.



3 Definición y objetivos de la Bioingeniería o Ingeniería del Paisaje

En todas las civilizaciones se han utilizado los recursos naturales más cercanos para construir las obras necesarias de protección e intervención del medio. En el Imperio Romano ya se empleaban las plantas por su capacidad para sostener laderas o afianzar las riberas de los cauces y en la Edad Media se usaban los trenzados con ramas y troncos de árboles para proteger los huertos. Sin embargo, es en centro Europa a finales del siglo XVIII cuando se sitúa el origen de estas técnicas, especialmente Austria y Suiza. Actualmente, la preocupación por el medio ambiente y el cambio en la escala de valores de la sociedad, han impulsado enormemente esta disciplina que permite conjugar la eficacia técnica con objetivos ecológicos y de paisaje (Sorolla et al., 2022).

La bioingeniería o ingeniería del paisaje es una disciplina que aporta soluciones a los problemas actuales de conservación y restauración de ecosistemas mediante el uso de materiales vivos (plantas, fragmentos de plantas, semillas, etc.), inertes (piedras, maderas, tierra, etc.) y/o sintéticos (geotextiles).

Para ello, combina las disciplinas de la ingeniería, la biología y la ecología del paisaje aportando soluciones blandas a los problemas de la ingeniería civil. El profesor austriaco HM Schiechl (1980), considerado el precursor de la bioingeniería del paisaje, la define como «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, suelo, madera, hierro o acero como elementos constructivos».

En esta disciplina los objetivos se consiguen aprovechando los múltiples beneficios (mecánicos e hidrológicos) de las plantas y utilizando técnicas constructivas de bajo impacto ambiental.

3.1 La planta como principal elemento

En la bioingeniería se suelen utilizar especies herbáceas, arbustivas, arbóreas y leñosas seleccionando para cada actuación aquellas con mejores características biotécnicas. El principal motivo del uso de las plantas son las propiedades que estas tienen que confieren mucha flexibilidad para poder responder al ambiente. Algunas de estas propiedades son: poder reproducirse y desarrollarse de diferentes maneras (semillas y/o formas vegetativas), poseer capacidad para regenerarse tras sufrir daños y adaptarse a cambios ambientales adversos. Por ejemplo, los fragmentos de especies leñosas con capacidad de multiplicación vegetativa son importantísimos en las técnicas de estabilización porque enraízan profundamente (hasta los 2.5m) y ofrecen una mayor protección contra deslizamientos de tierra.

Las diversas partes de las plantas actúan sobre el ciclo hidrológico aportando efectos beneficiosos. Las hojas interceptan la lluvia reduciendo la energía cinética de las gotas de agua y por tanto disminuyendo el efecto erosivo. Tanto los tallos como las hojas interactúan con el flujo superficial del suelo aumentando la retención y la infiltración y reduciendo la velocidad del agua. Por último, las raíces extraen agua del suelo y la liberan a la atmósfera mejorando el drenaje. Además, las plantas son capaces de interconectar diferentes materiales y estructuras, así como cubrir superficies.

Las plantas también generan efectos mecánicos sobre el suelo puesto que las raíces retienen las partículas del suelo y aumentan su resistencia al corte. La red de fibras superficiales que desarrollan es flexible y controla el sustrato subyacente anclándose al estrato firme. Además, el peso de los árboles puede aumentar los componentes de fuerza normales y transmitir al suelo las fuerzas dinámicas (Imagen 1).

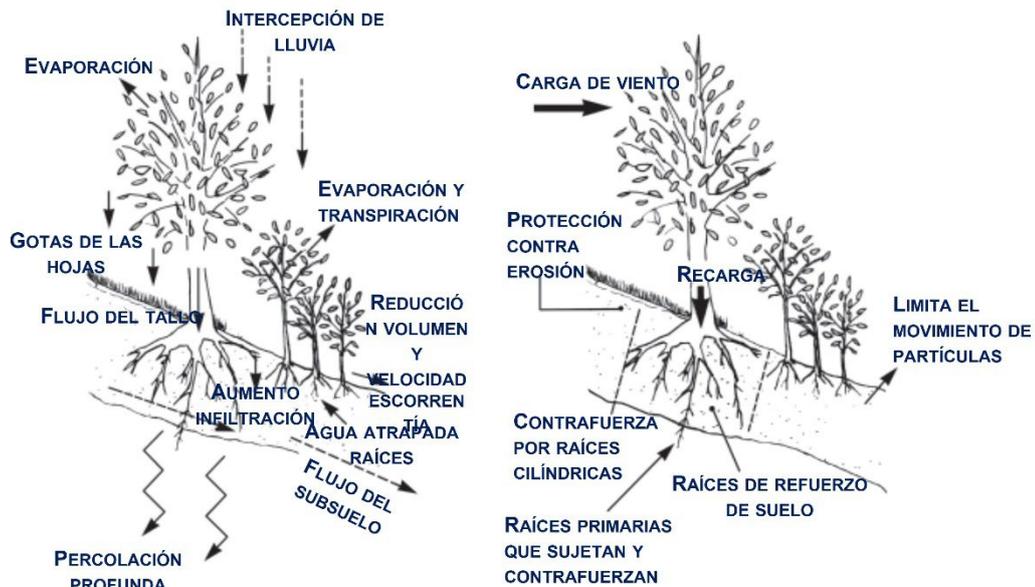


Imagen 1. Efectos físicos de la vegetación (izquierda hidrológicos, derecha mecánicos) Fuente: propia adaptado de Coppin y Richards, (1990).

Al ser las plantas las que realizan la mayor parte del trabajo se incrementan los beneficios. Por una parte, están los beneficios directos de la incorporación de material vegetal a un lugar concreto favoreciendo la colonización natural de otras especies vegetales. Por otra parte, los beneficios indirectos puesto que actúan sobre la geomorfología y pueden corregir fenómenos erosivos provocados por el hombre. Ambos tipos de beneficios permiten con el tiempo recuperar comunidades vegetales autóctonas que hubieran desaparecido por fenómenos de competencia interespecífica.

La norma principal es utilizar siempre especies autóctonas para mejorar el buen estado ecológico de los espacios en los que actuamos.

Ejemplo: *Genista cinerea*



- ✓ Versátil y resistente a suelos pobres
- ✓ Mejorante del suelo, evita la erosión
- ✓ Atrae a la vida silvestre
- ✓ Resistente a condiciones adversas
- ✓ Crecimiento erecto y ramificado

¿Sabes de qué especie hablamos? Pincha aquí y la encontrarás <http://www.anthos.es/>

Ahora, ¡Seguro que la reconocerás cuando la veas!



Por ejemplo, en el cantón del Tesino (Suiza) con pequeñas actuaciones de bioingeniería llevadas a cabo en una zona donde se habían realizado actividades extractivas con anterioridad, se consiguió que volvieran aparecer especies autóctonas que hacía más de 100 años que no estaban presentes (Sangalli, 2020).

Los materiales vegetales muertos como troncos, ramas, árboles enteros y geoproductos orgánicos de fibras naturales, también juegan un papel muy importante en la ejecución de estas técnicas. La principal función de los troncos y la madera es consolidar las estructuras para facilitar el asentamiento posterior de las plantas vivas. Por otra parte, los materiales orgánicos de fibras naturales (fibras de coco y paja principalmente) y mantas orgánicas proporcionan protección temporal contra la erosión superficial del suelo. Al ser elementos naturales permiten que la vegetación desarrolle completamente las raíces y estabilice el terreno antes de su completa degradación (Imagen 1). Por todo ello, en las fases iniciales de los proyectos es muy frecuente combinar los materiales vivos con los no vivos para que estos últimos realicen la función de sostén.

3.2 Objetivos de la bioingeniería

Frente a una necesidad de intervención la bioingeniería debe lograr aquellos *objetivos técnicos* y estructurales definidos para la zona de actuación. Para ello, las plantas proporcionan diversas funciones técnicas de:

- protección frente a fuertes precipitaciones o erosión
- anclaje mecánico y refuerzo del suelo mediante raíces
- modificación de la rugosidad del terreno por ramas y hojas que favorece la retención
- ralentización y/o desviación del flujo de aire y agua

Sin embargo, el uso de materiales vivos permite el logro de otros tres tipos de objetivos muy beneficiosos. El primero de ellos son los *objetivos ambientales*. El uso de plantas como material constructivo favorece la regeneración de procesos ecológicos y geomorfológico propios del ecosistema facilitando la recuperación de la biodiversidad. De forma colateral las plantas realizan funciones ecológicas de suma importancia como proporcionar condiciones favorables para el desarrollo de humus en el sustrato, incrementar la porosidad del suelo, mejorar la estructura del biotopo, generar nuevos hábitats, filtrar tóxicos del entorno, minimizar la eutrofización y mejorar los microclimas. Otro aspecto importante del uso de plantas en la bioingeniería es que una vez finalizadas las obras éstas se convierten en sumideros de CO₂, ayudando así a la lucha contra el cambio climático.

El siguiente tipo de *objetivo* que se consigue es el *estético*. Este surge de reemplazar estructuras ingenieriles convencionales (hormigón y acero) por otras que aportan vegetación, con los mismos niveles de estabilidad y seguridad. La vegetación permite una rápida integración de los elementos constructivos con el medio circundante y contribuyen a diversificar el paisaje.

Y, por último, pero no menos importante, los *objetivos económicos*. El uso de materiales de cercanía para la construcción (maderas, tierras, piedras) minimiza los costes derivados del transporte del material, el posterior mantenimiento de las estructuras y el uso de energías. Todo esto hace que la huella de carbono de una obra de bioingeniería sea inferior a una obra con las mismas funciones, pero ejecutada con técnicas convencionales.



Imagen 2. Ramas junto con redes de coco para estabilización de suelos. Fuente: CIEF_ GVA

4 Áreas de aplicación de la Bioingeniería

En la siguiente tabla se enumeran las principales áreas de aplicación de la bioingeniería y la contribución de las técnicas de esta disciplina a la conservación y restauración de ecosistemas.

Áreas de aplicación	Contribución de las técnicas de la Bioingeniería
En cursos de agua	<ul style="list-style-type: none"> • Protección de márgenes contra la erosión • Realineación de cauces • Revitalización de cursos de agua no naturales y canales • Aumento de la retención en llanuras aluviales • Mejora del control de inundaciones • Protección de usos del suelo • Estabilización de diques, presas y terrenos forestales • Mejora del régimen hídrico local y regional
Pendientes y terraplenes	<ul style="list-style-type: none"> • Prevención de los diferentes tipos de erosión • Revegetación y estabilización de áreas afectadas por deslizamientos • Protección inmediata y a largo plazo de las pendientes contra deslizamientos • Mejora drenaje (transpiración de las plantas) • Aumento de la cohesión de las partículas del suelo
Zonas costeras y lagos	<ul style="list-style-type: none"> • Refuerzo de costas amenazadas por la erosión • Estabilización de diques, dunas y terrenos forestales
Humedales	<ul style="list-style-type: none"> • Creación de hábitats adecuados
Paisajes posteriores a la minería y sitios de desechos industriales	<ul style="list-style-type: none"> • Protección y desarrollo de nuevas comunidades vegetales • Revegetación de nuevas formas de terreno y estructuras

Tabla 1. Contribución de las técnicas de bioingeniería en las distintas áreas de aplicación.



Imagen 3. Trabajos de bioingeniería en Manises (Valencia). Fuente: CIEF_ GVA

5 Técnicas de Bioingeniería

Existen una gran variedad de técnicas que pueden ser clasificadas atendiendo a diversos criterios (tipo de materiales, trabajo mecánico etc.).

En función del ámbito de intervención estas se dividen en:

- **Bioingeniería del Suelo:** Técnicas cuyo principal objetivo es la protección y estabilización del suelo.
- **Bioingeniería del Agua:** Técnicas empleadas en medios acuáticos, ya sean costeros, lacustres o fluviales.



Imagen 4. Funciones de control de erosión y estabilización de suelos. Fuente: Sangalli, 2019

En función de los materiales éstas se agrupan en (CEDEX, 2011):

- **Técnicas vivas.** En estas técnicas las plantas resuelven de forma satisfactoria las fuerzas desestabilizadoras del suelo. A su vez, éstas pueden ser:
 - Técnicas de recubrimiento o protección del suelo. Destinadas a minimizar y evitar la erosión superficial. Por ejemplo: Decapado, Siembras, Hidrosiembras, Hidromanta, Transplante de tepes, Implantación de fragmentos de planta.

- Técnicas de estabilización. Destinadas a estabilizar y sujetar el terreno (hasta 2 m de profundidad) principalmente por el entramado que forman las raíces adventicias de plantas leñosas. Por ejemplo, Estaquillados, Plantación de árboles y arbusto, Fajinas vivas, Lechos vivos, Peldaños de lina, Trenzados vivos.
- **Técnicas mixtas**. En estas técnicas se conjuga el uso de material vegetal con otros inertes como piedras, maderas, sintéticos, etc., actuando estos últimos como estabilizadores hasta que las plantas pueden realizar completamente la función.
 - Técnicas mixtas de recubrimiento o protección del suelo. Por ejemplo, Manta orgánica, Red de coco, Geomallas tridimensionales.
 - Técnicas mixtas de estabilización. Por ejemplo, Empalizadas vivas, Rollos vegetalizados, Enrejados vivos, Entramados vivo, Entramado vivo con pared doble Krainer, Gaviones vegetados, Escolleras vegeta, Muro verde.



Imagen 5. Técnica de muro Krainer en el río Artia (Irún). Izquierda recién construido y derecha 4 años más tarde. Fuente: VV.AA,(2008)

- **Técnicas complementarias**.
 - Drenajes: Por ejemplo, Fajina viva, Canaleta viva, Cuenca verde, Diques mixtos.
 - Revegetación: Por ejemplo, Islas flotantes.

Existen una serie de condicionantes de estas técnicas frente a las convencionales que se deben conocer y valorar. Por ejemplo, existen límites geotécnicos para la aplicación de algunas técnicas, límites hidráulicos relativos a las velocidades de las corrientes y la tensión o resistencia al corte y límites estacionales en cuanto al momento más idóneo para la ejecución (técnicas ligadas a los ritmos de crecimiento propio de las plantas y a todos los factores que pueden limitarlo como calidad del suelo, plagas, etc.).

Por tanto, la elección de una técnica u otra dependerá tanto del análisis del medio físico (biótico y abiótico) como de los cálculos previos, puesto que cada una de las técnicas descritas anteriormente tiene unas posibles aplicaciones y limitaciones.



Recuerda que... Para definir cómo se consolidará un talud habrá que realizar estudios geotécnicos, estudios hidrológicos e hidráulicos y cálculos estructurales para poder seleccionar la técnica más adecuada.

Además, hay que tener en cuenta que son técnicas que precisan de conocimientos tanto de la obra civil como del medio biológico y la poca formación que existe actualmente en este campo limita la disponibilidad de personal, lo que redundará en los costes de ejecución.

Sin embargo, todos estos aparentes inconvenientes se pueden subsanar con una buena gestión adaptada al momento oportuno y al lugar para resolver problemas basándose en procesos naturales.

6 Cierre

En este artículo hemos definido que es la bioingeniería o ingeniería del paisaje. Tras una reflexión sobre el origen de estas técnicas y los beneficios de utilizar los principios de la naturaleza para dar solución a distintos problemas del entorno hemos analizado los distintos objetivos de la bioingeniería y sus múltiples áreas de aplicación. Finalmente, hemos clasificado las distintas técnicas que existen actualmente según el objetivo que persiguen y el tipo de material que utilizan.

7 Bibliografía

CEDEX. (2011). 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. 51-309-5-001.

Coppin, N.J. y Richard, I.G. (1990). Use of vegetation in Civil Engineering. UK: CIRIA C708. ISBN 0-86017-711-4.

Directrices Europeas de Bioingeniería del Paisaje. (2015). Federación Europea de Bioingeniería del Paisaje.

Sangalli, Paola. Bioingeniería del paisaje, una solución basada en la naturaleza. Integrando saberes de las montañas a los mares. (2020). Federación Europea de Bioingeniería del Paisaje.

Sangalli, Paola. Bioingeniería fluvial. Manual técnico para el ámbito cantábrico. Proyecto H2OGurea. (2019). Gestión Ambiental de Navarra S.A.

Sorolla, Albert; Mota, Bet; Rueda, Inma. (2022). La bioingeniería del paisaje. Naturalea.

VV.AA. (2008). Biodiversidad y restauración de ecosistemas fluviales.