

01

Adaptación al cambio climático en vías de alta montaña: el proyecto PHUSICOS en la ladera de Santa Elena



Esta intervención de estabilización de laderas, realizada en una zona montañosa del Pirineo aragonés especialmente vulnerable a los fenómenos meteorológicos extremos, ha probado una solución innovadora basada en la naturaleza, demostrando su eficacia y convirtiéndose en un ejemplo inspirador para otros territorios.

En un contexto de cambio climático, se espera que los eventos meteorológicos extremos incrementen su frecuencia y magnitud, aumentando los posibles daños a infraestructuras y personas y las pérdidas económicas asociadas. Existe, por tanto, una necesidad de proponer soluciones que permitan reducir los riesgos mediante la adaptación preventiva.

En este escenario nace el proyecto PHUSICOS H2020 (<https://phusicos.eu/>), que tiene por objetivo demostrar que las soluciones inspiradas en la naturaleza proporcionan medidas sólidas, sostenibles y rentables para reducir los impactos de los fenómenos hidrometeorológicos extremos (inundaciones, lluvias torrenciales, sequías, deslizamientos de tierra) en zonas de montaña. Durante su desarrollo, del 2018 al 2023, se aplicaron diversas soluciones en tres sitios de experimentación a gran escala de Italia, Noruega y los Pirineos (frontera franco-española).





01



02

“Cada año circulan por la carretera entre Biescas y Laruns, que comunica España con Francia, casi un millón de vehículos”

El **sitio pirenaico transfronterizo franco-español** propuesto por la CTP-OPCC (Comunidad de Trabajo de los Pirineos) junto a los socios del proyecto, liderados por el Instituto Geotécnico Noruego (NGI), fue la **carretera entre Biescas y Laruns**, denominada A-136 en su vertiente española y RD-934 en la francesa, donde se llevaron a cabo dos actuaciones localizadas en Santa Elena y Artouste. Esta vía de comunicación registra una circulación de entre **400.000 a 1.000.000 vehículos por año** y una intensidad media diaria de entre 1,10 a 2,80 vehículos.

Las carreteras de montaña están expuestas a **diversos riesgos hidrometeorológicos**, que pueden provocar aludes, deslizamientos de tierra, desprendimientos de rocas o avenidas torrenciales, entre otros, por lo que es común que se den situaciones de emergencia que supongan **un corte parcial o total de tráfico**, siendo muy difícil habilitar pasos alternativos. En concreto, la vía transfronteriza seleccionada **sufrió un alto número de incidencias vinculadas a riesgos naturales**. En los últimos años, la caída de rocas, los aludes de nieve, los deslizamientos del terreno y las lluvias torrenciales habían provocado retenciones, cortes y accidentes mortales y lesiones. De ahí la importancia de prevenir en lo posible estas situaciones y tratar de mantener el trazado de la carretera accesible durante todo el año reduciendo el nivel de riesgo.

Una solución para adaptar la ladera morrénica de Santa Elena

El sitio de demostración seleccionado en el tramo español se enclava en torno al punto kilométrico 3,5 de la A-136, de Biescas al Portalet, donde se sitúa la **ladera de Santa Elena** (Biescas). Se trata de un **talud morrénico** con una pendiente media superior al 80%, desprovisto de vegetación y propenso a **procesos erosivos remontantes e incisiones verticales pronunciadas**. Esta área sufría periódicamente desprendimientos de bloques que representaban un riesgo para la seguridad vial, al tratarse además de un punto de baja visibilidad y cambio de rasante, con una intensidad media diaria de tráfico de 4.151 vehículos/día.

Debido a estos incidentes frecuentes, se había realizado una actuación en el talud, hace más de 20 años, para instalar **un anclaje mediante redes metálicas** que resultaba ineficaz debido a la inestabilidad de los bloques incrustados en la morrena y a la permeabilidad de las propias redes instaladas que no impedían la continuidad de los procesos erosivos. Es por ello por lo que, en 2018, la **Agrupación Europea de Cooperación Territorial (AECT) Pirineos-Pyrénées** impulsa en **Santa Elena** un plan pionero para la **Estabilización de taludes mediante soluciones basadas en la naturaleza**, dentro del Proyecto PHUSICOS, cofinanciado al 60% a través del programa europeo HORIZONTE 2020 y coordinado en los Pirineos por el Observatorio Pirenaico de Cambio Climático (OPCC-CTP).

01
Situación inicial del talud de Santa Elena.

02
Desprendimientos en el talud antes de las actuaciones.

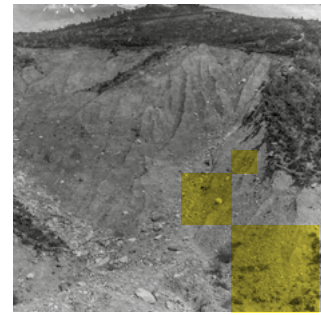
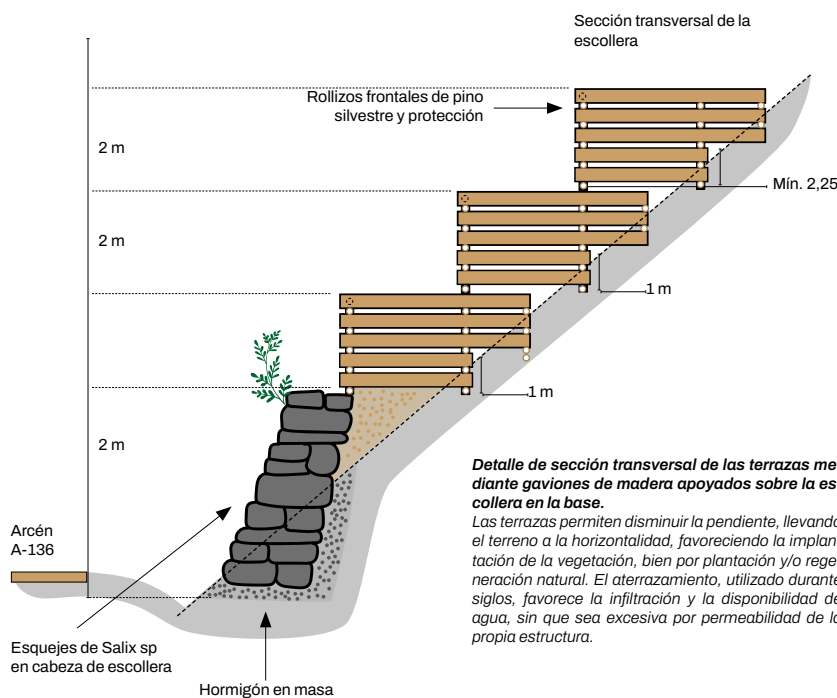
El objetivo era **innovar en materia de adaptación de carreteras de montaña** frente a eventos adversos, que van a aumentar su frecuencia e intensidad en un escenario de cambio climático, **con sistemas de intervención inspirados en la naturaleza y que ofrecieran** una solución que fuera autoestable a corto y medio plazo.

Como premisa de partida la intervención debía basarse en el **uso de materiales naturales y, en lo posible, de origen local**, integrándose armónicamente en el paisaje y además debía ofrecer soluciones a través de un sistema de ejecución sencillo pero efectivo. Como **ejemplo de referencia se consideró la restauración hidrológico-forestal** del torrente de Arratiecho (1904-1910) en el municipio de Biescas, cuya estrategia principal fue la construcción de una red de drenaje con diques de contención y consolidación así como una estructura de banquetas de tierra sostenidas por muros de mampostería en seco para escalonar una ladera, que fue luego revegetada con árboles y arbustos para mejorar el anclaje y el drenaje, y cuyos resultados, después de un siglo, se pueden considerar muy buenos.

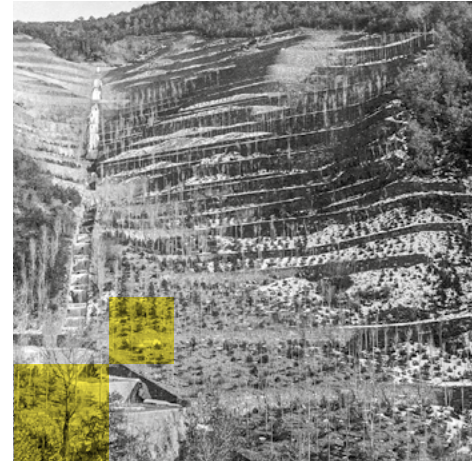
Empleo de materiales naturales y especies autóctonas

La solución desarrollada en Santa Elena se basa en la **creación de terrazas con gaviones de madera de pino silvestre del Pirineo**, apoyadas sobre una escollera sin hormigón en su base, con una doble función. Por una parte, el sistema mejora la capacidad de drenaje y estabiliza la pendiente. Por otra parte, los gaviones permiten la implantación de **vegetación autóctona** sobre dichas terrazas, especialmente espiño amarillo (*Hippophae rhamnoides*), que es una planta endémica del Valle de Tena que coloniza terrenos inestables. Por otro lado se ha revegetado todas las terrazas con otras especies autóctonas (*Pinus sylvestris*, *Salix caprea*, *Amelanchier ovalis*, etc.). En total se han **creado 10 terrazas**, con una altura de 2.0 metros y profundidad variable, que están armadas con rollizos de pino formando los mencionados gaviones. Las obras de Santa Elena comenzaron en abril de 2022 y finalizaron en abril de 2023 y tuvieron un coste total de ejecución de 596.696€.

Para evaluar la resistencia mecánica de las estructuras propuestas, se llevaron a cabo ensayos en las instalaciones de la **Estación de Mecánica Agrícola del Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación** (Madrid). Los cálculos principales han servido para determinar la geometría y elementos de la escollera, el dimensionamiento y características de los gaviones así como la durabilidad de la madera empleada, que además cuenta con un tratamiento de Clase 4, el máximo, de exposición al aire libre y en contacto directo y constante con el suelo.



03 / 03b



03 y 03b

Restauración hidrológico-forestal en Arratiecho (Biescas). Situada a 4 km de Santa Elena, se implantó un sistema de terrazas, canalización y diques en su red de drenaje y reforestación. Fotos: Colección Tomás Ayerbe.

“Las soluciones aplicadas incluían la realización de una escollera en la base, la creación de terrazas mediante gaviones de madera y el revestimiento de vegetación autóctona”



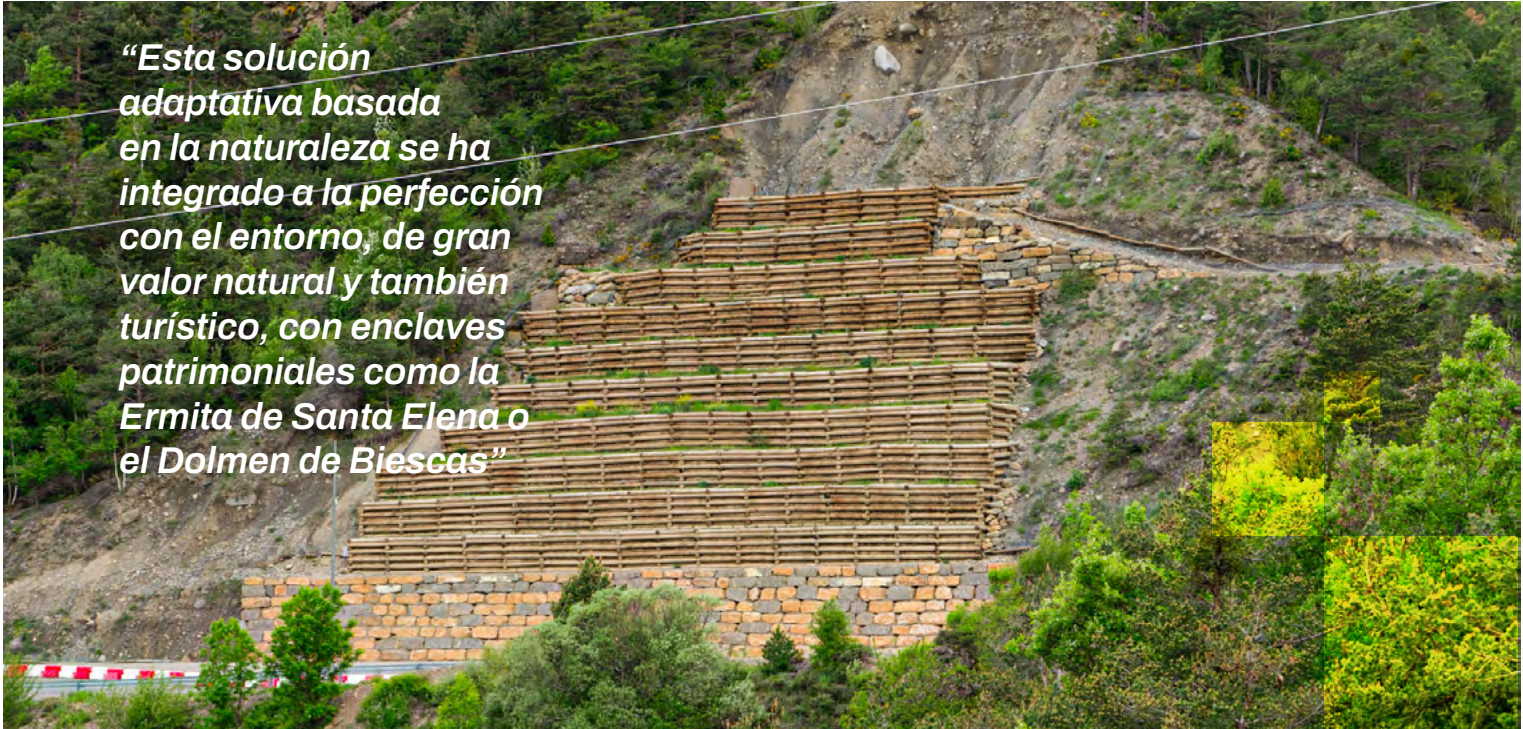
04



05



06



“Esta solución adaptativa basada en la naturaleza se ha integrado a la perfección con el entorno, de gran valor natural y también turístico, con enclaves patrimoniales como la Ermita de Santa Elena o el Dolmen de Biescas”

07

Unos resultados alentadores

Los resultados desde que se implementó el sistema han sido muy positivos, tal como se ha apreciado en las **labores de control y vigilancia de la actuación** que se llevan a cabo desde su finalización. Ya **no hay incidentes en la seguridad vial**, se han **minimizado las condiciones iniciales** (elevada pendiente, inestabilidad de bloques y formación de cárcavas) que favorecían los desprendimientos, a la vez que la solución adoptada favorece la **revegetación y la regeneración natural**.

Además, el enfoque basado en la naturaleza ha demostrado ser **económicamente viable y sostenible**, con un coste inferior a soluciones convencionales y **beneficios adicionales** como la integración paisajística, el aumento de la biodiversidad y menor mantenimiento a corto, medio y largo plazo. Asimismo, **ha favorecido la economía local**, con la participación de empresarios de la zona en el desarrollo de las obras.

El carácter experimental de la actuación, que utiliza materiales naturales y se diferencia así de las soluciones estándar que hacen uso de hormigón y/o mallas sintéticas o metálicas, **ha atraído a numerosos estudiantes internacionales** de doctorado y máster relacionados con las ciencias ambientales, la ingeniería de montes y civil y la arquitectura del paisaje; así como a personas expertas e interesadas en temas de riesgos desde múltiples disciplinas.

04
Construcción de escollera base de talud.

05
Formación de terrazas con los gaviones de madera.

06
Relleno de los gaviones para la plantación

07
La solución desarrollada en Santa Elena se basa en la creación de 10 terrazas con gaviones de madera de pino silvestre del Pirineo, apoyadas sobre una escollera en su base.

Este proyecto europeo cofinanciado con fondos europeos y, concretamente, su actuación en Santa Elena son, por tanto, un buen ejemplo de soluciones basadas en la naturaleza (NBS, por las siglas en inglés de la expresión Nature-Based solutions) y una **oportunidad para** analizar la eficacia y el resultado a largo plazo de este tipo de medidas de adaptación más flexibles e integradas en el medio para infraestructuras localizadas en **territorios especialmente afectados por los riesgos naturales** amplificadas por el cambio climático.



08

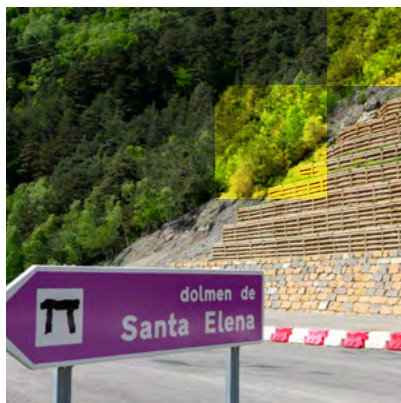
08
La madera es pino silvestre de procedencia pirenaica con un tratamiento de alta resistencia.

09
Espino amarillo, planta endémica del Valle de Tena que es plantado en las terrazas.

10/10b
La solución basada en la naturaleza ha quedado integrada en el entorno, de gran valor paisajístico y patrimonial y genera curiosidad entre los numerosos transeúntes y visitantes de la zona.



09



10



10b



H2020

Estos contenidos y el video que los acompaña han sido elaborados gracias a la especial colaboración de Santiago Fábregas, coordinador de proyectos de la Agrupación Europea de Cooperación Territorial (AECT) Pirineos-Pyrénées; y Eva García Balaguer, coordinadora del Observatorio Pirenaico de Cambio Climático (OPCC). Una parte de los contenidos de este texto se han basado en información extraída de la web del proyecto y sus documentos e informes.

compartiendo soluciones
experiencias inspiradoras de adaptación al cambio climático



VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

