

PHUSICOS

Basado en la naturaleza

Entregable D6.4

Formación técnica para empresas privadas y autoridades públicas sobre la aplicación de las NBs (medidas basadas en la naturaleza) para reducir el riesgo de catástrofes naturales en zonas de montaña.

Paquete de trabajo 6 - Innovación en los espacios de aprendizaje para fomentar el intercambio de conocimientos

Revisión: 1

Nivel de difusión: Público

Abril de 2023



Este proyecto ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención nº 776681.

Toda difusión de resultados debe indicar que refleja únicamente la opinión del autor y que la Agencia no es responsable del uso que pueda hacerse de la información que contiene.

El presente documento aún no ha recibido la aprobación definitiva de la Comisión Europea y puede estar sujeto a cambios.

Nota sobre los colaboradores

Socio principal responsable de la entrega: CTP
Entrega preparada por: Didier Vergès
Socio responsable del control de calidad: NGI
Producto revisado por: Anders Solheim
Otros colaboradores: Eva García (CTP); Éric Leroi (I+D); Paola Sangalli (AEIP); Pilar Andrés (CREAF); Clara Lévy (BRGM); Xavier Carbonell (ARC Mediación Ambiental)

Información sobre el proyecto

Periodo del proyecto: 1 de mayo de 2018 - 30 de abril de 2023
Duración (nº de meses): 60
Página web: www.phusicos.eu
Coordinador del proyecto: Instituto Geotécnico Noruego, (proyecto del NGI nº: 20180404)

Socios del proyecto:



Resumen

Este entregable, D6.4 Formación técnica para empresas privadas y autoridades públicas para la aplicación de las NBS con el fin de reducir el riesgo de peligros naturales en zonas de montaña, está vinculado al WP6 y se basa en la aplicación de las NBS en cuatro sitios, como parte del sitio de demostración a gran escala de los Pirineos: Bosque de Capet, Artouste, Santa Elena y Erill la Vall.

El objetivo principal de este informe D6.4 es doble. En primer lugar, describe los contenidos expuestos durante un evento organizado los días 11 y 12 de abril en Laruns (Francia). En segundo lugar, resume las reflexiones planteadas durante el evento y propone recomendaciones o bien protocolos de vigilancia del suelo, dirigidas a los políticos y técnicos encargados de la gestión de riesgos que estén interesados en aplicar las NBS para hacer frente a los riesgos naturales en las zonas montañosas.

La aplicación de las NBS en los Pirineos se realizó implicando a un amplio espectro de partes interesadas, públicas y privadas. El evento, orientado a impartir formación, difundir y debatir los resultados de PHUSICOS en los Pirineos, permitió reunir a varias de las partes interesadas comprometidas en los cuatro emplazamientos pirenaicos junto a actores externos cercanos a los sitios piloto. Se presentaron y debatieron los aspectos técnicos y el proceso participativo con el fin de identificar las lecciones aprendidas clave, susceptibles de ser capitalizadas y compartidas para la replica de las experiencia PHUSICOS en la aplicación de las NBS para hacer frente a los riesgos naturales.

El informe también incluye como apéndices el orden del día y la lista de participantes para aportar una visión completa del contenido del acto y de la variedad de actores que participaron.

Contenido

1	Introducción	10
1.1	Justificación de un acto final centrado en la formación y el intercambio de experiencias	10
1.2	Breve presentación de las NBS desarrolladas en los Pirineos en el ámbito de PHUSICOS	12
1.2.1	Aludes de nieve en el bosque de Capet	12
1.2.2	Desprendimiento de rocas en Artouste	13
1.2.3	Talud de till inestable en Santa Elena	14
1.2.4	Mitigación del flujo de escombros en Erill-la-Vall	15
2	Acerca de la bioingeniería	16
2.1	Bioingeniería: definición y enfoque	16
2.2	Técnicas de bioingeniería	17
2.2.1	Técnicas de revestimiento	18
2.2.2	Técnicas de estabilización	19
2.2.3	Técnicas mixtas	21
2.2.4	Técnicas complementarias	23
2.3	Algunos ejemplos prácticos de la Federación Europea de Bioingeniería del Suelo	24
3	Aprender de PHUSICOS en los Pirineos	25
3.1	Trabajo realizado por PHUSICOS en los emplazamientos pirenaicos y principales lecciones aprendidas	26
3.1.1	Riesgos naturales en los Pirineos y sus especificidades	26
3.1.2	Lugares de estudio en los Pirineos y principios básicos de las NBS	27
3.1.3	Metodología y consideraciones relativas a la aplicación de las NBS para la reducción de los riesgos naturales	29
3.1.4	Resumen de la experiencia de aplicación de las NBS en los cuatro emplazamientos pirenaicos como aportación al aprendizaje general sobre las NBS para la reducción de los riesgos naturales en las zonas de montaña	37
3.1.5	Modelización: interés y límites. Ejemplo de modelización de los desprendimientos de rocas en el yacimiento de Artouste	39
3.2	Aprender de la experiencia de los Living Labs en los cuatro emplazamientos del caso de demostración a gran escala de los Pirineos	43
3.2.1	Enfoque desarrollado durante los Living Labs en los Pirineos	43
3.2.2	Living Lab y otros momentos de encuentro en los Pirineos	43
3.2.3	Lecciones aprendidas de las actividades del Living Lab en los Pirineos	53
3.3	Beneficios conjuntos de las NBS y la vigilancia del suelo: recomendaciones para los emplazamientos de Capet y Santa Elena	53
3.3.1	Elección de indicadores apropiados para el suelo y las plantas	54

3.3.2	Indicadores vegetales y edáficos seleccionados para los sitios del Bosque de Capet y Santa Elena	57
3.3.3	Indicadores vegetales	58
3.3.4	Indicadores de suelo	64
3.3.5	Recomendaciones relativas a la vigilancia del suelo en los emplazamientos del Bosque de Capet y Santa Elena	71
4	Recomendaciones para la aplicación de las NBS	72
4.1	Dirigidas a técnicos que trabajan en la gestión de riesgos	72
4.2	Dirigidas a políticos y responsables de la gestión de riesgos	75
5	Referencias	77
6	Apéndices	80

Tablas

Tabla -31. Consideraciones en cada paso de la metodología para la implementación de las ENB para la reducción de amenazas naturales. 32

Tabla -32. Principales actividades para la implantación de NBS en el emplazamiento de Artouste y el interés particular de cada una de ellas, evaluadas en una escala de grado de innovación (en francés). Esta tabla se presentó el segundo día del evento como aportación para la reflexión con las autoridades y los participantes. 33

Tabla -33. Principales actividades para la implantación de NBS en el emplazamiento del Bosque de Capet y el interés particular de cada una de ellas, evaluadas en una escala de grado de innovación (en francés). Esta tabla se presentó el segundo día del evento como aportación para la reflexión con las autoridades y los participantes. 34

Tabla -34. Principales actividades para la implementación de las NBS en el sitio de Santa Elena (en francés). Este cuadro se presentó el segundo día del evento como insumo para las reflexiones con las autoridades y los participantes. 35

Tabla -35. Principales actividades para la implantación de las NBS en el emplazamiento de Erill la Vall y el interés particular de cada una de ellas (en francés). Este cuadro se presentó el segundo día del evento como aportación para las reflexiones con las autoridades y los participantes. 36

Tabla -36. Living Lab y otras actividades de reunión en el emplazamiento del bosque de Capet, municipios de Barèges y Sers, Altos Pirineos, Francia. 45

Tabla -37. Living Lab y otras actividades participativas en el yacimiento de Santa Elena, municipio de Biescas, Aragón, España. 47

Cuadro -38. Living Lab y otras actividades participativas en el emplazamiento de Artouste, municipio de Laruns, Pirineos Atlánticos, Francia. 50

Tabla -39. Living Lab y otras actividades de reunión en el emplazamiento de Erill la Vall, municipio de Vall de Boí, Cataluña, España. 52

Tabla -310. Lista de propiedades del suelo y de las plantas estudiadas en el proyecto PHUSICOS para su uso potencial como indicadores de la mejora de los servicios ecosistémicos del suelo y de las plantas en los estudios de caso del corte de carretera de Santa Elena y del bosque de Capet. 57

Tabla -311. Indicadores de suelos y plantas seleccionados para monitorear el efecto de las NBS implementadas en los casos de estudio del Bosque de Capet y Santa Elena sobre los servicios ecosistémicos de suelos y plantas (mitigación del cambio climático y provisión de biodiversidad). 58

Tabla -41. Lista de recomendaciones dirigidas a los técnicos a la hora de definir y aplicar las NBS para la reducción de los riesgos naturales. En negrita, aparecen las recomendaciones comunes a los técnicos y a los políticos. 74

Tabla -42. Lista de recomendaciones dirigidas a los políticos a la hora de definir y aplicar las NBS para la reducción de los riesgos naturales. En negrita, aparecen las recomendaciones comunes a los técnicos y a los políticos. 77

Cifras

Figura -11 Cartel utilizado para difundir el evento de dos días, en francés.	12
Figura -12. Cartel utilizado para difundir las dos jornadas, en español.	12
Figura -13. Vista general del emplazamiento del bosque de Capet.	13
Figura -14. Detalle sobre un trípode de madera, junto a un muro de mampostería, infraestructura gris.	13
Figura -15. Vista general del yacimiento de Artouste.	14
Figura -16. Detalle sobre un trípode de madera, como medida activa.	14
Figura -17. Vista general en el solar de Santa Elena, tomada con dron, con el muro de mampostería y las terrazas de madera al final de las obras.	15
Figura -18. Detalle de los gaviones de madera durante la construcción.	15
Figura -19. Vista general del yacimiento de Erill la Vall con las paredes de krainer y las terrazas rocosas del fondo del barranco.	16
Figura -110. Detalle del muro krainer relleno de material.	16
Figura -21. Técnica de recubrimiento: siembra al voleo en estructura. Florin Florineth (EFIB, Paola Sangalli).	19
Figura -22. Técnica de recubrimiento: hidrosiembra (EFIB, Paola Sangalli).	19
Figura -23. Técnica de recubrimiento: colocación de manta orgánica. Valentín Contreras (EFIB, Paola Sangalli).	19
Figura -24. Técnica de estabilización. Esquema de lechos de ramas (Fuentes: NTJ 12S) (EFIB, Paola Sangalli).	20
Figura -25. Técnica de estabilización. Fotografía de los arriates (EFIB, Paola Sangalli).	20
Figura -26. Técnica de estabilización. Esquema de los escalones de madera. (EFIB, Paola Sangalli).	20
Figura -27. Técnica de estabilización. Foto de los peldaños de madera. (EFIB, Paola Sangalli).	20
Figura -28. Técnica de estabilización. Fotos de trenzas de mimbre de Florin Florineth (EFIB, Paola Sangalli).	20
Figura -29. Esquema de la técnica de estabilización (Fuente: NTJ 12S) (EFIB, Paola Sangalli).	21

Figura -210. Técnica de estabilización. Construcción en talud y en espina de pez, en Bergara, Gipuzkoa (EFIB, Paola Sangalli).	21
Figura -211. Técnica mixta. Esquema del armazón de madera (EFIB, Paola Sangalli).	22
Figura -212. Técnica mixta. Foto de entramado de madera una vez vegetado (EFIB, Paola Sangalli).	22
Figura -213. Técnica mixta. Esquema de sección y alzado de una espaldera (Fuente: Manual Regione Lazio) (EFIB, Paola Sangalli).	22
Figura -214. Técnica mixta. Enrejado en Leizaran y después de un año (EFIB, Paola Sangalli).	22
Figura -215. Técnica mixta. Esquema de escollera revegetada (EFIB, Paola Sangalli).	22
Figura -216. Técnica mixta. Foto de escollera revegetada (EFIB, Paola Sangalli).	22
Figura -217. Técnica mixta. Esquema de gavión revegetado (EFIB, Paola Sangalli).	23
Figura -218. Técnica complementaria. Presas de torrente y rampa de piedra para peces (EFIB, Paola Sangalli).	23
Figura -219. Ejemplo de restauración de la cubierta vegetal en el Pirineo catalán (Albert Sorolla, AEIP).	25
Figura -220. Ejemplo de estabilización de taludes fluviales en una zona urbana (Klaus Peklo, EFIB).	25
Figura -31. Localización de los yacimientos pirenaicos en los lados francés y español de la frontera (Fuente: elaboración propia con imagen de Google Earth).	28
Figura -32. Ilustraciones del análisis de modelización, diseño teórico del NBS, NBS implementado e instalaciones para probar la NBS en el emplazamiento de Artouste (en francés).	33
Figura -33. Ilustraciones del emplazamiento del bosque de Capet y de las NBS aplicadas por PHUSICOS (trípodes de madera y repoblación forestal). En la parte inferior izquierda de la figura se puede ver una infraestructura gris en la ladera con el pueblo de Barèges al fondo.	34
Figura -34. Ilustraciones de la aplicación de la NBS en el emplazamiento de Santa Elena y de las pruebas de resistencia de la estructura en el laboratorio.	35
Figura -35. Ilustraciones de la aplicación de la NBS en el emplazamiento de Erill la Vall y del diseño de los muros krainer.	36
Figura -36. Disposición de los distintos tipos de estructuras NBS (redondas).	40
Figura -37. Localización de las zonas de liberación de los bloques (en rojo y negro) en las zonas Norte y Sur (fuente: BRGM).	42
Figura -38. Zona de trabajo en el bosque de Capet. La zona de seguimiento está rodeada de blanco.	59
Figura -39. Zona de trabajo en el corte de Santa Elena. El área de monitoreo incluye diez terrazas de 2 m de ancho de longitud decreciente (de 30 m para el nivel más bajo a unos 10 m para el nivel superior).	59
Figura -310. Muestreo del suelo con dos tipos diferentes de sacatestigos de sección cuadrada (5 x 5 cm de lado) o circular (5 cm de diámetro) de 15 cm de longitud. Ambos tipos de sacatestigos pueden abrirse longitudinalmente para obtener muestras de suelo inalterado de volumen constante conocido.	66

Figura -311. Algunos ejemplos de los diversos morfotipos de ácaros del suelo (en el círculo; D.E. Walter. <https://beta.abmi.ca/biobrowser/species-group/mites-intro.html>) y colémbolos (en los rectángulos; Andy Murray, <https://www.chaosofdelight.org>). 68

Figura -312. Embudos de Berlese utilizados para extraer microartrópodos de muestras de suelo inalterado. Fuente http://soilbugs.massey.ac.nz/collection_berlese.php 68

Figura -313. Kit de muestreo (cuchara y recipiente estériles) de muestras de suelo para análisis de ADN microbiano. 70

Figura -314. Caracterización de la comunidad microbiana del suelo bajo diferentes comunidades vegetales en los sitios Bosque de Capet (A) y Santa Elena (B) durante la evaluación de la línea de base preoperacional. 71

Figura -61. Página 1 de la agenda detallada del evento de dos días organizado en abril, 11th y 12th en Laruns (en francés). 81

Figura -62. Página 2 del programa detallado del acto de dos días organizado en abril, 11th y 12th en Laruns (en francés). 82

Figura -63. Página 3 del programa detallado del evento de dos días organizado en abril, 11th y 12th en Laruns (en francés). 83

Figura -64. Página 4 del programa detallado del evento de dos días organizado en abril, 11th y 12th en Laruns (en francés). 84

Figura -65. Página 1 de la agenda detallada del evento de dos días organizado en abril, 11th y 12th en Laruns (en español). 85

Figura -66. Página 2 de la agenda detallada del evento de dos días organizado en abril, 11th y 12th en Laruns (en español). 86

Figura -67. Página 3 de la agenda detallada del evento de dos días organizado en abril, 11th y 12th en Laruns (en español). 87

Figura -68. Página 4 de la agenda detallada del evento de dos días organizado en abril, 11th y 12th en Laruns (en español). 88

Figura -69. Detalle de los participantes durante el primer día del evento (jornada de formación, 11/04/2023). 90

Figura 610-. Detalle de los participantes durante el segundo día del evento (día del seminario de resultados, 12/04/2023). 91

Apéndices

Anexo A Orden del día de las dos jornadas organizadas los días 11 y 12 de abril en Laruns (en francés y español).

Apéndice B Lista de participantes.

1 Introducción

1.1 Justificación de un acto final centrado en la formación y el intercambio de experiencias

PHUSICOS ha permitido poner en práctica soluciones basadas en la naturaleza para reducir el riesgo que suponen los fenómenos meteorológicos extremos en los paisajes rurales de montaña en cuatro emplazamientos de los Pirineos, como parte del sitio demostrativo a gran escala de los Pirineos.

A lo largo de la aplicación de estas soluciones, el trabajo con los socios y las partes interesadas ha sacado a la luz dificultades y lecciones aprendidas que la *Comunidad de Trabajo de los Pirineos (CTP)* ha querido destacar en un acto (Figura 1-1 Cartel utilizado para difundir las dos jornadas, en francés.y Figura 1-2. Cartel utilizado para difundir las dos jornadas, en español.donde poner en común y compartir con los agentes públicos y privados del territorio estas lecciones aprendidas. Entre las lecciones aprendidas a compartir figuran los procedimientos administrativos de autorización de las obras, las responsabilidades jurídicas de los responsables de las obras, los problemas relacionados con la definición de los proyectos o las dificultades relacionadas con las capacidades y conocimientos de las empresas locales a la hora de poner en práctica este tipo de soluciones para hacer frente a los riesgos naturales.

La CTP, en colaboración con los socios de PHUSICOS que participan en el sitio demostrativo de los Pirineos, organizó:

- Una jornada de formación el 11 de abril de 2023, con el objetivo de presentar a los participantes las principales técnicas de ingeniería biológica, especialmente adaptadas a los entornos de montaña.
- Un seminario de resultados el 12 de abril de 2023, con el objetivo de presentar los resultados obtenidos de PHUSICOS y debatir el rendimiento de las soluciones basadas en la naturaleza para los riesgos naturales en las zonas de montaña.

Así pues, el evento tenía como objetivo aumentar el compromiso de las autoridades locales y las principales partes interesadas en las soluciones basadas en la naturaleza (NBS) para hacer frente a los peligros naturales, fomentar un espacio para el libre intercambio entre homólogos sobre los retos, éxitos y fracasos en el desarrollo de NBS para los peligros naturales en sus territorios o bien enriquecer y aprender de los intercambios para poder influir en la normativa y reglamentos sobre la temática.

Las dos jornadas se destinaron principalmente a autoridades y técnicos de las administraciones públicas forestales y de carreteras, pequeñas y medianas empresas de los sectores de la madera y la construcción y empresas consultoras especializadas en riesgos naturales, geotecnia, etc.

Se enviaron más de 150 invitaciones a autoridades y técnicos de municipios vecinos afectados por riesgos naturales, cámaras de comercio e industria de los Pirineos, pequeñas y medianas empresas de los sectores de la madera y la construcción, administraciones municipales, departamentales y regionales encargadas de la gestión y

el mantenimiento de carreteras, empresas de consultoría y oficinas de ingeniería, asociaciones medioambientales, centros de investigación, etc.

Veintiséis participantes asistieron a la jornada de formación del 11 de abril de 2023, procedentes de administraciones territoriales, empresas y asociaciones. El 12 de abril de 2023, 32 personas asistieron al seminario de resultados, con otros participantes procedentes principalmente de las autoridades municipales.

Las presentaciones clave durante el evento corrieron a cargo de miembros invitados de la Federación Europea de Bioingeniería de Suelos (EFIB), EIFORSA, empresa especializada en el sector de la madera, expertos técnicos encargados de las definiciones de NBS en cada uno de los cuatro emplazamientos intervenidos por PHUSICOS (Alain Bruzy, Santiago Fábregas y Carles Raïmat), el experto en técnicas participativas asociado a los Living Labs de Santa Elena, Artouste y Erill la Vall (Xavier Carbonell) y los alcaldes de los pueblos de los cuatro sitios piloto (Robert Casadebaig, Pascal Arribet, Jean-Louis Noguère y Sònia Bruguera). Además, tres socios de PHUSICOS, el *Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales* (CREAF), el *Servicio Geológico Francés* (BRGM) y *Risk & Development* (R&D) participaron en el evento y presentaron su trabajo sobre el desarrollo de las NBS en el emplazamiento de demostrativo de los Pirineos. La CTP presentó en nombre de la Universidad de Ginebra (UNIGE; *Université de Genève*) y el Instituto Internacional de Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA), que enviaron una presentación centrada en los obstáculos a las NBS, comparándolos con las infraestructuras grises y examinando las percepciones de los contratistas privados al respecto.

Este informe, el entregable 6.4, que forma parte del paquete de trabajo 6 (WP6), está vinculado al WP2 - Lugares de estudio de casos: lugares de demostrativos a gran escala y casos conceptuales de apoyo, WP3 - Innovación en los servicios: participación de las partes interesadas a través de Living Labs y WP5 - Innovación en la gobernanza para el diseño y la implementación de soluciones basadas en la naturaleza. Este entregable ofrece una visión general del contenido de la jornada de formación y destaca las principales conclusiones del seminario de presentación de resultados, proponiendo una serie de lecciones aprendidas y conclusiones de este evento de dos días.



Figura 1-1 Cartel utilizado para difundir las dos jornadas, en francés.



Figura 1-2. Cartel utilizado para difundir las dos jornadas, en español.

1.2 Breve presentación de las NBS desarrolladas en Pirineos a través de PHUSICOS

1.2.1 Avalanchas de nieve en el bosque de Capet

Barèges y Sers son dos pueblos situados al pie de las laderas del bosque nacional de Capet, en el departamento de Altos Pirineos. Los dos pueblos cuentan con una población permanente de unas 300 personas, que se duplica o triplica durante las temporadas de verano e invierno, debido a la atracción que ejercen los deportes de invierno en el valle.

El principal peligro identificado en este lugar son las avalanchas de nieve en la senda de aludes del Midaou. Las avalanchas pueden alcanzar el pueblo de Barèges, lo que ya ha ocurrido varias veces en el pasado, la última en 2013. La ladera y la zona de liberación cuentan con numerosas estructuras de protección "grises" antiguas, las primeras datan de mediados del siglo XIX y constituyen un verdadero "museo de las estructuras de protección contra los aludes". Debido a la dirección predominante del viento, el manto de nieve puede elevarse por encima de las estructuras existentes, de aproximadamente 4 m de altura. En 2013, el alud se liberó inicialmente en los 0,3 m superiores de nieve, superando una cota de nieve de 4 m. Las medidas grises están diseñadas para proteger contra aludes con un periodo de retorno de 100 años. Estas estructuras están destinadas a coexistir con las nuevas soluciones basadas en la naturaleza aplicadas por PHUSICOS.

Las soluciones basadas en la naturaleza desarrolladas por PHUSICOS desde 2020 consisten en la repoblación forestal mediante la plantación de árboles de 9 especies diferentes (*Pinus uncinata*, *Larix decidua*, *Abies concolor*, *Picea engelmannii*, *Pinus cembra*, *Pinus ponderosa*, *Pinus bougetii*, *Pinus sylvestris*, *Cedrus deodora*), que han demostrado ser las mejor adaptadas al clima y la altitud (1800-2200 m s.n.m.) del lugar. Las plantas están protegidas por 88 trípodes de madera recién contruidos (Figura 1-3 y Figura 1-4), por las estructuras grises existentes o por grupos naturales de árboles. Los trípodes de madera también deben servir como estructuras de protección contra el desprendimiento de aludes. Esto es especialmente importante en zonas áridas con poca



Figura 1-3. Vista general del emplazamiento del bosque de Capet. o ninguna vegetación o sin estructuras grises preexistentes.



Figura 1-4. Detalle de un trípode de madera, junto a un muro de mampostería, infraestructura gris.

1.2.2 Caída de rocas en Artouste

El emplazamiento es adyacente a la presa hidroeléctrica de Artouste, donde la carretera RD-934 desciende en curvas cerradas desde la altura del nivel del embalse hasta la base de la presa. El emplazamiento se encuentra en el municipio de Laruns.

El peligro en Artouste (Figura 1-5) se debe al desprendimiento de rocas que proceden tanto de salientes rocosos expuestos como de bloques sueltos que descansan sobre la superficie del till. La pendiente es pronunciada y las rocas que caen suelen golpear la carretera y provocar situaciones de peligro. En 2013 se produjo un accidente mortal cuando un coche recibió el impacto directo de una roca. Esta carretera recibe un tráfico intenso y es una ruta estratégica entre Francia y España. La densidad media de tráfico en Artouste es superior a 1.000.000 de vehículos al año.

Las soluciones basadas en la naturaleza desarrolladas por PHUSICOS consisten en diferentes estructuras hechas de madera y/o piedras locales (Figura 1-6). Las soluciones se basan en medidas activas (estabilización manual y/o estructuras de madera) para estabilizar las áreas fuente y en medidas pasivas (estructuras mixtas de madera y/o piedra) para frenar y/o desviar las rocas en sus trayectorias, potenciando el papel protector del bosque. Como complemento a la intervención con NBS, se han establecido instalaciones de ensayo de las medidas NBS de desprendimiento de rocas tanto en La Peña Estación (España), en las instalaciones de la empresa maderera, como en un

emplazamiento a campo abierto, Gourzy (Francia), de características similares al de Artouste.



Figura 1-5. Vista general del emplazamiento de Artouste.



Figura 1-6. Detalle sobre un trípode de madera, como medida activa.

1.2.3 Talud inestable en Santa Elena

La ladera de Santa Elena ha sido señalada como uno de los lugares de alto riesgo de la carretera A-136, una de las principales vías de comunicación entre España y Francia (denominada RD-934 en Francia). Este lugar está situado en el corazón del valle pirenaico de Tena, que atrae en verano gran cantidad de turistas que realizan excursiones de senderismo y en invierno acuden a la estación de esquí de Formigal.

A lo largo de este tramo de la A-136 se han producido en el pasado muchos incidentes con piedras y/o barro en la carretera, pero se han registrado pocos accidentes graves. La velocidad suele ser elevada y la visibilidad baja debido al terreno, por lo que hay poco tiempo para reaccionar si caen rocas o cualquier obstáculos a la carretera. La carretera recibe un tráfico intenso y es una ruta estratégica entre Francia y España; la densidad media de tráfico en Santa Elena supera los 4.000 vehículos al día.

Las medidas aplicadas por PHUSICOS en Santa Elena (Figura 1-7 y Figura 1-8) consisten en terrazas formadas por un muro de mampostería seca de 5 m de altura en la base, seguido de 10 terrazas construidas con troncos. Las construcciones de troncos tienen forma de gaviones de madera y se rellenan con el sedimento local, con una capa de 10 cm de tierra orgánica encima para plantar vegetación arbustiva en las terrazas. Todas las plantas utilizadas son autóctonas y están adaptadas al clima, la altitud y la geología local (suelo glaciario) (*Pinus sylvestris*, *Betula pendula*, *Sorbus aria*, *Populus nigra*, *Salix capraea*, *Hippophae ramnoides* y *Salix eleagnos*). *Hippophae ramnoides* es un arbusto especialmente recomendado para estabilizar taludes; las raíces se extienden rápida y extensamente, proporcionando también fijación de nitrógeno no leguminoso en los suelos circundantes.



Figura 1-7. Vista general en el emplazamiento de Santa Elena, tomada con dron, con el muro de mampostería y las terrazas de madera al final de las obras.



Figura 1-8. Detalle de los gaviones de madera durante la construcción.

1.2.4 Mitigación del flujo de escombros en Erill-la-Vall

Erill la Vall es un pueblo del valle de Boí en Cataluña (España), situado en el fondo de un barranco. El problema de Erill-la-Vall es la erosión y los flujos de escombros procedentes de un grueso complejo de till rico en cantos rodados (>50 m). Numerosos barrancos más pequeños alimentan el canal principal de flujo de escombros, que puede llegar a alcanzar el pueblo de Erill-la-Vall. En el pasado, esta localidad se ha visto afectada por flujos de escombros. Las fuertes lluvias provocan una respuesta inmediata en los sedimentos superficiales, con la erosión y el transporte pendiente abajo de escombros y bloques más grandes, que son abundantes en till. Sin embargo, un piezómetro situado a 30 m de profundidad en una perforación detrás de la pendiente posterior muestra una respuesta a las lluvias torrenciales al cabo de 10-15 días, lo que puede desencadenar fenómenos de mayor envergadura y profundidad. Uno de ellos se produjo en 1907 tras un largo periodo de lluvias. Las NBs se aplican principalmente para mitigar los eventos poco profundos.

Las medidas aplicadas por PHUSICOS (Figura 1-9 y Figura 1-10) consisten en terrazas construidas con muros de piedra seca y madera. Se construyeron en las partes bajas de las zonas con mayor pendiente de los dos barrancos principales. Las terrazas se han cubierto con tierra orgánica para plantar vegetación local: hierba, arbustos y árboles. Se utilizará tierra y césped de la zona, y en las terrazas se emplearán abonos naturales procedentes del ganado local. Se utilizarán unas 2.500 plantas, todas de especies locales (*Betula pendula*, *Salix purpurea*, *Salix caprea*, *Rhamnus alpina*, *Viburnum opulus*, *Corylus avellana*, *Prunus spinosa*, *Fraxinus excelsior* y *Salix sp.*).



Figura 1-9. Vista general del yacimiento de Erill la Vall con las paredes de krainer y las terrazas rocosas del fondo del barranco.



Figura 1-10. Detalle del muro krainer relleno de material.

2 Acerca de la bioingeniería

El primer día del evento se presentaron los principales riesgos presentes en los Pirineos y el concepto de soluciones basadas en la naturaleza, y a continuación se trataron las especificidades de la gestión forestal en los valles de Ossau y Aspe. El resto de la jornada se dedicó a comprender los fundamentos de la bioingeniería y sus principales técnicas. Se realizó un ejercicio práctico con piezas y maquetas a escala 1:20 para que los participantes pudieran practicar y visualizar estas técnicas y sus efectos. Esta parte sobre bioingeniería fue presentada por la Federación Europea de Ingeniería Biológica (EFIB) y sus miembros invitados. En el capítulo 2 se repasan los contenidos que se presentaron a los participantes, y el programa completo de las dos jornadas se añade a este informe como apéndice.

2.1 Bioingeniería: definición y enfoque

La conservación de los recursos naturales requiere la adopción de medidas correctoras o restauradoras destinadas a prevenir los impactos negativos o minimizar sus efectos sobre el medio natural.

Por ello, cualquier programa de restauración, rehabilitación o regeneración ambiental debe permitir la reconstrucción del potencial biológico de las zonas afectadas, de forma que sea viable su reutilización para otros fines o su integración paisajística.

La Sociedad para la Restauración Ecológica (SER) define esta actividad como el "proceso dirigido a recuperar la integridad ecológica del medio ambiente, basándose en la variabilidad de estas zonas, en términos de biodiversidad y de procesos y funciones ecológicas, en un contexto regional histórico, en el que también se tienen en cuenta los usos tradicionales sostenibles".

La ingeniería biológica, bioingeniería o ingeniería del paisaje puede entenderse como la disciplina constructiva que persigue objetivos técnicos, ecológicos, estéticos y

económicos, utilizando como elementos constructivos principalmente 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. Estos objetivos se consiguen aprovechando las múltiples funciones de las plantas y utilizando técnicas de construcción de bajo impacto ambiental.

La ingeniería biológica tiene su origen en la combinación de técnicas forestales con técnicas tradicionales de ingeniería; se ha desarrollado principalmente en Europa Central: Austria, Suiza, Alemania y en menor medida Italia y Francia, países que, formando parte del Arco Alpino, son tradicionalmente sensibles a la preservación del medio natural y tratan de regenerar los impactos producidos por sus grandes proyectos, mediante técnicas que activan o potencian la regeneración natural. No es una disciplina que sustituya a la ingeniería clásica, pero debe entenderse como un elemento necesario y complementario a las obras de ingeniería convencionales.

En la actualidad, con el cambio de los modelos económicos y una mayor sensibilidad hacia las cuestiones medioambientales y, en general, la calidad de vida, la bioingeniería tiene un gran potencial para la intervención en el paisaje y la defensa del medio ambiente. Los principales campos de actuación son:

- Reconstrucción de humedales, zonas costeras, riberas y embalses.
- Intervenciones en zonas montañosas, principalmente en la recuperación de desprendimientos, estabilidad de taludes y pistas de esquí.
- Recuperación de obras públicas, carreteras, gasoductos y líneas ferroviarias.
- Renaturalización de minas, canteras, vertederos y escombreras.

2.2 Técnicas de bioingeniería

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

Las técnicas de bioingeniería tienen varias funciones (Begemann *et al.*, 1994): técnicas, ecológicas, paisajísticas y económicas.

Funciones técnicas

Estas técnicas se refieren a la protección y estabilización del suelo a través del sistema radicular. Son las siguientes: protección de la superficie del suelo contra la erosión debida al viento, las precipitaciones, el hielo y el flujo de agua; protección contra la caída de piedras; estabilización profunda del suelo; eliminación y absorción de fuerzas mecánicas perjudiciales; reducción de la velocidad de las corrientes en las riberas; agregación y estabilización superficial y/o profunda del suelo; drenaje; protección contra el viento; favorecimiento de la acumulación de nieve, arenas y arrastres de materiales; aumento de la rugosidad del terreno, creando así una defensa contra las avalanchas.

Funciones ecológicas

Al introducir vegetación, la bioingeniería modifica las características ecológicas de la zona de intervención. Las técnicas de bioingeniería ofrecen resultados tales como: mejora del balance hídrico mediante el aumento de la interceptación y, por tanto, de la capacidad de retención de agua del suelo y del consumo de agua por las plantas; desarrollo de asociaciones vegetales más estables en la serie vegetal de la zona, especialmente el uso de especies autóctonas que contribuyen a acelerar la recuperación del ecosistema original; drenaje del suelo; protección contra el viento protección contra inmisiones; desagregación mecánica del suelo por las raíces de las plantas; compensación de las condiciones de temperatura en la zona subaérea y en el suelo; sombreadamiento; mejora de la cantidad de nutrientes en el suelo y -consecuentemente- aumento de la fertilidad de los suelos pobres; protección contra el ruido; aumento de la productividad en las áreas agrícolas próximas.

Funciones paisajísticas

Tienen por objeto mejorar el paisaje, por ejemplo: restauración de paisajes degradados; integración de obras y construcciones en el paisaje; pantallas visuales para ocultar infraestructuras de fuerte impacto visual; enriquecimiento de los paisajes mediante la creación de focos visuales y nuevas estructuras, formas y colores en la vegetación.

Funciones económicas

Las obras de bioingeniería no siempre son más baratas que las de ingeniería clásica. Sin embargo, teniendo en cuenta la durabilidad de estas obras, considerando también las tareas de mantenimiento, las obras de bioingeniería suelen ser más económicas. Las obras de bioingeniería son sistemas vivos basados en la sucesión natural, es decir, que se mantienen en equilibrio mediante autorregulación dinámica sin necesidad de aporte artificial de energía. Eligiendo las técnicas adecuadas, así como materiales vivos e inertes, se puede conseguir una persistencia extraordinaria con bajos costes de mantenimiento.

Las técnicas de bioingeniería pueden clasificarse en 4 grandes grupos:

1. Técnicas de revestimiento.
2. Técnicas de estabilización.
3. Técnicas mixtas.
4. Técnicas complementarias.

2.2.1 Técnicas de revestimiento

Se trata de técnicas destinadas a evitar la erosión superficial (Figura 2-1, Figura -22 y Figura-23). Dentro de este grupo pueden distinguirse las siguientes subtécnicas:

- Siembras de varios tipos, con o sin mantillo
- Hidrosiembra, especies herbáceas y leñosas
- Uso de mantas orgánicas en las siembras

- Transferencia de césped o fragmentos de plantas: principalmente rizomas y estolones
- Cubrir con palos de salicáceas.
- Siembra al voleo.



Figura 2-1. Técnica de recubrimiento: siembra al voleo en estructura. Florin Florineth (EFIB, Paola Sangalli).



Figura 2-2. Técnica de recubrimiento: hidrosiembra (EFIB, Paola Sangalli).



Figura 2-3. Técnica de recubrimiento: colocación de manta orgánica. Valentín Contreras (EFIB, Paola Sangalli).

2.2.2 Técnicas de estabilización

Estas técnicas permiten estabilizar el suelo hasta 2 metros de profundidad y se basan en la disposición de plantas leñosas obtenidas por reproducción vegetativa y colocadas en hileras horizontales (Figura 2-4, Figura 2-5, Figura 2-6, Figura 2-7, Figura 2-8, Figura 2-9, Figura 2-10).

Las plantas deben tener la capacidad de hacer crecer raíces adventicias para que formen un entramado que permita sujetar el suelo.

Estas técnicas incluyen:

- Estacas de sauce
- Lechos de ramitas o peldaños de leña, en suelos poco cohesionados
- Sucesión de estacas y vallas
- Trenzas de mimbre
- Fascículos en banco
- Fascículos de drenaje
- Esteras de rama
- Vallados.

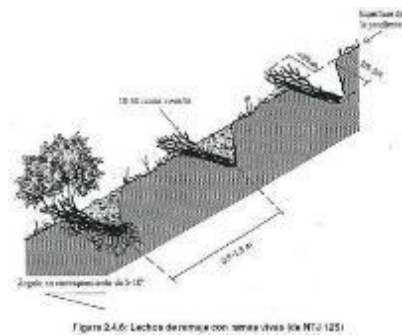


Figura 2-4. Técnica de estabilización. Esquema de lechos de ramitas (Fuentes: NTJ 12S) (EFIB, Paola Sangalli).



Figura 2-5. Técnica de estabilización. Fotografía de los arriates (EFIB, Paola Sangalli).

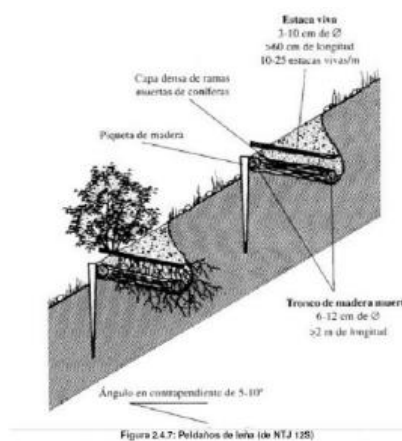


Figura 2-6. Técnica de estabilización. Esquema de los peldaños de madera. (EFIB, Paola Sangalli).



Figura 2-7. Técnica de estabilización. Foto de los peldaños de madera. (EFIB, Paola Sangalli).



Figura 2-8. Técnica de estabilización. Fotos de trenzas de mimbre de Florin Florineth (EFIB, Paola Sangalli).

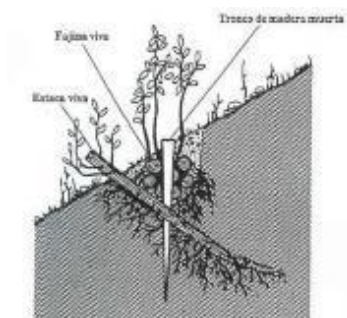


Figura 2-9. Esquema de la técnica de estabilización (Fuente: NTJ 12S) (EFIB, Paola Sangalli).



Figura 2-10. Técnica de estabilización. Construcción en talud y en espina de pez, en Bergara, Gipuzkoa (EFIB, Paola Sangalli).

2.2.3 Técnicas mixtas

Estas técnicas, a diferencia de las anteriores, combinan el uso de elementos vegetales con materiales como madera, acero galvanizado, piedra, hormigón, etc. En estas técnicas, el material inerte actúa como estabilizador hasta que las plantas son capaces de realizar esta función (Figura 2-11, Figura 2-12, Figura 2-13, Figura 2-14, Figura 2-15, Figura 2-16 y Figura 2-17). Estas técnicas incluyen:

- Armazón de madera
- Peldaños de madera
- Espalderas vivas
- Muros de tierra reforzada o muros verdes
- Mallas tridimensionales, geoceldas, etc.
- Gaviones revegetados / rompeolas.

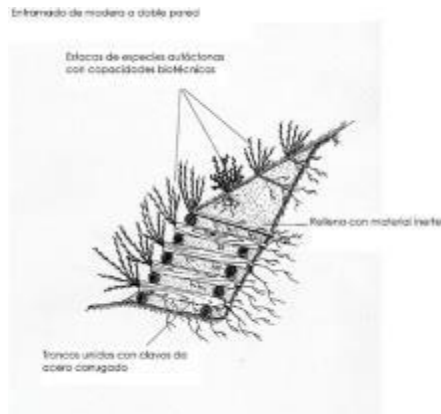


Figura 2-11. Técnica mixta. Esquema de la estructura de madera (EFIB, Paola Sangalli).



Figura 2-12. Técnica mixta. Foto de entramado de madera una vez vegetado (EFIB, Paola Sangalli).

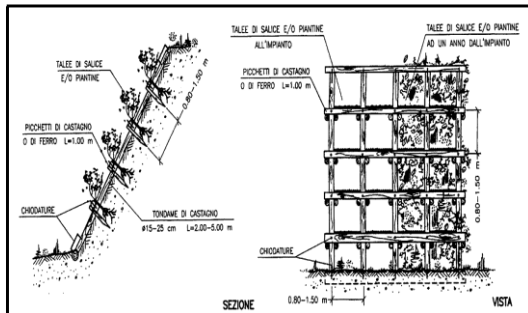


Figura 2-13. Técnica mixta. Esquema de sección y alzado de una espaldera (Fuente: Manual Regione Lazio) (EFIB, Paola Sangalli).



Figura 2-14. Técnica mixta. Espaldera en Leizaran y a la derecha después de un año (EFIB, Paola Sangalli).

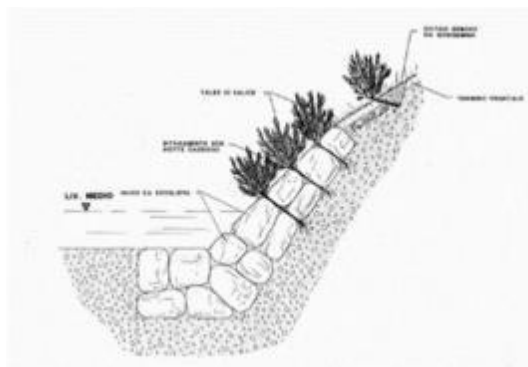


Figura 2-15. Técnica mixta. Esquema de escollera revegetada (EFIB, Paola Sangalli).



Figura 2-16. Técnica mixta. Foto del rompeolas revegetado (EFIB, Paola Sangalli).

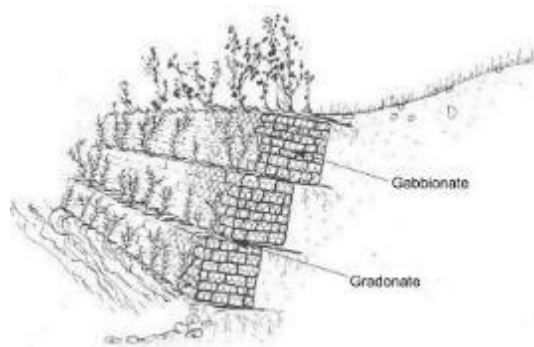


Figura 2-17. Técnica mixta. Esquema de gavión revegetado (EFIB, Paola Sangalli).

2.2.4 Técnicas complementarias

Junto a las técnicas constructivas propiamente dichas, deben emplearse otras que complementen a las anteriores, aunque no tengan la finalidad de estabilizar o proteger contra la erosión (Figura 2-18). Entre ellas se encuentran, por ejemplo, la plantación de especies leñosas para acelerar el desarrollo de la vegetación, la creación de barreras antirruído, drenajes, rampas para peces, etc.

La combinación de una o varias técnicas permite obtener resultados que combinen los aspectos técnicos de la estabilización con los paisajísticos y ecológicos.

Estas técnicas incluyen, por ejemplo:

- Rampas de piedra: sustituyen a las norias
- Presas de madera y piedra: elementos transversales en el cauce que frenan la velocidad del agua.
- Deflectores: estructuras longitudinales que dirigen el flujo de agua.



Figura 2-18. Técnica complementaria. Presas de torrente y rampa de piedra para peces (EFIB, Paola Sangalli).

Estas técnicas tienen una serie de limitaciones que condicionan su ejecución y que hay que tener en cuenta:

- **Estacionalidad.** Los trabajos deben realizarse cuando el material vegetal se encuentre en una fase vegetativa adecuada y cuando las características climáticas locales sean favorables para el adecuado enraizamiento de la vegetación. Cuando se utilicen tutores de sauce, el periodo de intervención será durante la parada vegetativa, es decir, de noviembre a febrero (en los Pirineos), mientras que para la hidrosiembra el periodo más favorable es la primavera.
- **Mantenimiento.** Dado que las intervenciones no tienen un efecto inmediato, deben realizarse controles y mantenimiento después de la intervención: clareo, replantación, sustitución de plantas, fertilización, poda, etc.
- **Personal formado.** Dado que se trata de técnicas recientes y que deben aplicarse simultáneamente con otras técnicas de construcción, una limitación importante es la falta de personal formado en su uso. De ahí la importancia de realizar cursos de formación teórica y práctica.
- **Obtención del material vegetal que se va a utilizar.** A menudo no se encuentran en el mercado semillas de las especies y variedades más adecuadas para la intervención, por lo que se utilizan mezclas de semillas estándar, que no siempre son las más adecuadas. En cuanto a la obtención de sauces, en muchos casos se requiere el permiso de las autoridades competentes para obtenerlos.
- **Condiciones de seguridad.** Estas técnicas sólo pueden sustituir a las técnicas tradicionales cuando las condiciones medioambientales y de seguridad garanticen su buen funcionamiento. En otros casos, sobre todo por razones que afectan a la vida y la salud, es preferible recurrir a las técnicas clásicas de ingeniería.

2.3 Algunos ejemplos prácticos de la Federación Europea de Bioingeniería del Suelo

Los miembros invitados de la Federación Europea de Ingeniería Biológica (EFIB), Albert Sorolla y Klaus Peklo, presentaron durante la jornada de formación ejemplos prácticos de aplicaciones de la bioingeniería. Estas técnicas están destinadas a la estabilización de taludes en contextos rurales y urbanos.

Albert Sorolla, de la *Asociación Española de Ingeniería del Paisaje (AEIP)*, presentó ejemplos de intervenciones realizadas en los Pirineos catalanes, destinadas principalmente a la estabilidad de taludes y la restauración de la cubierta vegetal (Figura 2-19). Otros ejemplos se referían a la restauración de las riberas de los ríos. A partir de su experiencia, Albert Sorolla (AEIP) indicó las principales ventajas y posibilidades que ofrecen estas técnicas frente a las tradicionales. Presentó varios ejemplos de sus veinticinco años de experiencia en este campo.



Figura 2-19. Ejemplo de restauración de la cubierta vegetal en el Pirineo catalán (Albert Sorolla, AEIP).

Klaus Peklo, de la Federación Europea de Ingeniería Biológica (EFIB), presentó sus trabajos, centrados principalmente en el ámbito fluvial (Figura 2-20). En muchos casos las soluciones son mixtas, combinando el uso de técnicas de bioingeniería con las tradicionales de ingeniería. Klaus Peklo presentó ejemplos de intervenciones en los tramos medios y bajos de cauces de ríos pirenaicos, en los que las inundaciones han causado problemas en zonas urbanas.



Figura 2-20. Ejemplo de estabilización de taludes fluviales en una zona urbana (Klaus Peklo, EFIB).

3 Aprender de PHUSICOS en los Pirineos

El capítulo 3 incluye los elementos presentados el segundo día del evento durante el seminario de presentación de resultados, destinado a apoyar las reflexiones sobre los aspectos técnicos de la aplicación de las NBS para hacer frente a los riesgos naturales (subcapítulo 3.1), así como sobre el proceso participativo que acompañó la aplicación de las NBS en los cuatro emplazamientos pirenaicos (subcapítulo 3.2).

3.1 Trabajos realizados por PHUSICOS en los Pirineos y principales lecciones aprendidas

Este subcapítulo recoge los elementos para presentar el trabajo realizado por PHUSICOS en los cuatro emplazamientos pirenaicos con el fin de sentar las bases para una reflexión posterior sobre la aplicación de las NBS en el tratamiento de los riesgos naturales (subcapítulos 3.1.1, 3.1.2 y 3.1.3). Estos elementos y los debates que tuvieron lugar con las autoridades y todos los participantes, se resumen en el subcapítulo **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Además, el BRGM presentó su trabajo de modelización de desprendimientos de rocas realizado en Artouste para demostrar el funcionamiento de la tecnología utilizada y los principales resultados de este trabajo (subcapítulo **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

3.1.1 Riesgos naturales en los Pirineos y sus especificidades

Las zonas de montaña, y en particular los Pirineos, son territorios donde confluyen una gran diversidad de fenómenos portadores de riesgo como movimientos de tierra (desde desprendimientos de rocas a grandes corrimientos de tierras), terremotos, avalanchas, inundaciones torrenciales, tormentas. Otra característica determinante es el reducido tamaño de las zonas urbanizadas. Además del pequeño tamaño de los núcleos habitados, las redes de carreteras presentan fuertes vulnerabilidades sistémicas, ya que a menudo hay pocas o ninguna alternativas de paso.

Dadas estas dos características, los riesgos suelen ser elevados y su gestión puede resultar compleja y costosa. Otra característica importante de los territorios montañosos radica en la importancia de los lugares expuestos a varios peligros a la vez y en el porcentaje de zonas expuestas. Muy pocas zonas están exentas de riesgos, por lo que la prevalencia e importancia de los riesgos en las zonas de montaña plantea la cuestión crucial de la priorización de las zonas a proteger y de las soluciones a implementar en materia de reducción de riesgos y gestión del territorio. Esta priorización es inevitable por dos razones: financieras y técnicas. Aunque las capacidades técnicas nos permitieran hoy protegerlo todo, los recursos financieros que habría que movilizar -sobre todo fondos públicos- serían desproporcionados en relación con lo que está en juego. La segunda razón es técnica. A pesar de las capacidades tecnológicas actuales, no es posible proteger todo el territorio. Además, la demanda política en materia de prevención de riesgos en los procesos de Desarrollo y urbanismo es relativamente reciente.

Así pues, se plantean varias cuestiones fundamentales en materia de gestión y reducción de riesgos, especialmente en las zonas montañosas y sobre todo en los Pirineos:

- **¿Qué nivel de riesgo puede aceptarse a nivel territorial?** Esta pregunta es importante y plantea la cuestión crucial del "nivel de riesgo aceptable". La respuesta a esta pregunta condiciona las soluciones técnicas que deben aplicarse y los recursos financieros a movilizarse.
- Como corolario de esta primera cuestión, está la necesidad **de priorizar las zonas que hay que proteger y las soluciones que hay que aportar**, sabiendo que no se puede proteger la totalidad del territorio.

- Como corolario de estas dos primeras cuestiones, está también la cuestión vinculada a la responsabilidad de los alcaldes en sus respectivos territorios. **¿Cómo lidiar con el tema de la responsabilidad de los alcaldes y ayudarles en la gestión razonable, equilibrada y sostenible de su territorio? ¿Cómo ayudarles a hacer frente a las exigencias, a menudo paradójicas, de sus electores, que quieren ser protegidos y vivir libremente sin excesivas trabas?**
- Aunque seamos capaces de proteger ciertos sectores, **¿cómo encontrar un equilibrio razonable entre la protección de los territorios y su desarrollo?** ¿Existen siempre equilibrios "razonables" que integren los intereses divergentes y a veces opuestos que surgen en los territorios?
- **¿Cómo proponer soluciones integradas que respondan a varias problemáticas concomitantes de protección (enfoque multipeligros) y desarrollo, con el fin de optimizar las soluciones y las inversiones?**
- **¿Cómo definir soluciones óptimas que integren a la vez el cambio climático y la transformación territorial?**
- **¿Cómo definir soluciones que integren de forma equilibrada la protección del medio ambiente y el desarrollo territorial?** ¿Cómo proteger sin "paralizar" los territorios? ¿Cómo encontrar un equilibrio entre mantener un santuario ambiental y promover su desarrollo económico y social?
- **¿Cuál es la mejor manera de implicar a todas las partes interesadas del territorio, y en particular a la población residente, con buenas intenciones pero también con realismo?**

3.1.2 Lugares de estudio en los Pirineos y principios básicos de las NBS

Los cuatro emplazamientos pirenaicos del proyecto PHUSICOS (Figura 3-1) abordaron los siguientes peligros:

- Sitio del bosque de Capet: avalanchas de nieve.
- Sitio de Artouste: desprendimientos de rocas.
- Yacimiento de Santa Elena: erosión y desprendimientos de rocas.
- Yacimiento de Erill la Vall: erosión y flujos de detritos.



Figura 3-1. Localización de los yacimientos pirenaicos en los lados francés y español de la frontera (Fuente: elaboración propia con imagen de Google Earth).

El objetivo del proyecto PHUSICOS ha sido determinar y validar si las soluciones basadas en la naturaleza (NBS, por sus siglas en inglés) pueden aportar respuestas eficaces y adecuadas a la reducción y disminución del riesgo de catástrofes, integrando todas las cuestiones antes señaladas como alternativa a las soluciones de ingeniería convencionales.

El objetivo ha sido diseñar y aplicar soluciones:

- basadas en la naturaleza
- eficaces para reducir los niveles de riesgo
- implicar a las partes interesadas locales y regionales
- promover el desarrollo económico local
- como alternativas a las soluciones "grises" de la ingeniería clásica.

Para llevar a cabo este proyecto en cada uno de los cuatro emplazamientos, se puso en marcha una metodología global y exhaustiva: contextos y riesgos variados que exigen soluciones adaptadas, compromiso de múltiples partes interesadas, respuestas operativas y pragmáticas que vayan más allá de los fundamentos teóricos. La definición de soluciones pertinentes y adecuadas debía integrar las cuestiones de la gestión de riesgos (subcapítulo 3.1.1), pero también integrar plenamente el inevitable nivel de riesgo al que estaban expuestos los distintos emplazamientos. Una buena toma de decisiones en términos de gestión equilibrada del riesgo requiere tanto la comprensión de todos los componentes del riesgo como un conocimiento profundo del territorio y de los peligros existentes.

La experiencia de PHUSICOS ha puesto de manifiesto la dificultad que entraña la obtención o el acceso a los datos básicos necesarios para conocer en profundidad los riesgos, la caracterización de cada lugar y los peligros. El tratamiento de estos datos es costoso y requiere mucho tiempo, por lo que estas limitaciones han llevado a las partes

interesadas a recurrir a técnicas innovadoras que aseguren la definición y aplicación de soluciones operativas que ayuden a ejercer la responsabilidad que les compete a las autoridades encargadas de la gestión de riesgos, principalmente los alcaldes.

Además, la aplicación operativa de soluciones basadas en la naturaleza, los comentarios de PHUSICOS específicos sobre bioingeniería, así como las reflexiones compartidas con todas las partes interesadas, llevaron a cuestionar la definición de soluciones basadas en la naturaleza, según la UICN (subcapítulo **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

3.1.3 Metodología y consideraciones relativas a la aplicación de las NBS para la reducción de los riesgos naturales

El planteamiento general para definir y dimensionar las soluciones basadas en la naturaleza para reducir los riesgos naturales se basa en los siguientes pasos:

1. Identificación de los riesgos naturales considerados
2. Evaluación de riesgos y priorización de áreas de riesgo
3. Determinación de las zonas geográficas en las que se aplicarán las NBS y evaluaciones iniciales
4. Diseño y dimensionamiento de NBS
5. Validación de las NBS seleccionadas
6. Aplicación operativa de las NBS sobre el terreno
7. Comentarios sobre la aplicación de las NBS
8. Definición de un marco de gestión y seguimiento de las NBS
9. Definición de un marco de comunicación

La siguiente tabla (Cuadro 3-1) describe cada uno de los pasos:

Pasos	Consideraciones
1. Identificación del tipo de peligro natural considerado	En PHUSICOS, se seleccionaron cuatro emplazamientos en los Pirineos con los siguientes riesgos: ▪ Sitio del bosque de Capet: avalanchas de nieve. ▪ Sitio de Artouste: desprendimientos de rocas. ▪ Yacimiento de Santa Elena: erosión y desprendimientos de rocas. ▪ Yacimiento de Erill la Vall: erosión y flujos de detritos.
2. Evaluación de riesgos	Siempre que sea posible, la evaluación del riesgo debe ser cuantitativa. Debe permitir definir, de forma cuantificada, los periodos de retorno asociados a las pérdidas potenciales. Estas pérdidas se miden tradicionalmente en términos de víctimas humanas (muertos, heridos), daños, destrucción, pérdida de función o actividad, y/o pérdidas económicas, ya sean éstas directas o indirectas.

Pasos	Consideraciones
<u>2.1 Peligro</u>	La peligrosidad tiene por objeto definir las intensidades de los fenómenos naturales para períodos de retorno determinados. Requiere comprender los mecanismos físicos implicados y determinar los parámetros que intervienen en ellos.
2.1.1 Adquisición de datos básicos	La adquisición de datos de referencia es la clave de una buena cuantificación del riesgo. Por ello, es necesario disponer de herramientas que permitan la adquisición rápida de datos muy precisos a un coste razonable. Las autoridades tienen dificultades para invertir en campañas de adquisición de datos de base, en parte porque el coste es elevado, pero también porque carecen de las herramientas y competencias necesarias para almacenar y compartir la información. La implantación de herramientas innovadoras de adquisición, retroalimentación de la información y puesta en común eficaz son prioritarias en la gestión de riesgos y territorios.
2.1.2 Modelización	La modelización de riesgos es un paso importante en la toma de decisiones; es una herramienta que permite simular lo que es probable que ocurra sobre el terreno y acceder a parámetros para el diseño de obras de protección. Los modelos son sólo imágenes parciales de la realidad y deben basarse y calibrarse a partir de datos fiables y exhaustivos procedentes de campañas sobre el terreno. Los técnicos y científicos deben ser capaces de comunicar claramente a los políticos los límites de los modelos y las incertidumbres asociadas a ellos; también porque la responsabilidad de los políticos está comprometida. La modelización es una baza importante para simular diferentes escenarios. Deben establecerse al menos dos escenarios: un primer escenario para evaluar el nivel de peligro antes de la aplicación de las NBS (evaluación inicial) y un segundo escenario que integre las NBS. La diferencia entre los dos escenarios cuantificará la reducción del riesgo y determinará el riesgo residual. De este modo se validarán las NBS, considerando que el riesgo residual es aceptable.
<u>2.2 Activos y exposición</u>	El análisis de los activos y su exposición a los peligros, así como la definición de su vulnerabilidad, definen el riesgo. En muchos casos, estos dos componentes sólo se abordan de forma muy general porque no se ven afectados por las NBS. En otras palabras, la exposición y la vulnerabilidad de los activos no se ven afectadas por las NBS. Las variaciones del riesgo sólo son atribuibles a las variaciones de los peligros sobre los que inciden las NBS. El inventario y el análisis de los bienes (exposición - probabilidad de presencia) permiten priorizar las zonas de riesgo y determinar las zonas en las que las NBS son más adecuadas. La naturaleza y la exposición de los bienes permiten tomar decisiones sobre la aceptabilidad del riesgo, la necesidad de aplicar soluciones de reducción del riesgo y la utilidad de aplicar NBS. Los gobiernos locales deben recopilar y almacenar datos sobre sus activos. Esta es un área en la que muchos gobiernos locales están fallando.
<u>2.3 Vulnerabilidad</u>	La evaluación de la vulnerabilidad de los activos implica datos que no son fácilmente accesibles. El análisis de la vulnerabilidad (física y sistémica) abre un abanico de posibles actuaciones en materia de reducción de riesgos.
<u>2.4 Priorización de las áreas de riesgo</u>	La priorización de las zonas de riesgo puede basarse en los resultados de la modelización o en la información sobre los daños históricos sufridos. Debe permitir decidir sobre: ▪ Si son necesarias o no soluciones de reducción de riesgos. ▪ La pertinencia de utilizar las NBS.
3. Determinación de las zonas geográficas en las	La determinación de los ámbitos en los que pueden aplicarse las NBS se basa en:

Pasos	Consideraciones
que se aplicarán las NBS y primeras evaluaciones	▪ Priorización de las zonas de riesgo (no se puede proteger todo, sobre todo en las zonas de montaña). ▪ Los recursos financieros disponibles. ▪ Los recursos financieros que deben movilizarse en función del nivel de riesgo. ▪ La existencia (o no) de un marco normativo sobre la necesidad de aplicar medidas. ▪ La existencia (o no) de un marco normativo sobre las soluciones que deben aplicarse para reducir o incluso eliminar la responsabilidad de alcaldes, autoridades o gestores en caso de daños. Cabe mencionar que, en muchos casos, "razonablemente necesario" no está definido, y que a menudo se juzga <i>a posteriori</i>. La conveniencia y pertinencia de aplicar las NBS debe formar parte de un enfoque global de la gestión del espacio y de un planteamiento complementario con soluciones grises, que tenga en cuenta también los aspectos temporales. Puede ser aconsejable establecer un plan general de protección, estructurado en fases geográficas y temporales. Esto incluirá: ▪ Identificación de las zonas en las que las NBS aportarán resultados significativos (intensidad del peligro y posibilidades efectivas de reducir la frecuencia y/o intensidad dicho peligro). ▪ Identificar los tipos de NBS que se adaptan, en principio, al peligro al que se enfrentan. ▪ Definir un conjunto de indicadores básicos que serán objeto de seguimiento (reducción de riesgos; viabilidad técnica; impacto en el medio ambiente y el ecosistema; impacto en la sociedad; impacto en la economía local). ▪ Realización de la evaluación inicial en cada emplazamiento.
4. Diseño y dimensionamiento de NBS	Esta etapa debe realizarse en el marco de intercambios entre científicos, técnicos y comunidades locales para movilizar los recursos locales potenciales y las competencias locales con el fin de reforzar el desarrollo económico local. Es importante utilizar materiales locales para la implantación de las NBS, con el fin de reducir la huella de carbono del transporte de larga distancia. Los materiales locales deben definir el diseño y el dimensionamiento de las NBS, y no al revés. El diseño y dimensionamiento de las NBS es una tarea de ingeniería y debe ser realizada por estructuras con competencias reconocidas. No solo deben basarse en un sólido marco teórico, sino también en pruebas de laboratorio o <i>in situ</i>, maquetas o prototipos a escala real.
5. Validación de las NBS	Hasta la fecha, no existe un marco normativo para el desarrollo y la aplicación de las NBS. La validación de las soluciones puede ser teórica, mediante cálculos y modelos, o experimental. Esta validación debe ser realizada por personas y/o estructuras con competencias reconocidas.
6. Aplicación operativa de las NBS sobre el terreno	La aplicación de las NBS debe hacerse respetando las especificaciones técnicas. Los poderes adjudicadores deben esforzarse por diseñar pliegos de condiciones "realistas" que respondan a las limitaciones locales. Estas especificaciones también garantizarán que las empresas no se vean disuadidas de licitar. El propietario y el gestor del proyecto deben asegurarse -en una fase temprana- de que se eliminan las trabas administrativas. La creación de grupos de trabajo con todas las partes interesadas podría ser útil para evitar posibles bloqueos. Hay que animar a las empresas locales a que respondan a las licitaciones o se unan a grupos que respondan a ellas. Esto no sólo fomentará el desarrollo económico local, sino que en muchos casos facilitará las posteriores intervenciones de mantenimiento.

Pasos	Consideraciones
7. Comentarios sobre la aplicación de las NBS	Esto incluye: ▪ Llevar a cabo una retroalimentación completa sobre la aplicación de las NBS (aspectos técnicos, financieros, administrativos y de planificación) implicando a todas las partes interesadas. ▪ Identificar desviaciones y cambios respecto a los objetivos iniciales y medir (cuantificar) los impactos. ▪ Hacer que todos los datos adquiridos estén disponibles en las herramientas habituales de las autoridades locales y en las plataformas específicas dedicadas a las NBS.
8. Definición de un marco de gestión y seguimiento de las NBS	Este marco de gestión y seguimiento de las NBS deberá determinar: ▪ La frecuencia y las modalidades de seguimiento de las obras. ▪ Los criterios y modalidades de mantenimiento de las obras. ▪ Los criterios y procedimientos para la retirada de estructuras NBS si se considera que son innecesarias o deficientes, o si es probable que aumenten el riesgo o degraden el medio ambiente. ▪ La definición de las responsabilidades y obligaciones de cada una de las partes interesadas (comunidades, organismos estatales, organizaciones públicas, técnicos, empresas). ▪ Actualización de los indicadores de evaluación (reducción de riesgos; viabilidad técnica; impacto en el medio ambiente y el ecosistema; impacto en la sociedad; impacto en la economía local), definiendo las frecuencias y las partes interesadas que deben movilizarse, así como las acciones que deben emprenderse en caso de evolución negativa.
9. Definición de un marco de comunicación	Este marco de comunicación debe establecerse desde el principio de la implantación de las NBS y es transversal a todos los pasos anteriores. Es necesario hacer comprender a todas las partes interesadas lo que está en juego con las NBS y sus intereses, limitaciones y restricciones. Esto incluye explicar los conceptos de riesgo y el equilibrio que debe alcanzarse entre protección, desarrollo y costes. Deben movilizarse todos los medios disponibles para promover las NBS (documentos, vídeos, sitios web, aplicaciones, visitas sobre el terreno, talleres, conferencias, laboratorios vivos, seminarios).

Cuadro 3-1. Consideraciones en cada paso de la metodología para la aplicación de las NBS para la reducción de los riesgos naturales.

Los cuadros y figuras siguientes presentan los principales resultados de la metodología general aplicada en cada uno de los cuatro sitios:

- Artouste (Cuadro 3-2 y Figura 3-2).
- Capet (Cuadro 3-3 y Figura 3-3).
- Santa Elena (Cuadro 3-4 y Figura 3-4).
- Erill la Vall (Cuadro 3-5 y Figura 3-5).

Tâches / travail réalisé		Domaines					Intérêt particulier		Innovation
ARTOUSTE		Données de base	Modélisation	Travaux	Surveillance	Gestion	Communication		
Capture d'écran									
• Lidar aérien		X					A1	Utilisé pour la modélisation des forêts et des chutes de blocs. Nouvelles méthodologies pour la spatialisation à l'échelle du versant des données de modélisations : types d'arbre, positions des arbres, diamètres des troncs, zones de départ, nature des sols et rugosité du sol	***
• Lidar terrestre autoportable		X					A2	Inventaire des arbres (localisation, diamètre)	***
• Dendrochronologie		X					A3	Modélisation chutes de blocs (hauteur max d'impact)	**
• Inventaires des zones instables		X					A4	Caractérisation précise des blocs instables	*
• Modélisation théorique des NBS			X				A5	Différentes configurations	***
• Site expérimental avec bélière			X				A6	Site unique pour l'expérimentation de la résistance des structures	***
• Site expérimental in situ			X				A7	Expérimentation de la résistance des structures et de la forêt	***
• Mise en place des NBS et déplacement de blocs				X			A8	Actif, passif – différents designs - exhaustif	**
• Modélisation de la forêt			X				A9	Méthodologie innovante	**
• Modélisation des chutes de blocs			X				A10	Méthodologie innovante (zones de départ)	*
• Living Lab (TUM)							X	Interaction avec les élus	
• Mise en place d'un comité technique						X	A12	Phusicos – Parc – Municipalité de Laruns	
• Protocole de propriété, suivi, maintenance				X		X	A13	Phusicos – Parc – Municipalité de Laruns	
• Séminaire de restitution						X	A14	Technicien et décideurs	

Cuadro 3-2. Principales actividades para la implantación de NBS en el emplazamiento de Artouste y el interés particular de cada una de ellas, evaluadas en una escala de grado de innovación (en francés). Esta tabla se presentó el segundo día del evento como aportación para la reflexión con las autoridades y los participantes.

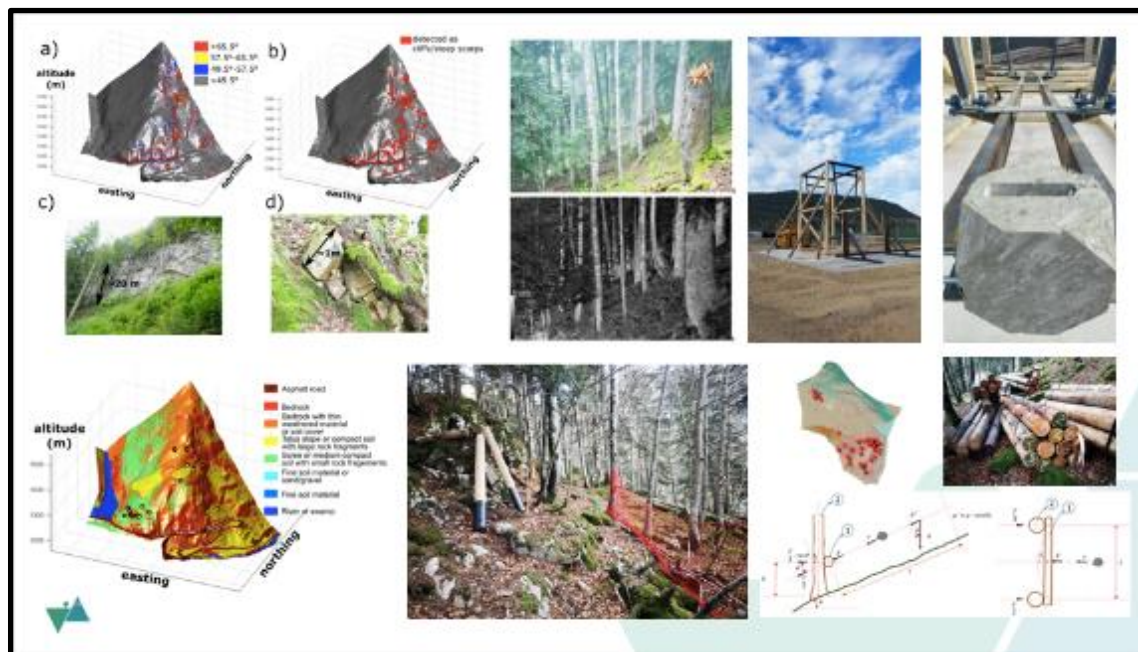


Figura 3-2. Ilustraciones del análisis de modelización, diseño teórico del NBS, NBS implementada e instalaciones para probar el NBS en el emplazamiento de Artouste (en francés).

Tâches / travail réalisé	Domaines					Intérêt particulier	
CAPET	Données de base	Modélisation	Travaux	Surveillance	Gestion	Communication	Innovations
• Lidar aérien estival (préalable au projet)	X					C1	Utilisé pour cartographie IMA, cartographie des ouvrages de génie civil existants et cartographie des zones à traiter dans le cadre du projet
• Calcul automatisé de l'Indice de Maîtrise de l'Aléa par la forêt (préalable au projet)	X	X				C2	Identification des secteurs où la forêt ne joue aucun rôle de stabilisation du manteau neigeux
• Analyse des essences adaptées et acceptables, en lien avec comité technique (PNP, CBNP, DSF, ONF)	X					X	C3 Dans contexte de changement climatique et d'apparition de pathogènes, trouver des alternatives au pin à crochets
• Identification des zones à planter selon topographie, existence d'ouvrages de génie civil	X		X				C4 Identification des zones à planter avec ou sans tripodes
• Travail du sol pour planter en collectif			X				C5 Meilleure reprise
• Mise en place des tripodes			X				C6 Protection des plantations / bois local. Amélioration à court terme de la stabilisation du manteau neigeux, réduction des actions sur les ouvrages de génie civil
• Plantation des collectifs			X				C7 Amélioration à moyen terme de la stabilisation du manteau neigeux, réduction des actions sur les ouvrages de génie civil
• Living Lab						X	C8 Réunion avec les élus, réunion publique
• LIDAR aérien hivernal	X						C9 Pour comparer avec LIDAR estival et mieux cerner les zones d'accumulation de neige -> zones à traiter pour risque de départ d'avalanche, mais plus défavorable pour la végétation

Cuadro 3-3. Principales actividades para la implantación de NBS en el emplazamiento del Bosque de Capet y el interés particular de cada una de ellas, evaluadas en una escala de grado de innovación (en francés). Esta tabla se presentó el segundo día del evento como aportación para la reflexión con las autoridades y los participantes.



Figura 3-3. Ilustraciones del emplazamiento del bosque de Capet y de las NBS aplicadas por PHUSICOS (tripodes de madera y repoblación forestal). En la parte inferior izquierda de la figura se pueden ver infraestructuras grises en la ladera con el pueblo de Barèges al fondo.

Tâches / travail réalisé	Domaines					Intérêt particulier	Innovation
Capture d'écran SANTA ELENA	Données de base	Modélisation	Travaux	Surveillance	Gestion	Communication	
• Reference ancienne travaux RHF (=travaux RTM). Arratiecho.1904	X					51	
• Modélisation des ouvrages		X				52	
• Tests expérimentaux des ouvrages		X				53	
• Mise en place d'une surveillance vidéo en continue				X		54	
• Mise en place des terrasses			X			55	
• Mise en place de végétation autochtone			X			56	
• Visites étudiants					X	57	
• Lidar terrestre fixe	X					58	
• Comparaison évolution avec talus morainique proche sans traitement						59	

Cuadro 3-4. Principales actividades para la aplicación de las NBS en el emplazamiento de Santa Elena (en francés). Este cuadro se presentó el segundo día del evento como aportación para las reflexiones con las autoridades y los participantes.

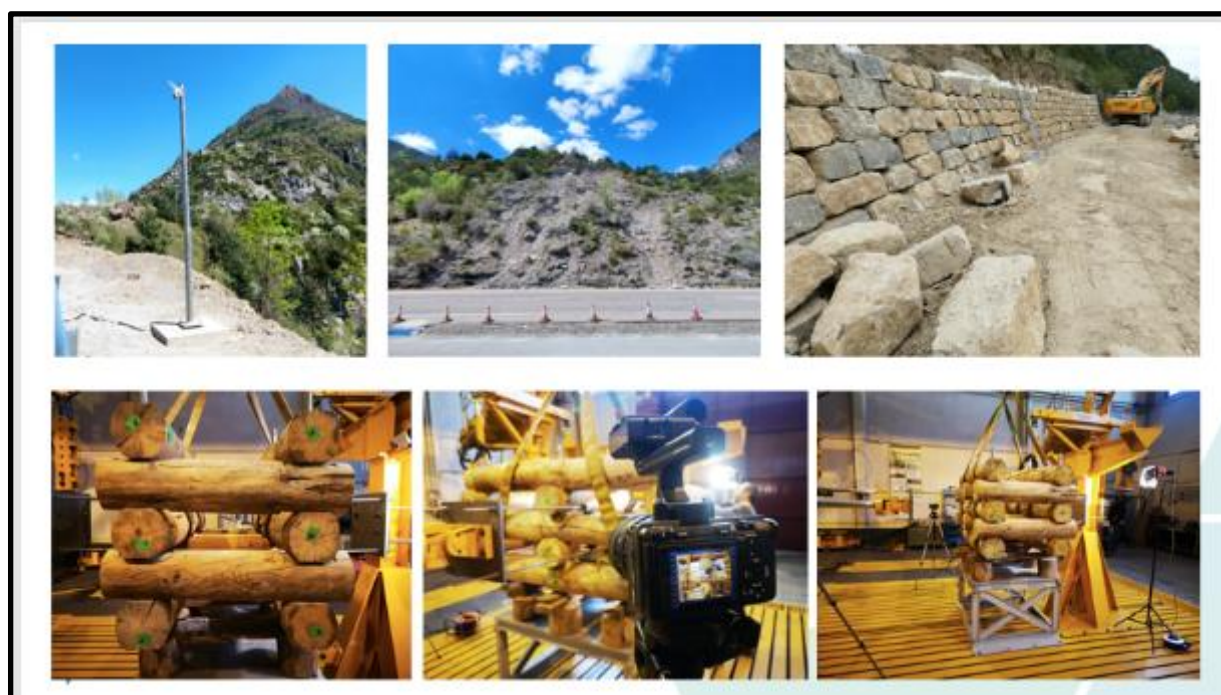


Figura 3-4. Ilustraciones de la aplicación del NBS en el emplazamiento de Santa Elena y de las pruebas de resistencia de la estructura en el laboratorio.

Tâches / travail réalisé	Domaines					Intérêt particulier	Innovation
Erill	Données de base	Modélisation	Travaux	Surveillance	Gestion	Communication	
• Laboratoire EARLY WARNING	X						2009-2023
o Dashboard remote control - thresholds	X						
o Station météo	X						
o 5 piézomètres même vertical	X						
o Flowmeter (Q)	X						
o Géophones (4)	X						
o VX160 H6 System + Loadcells	X						
o Camera photo	X						
o Time laps camera	X						
• Lidar aérien	X						Utilisé pour la modélisation des forêts et des chutes de blocs
• Lidar terrestre	X						Inventaire des arbres (localisation, diamètre), modélisation chutes de blocs
• Stratigraphie historique	X						Modélisation aire occupation, hauteur max et pressions d'impact
• Inventaires des zones actuellement actives instables	X						Caractérisation précise des zones actives instables
• Control volumétriques des déplacement et transport dans le bassin							
• Modélisation théorique avant et après des NBS		X					Différentes configurations et période de return
• Site expérimental in situ		X					Expérimentation de la résistance des structures et de la forêt
• Mise en place des NBS et déplacement de blocs			X				Actif, passif – différents designs - exhaustif
• Modélisation des flues		X					Zones de départ, trajectoire et arrêt
• Living Lab						X	Interaction civil et technique
• Protocole de propriété, suivi, maintenance					X		Phusicos – Parc – Municipalité de Laruns
• Séminaire de restitution					X		Technicien et décideurs

Cuadro 3-5. Principales actividades para la aplicación de las NBS en el emplazamiento de Erill la Vall y el interés particular de cada una de ellas (en francés). Este cuadro se presentó el segundo día del evento como aportación para las reflexiones con las autoridades y los participantes.

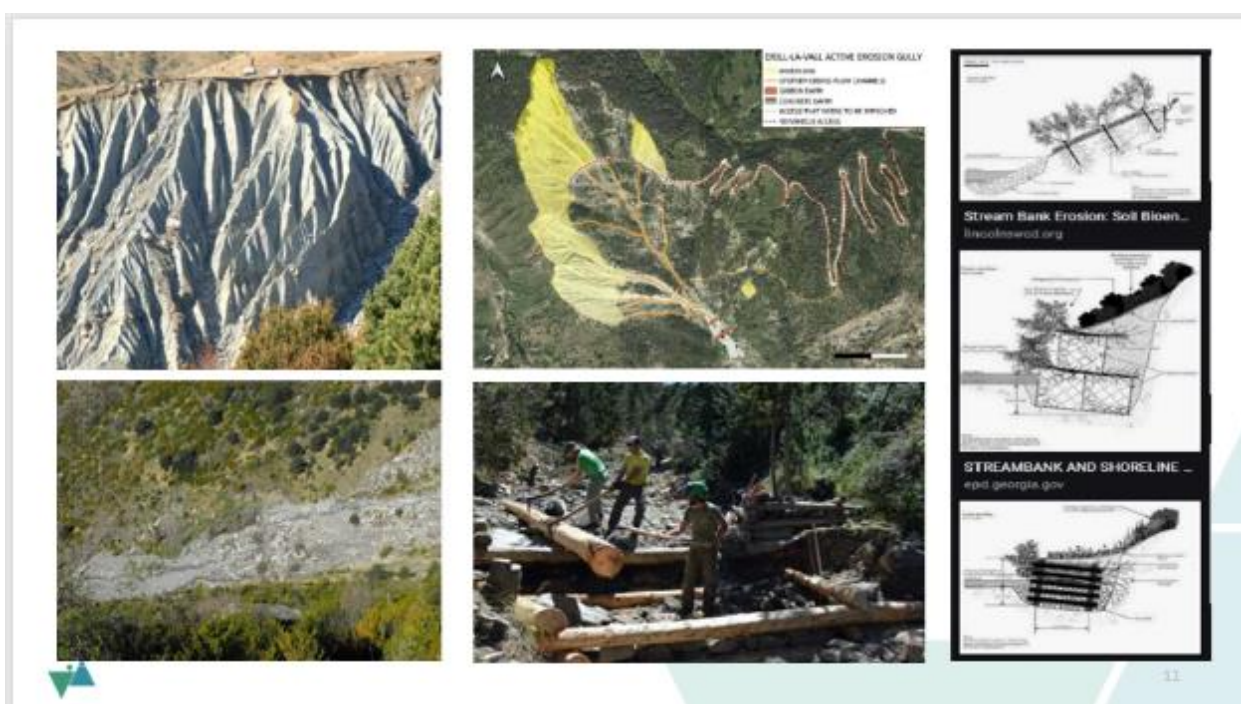


Figura 3-5. Ilustraciones de la aplicación del NBS en la obra de Erill la Vall y del diseño de los muros kramer.

3.1.4 Resumen de la experiencia de aplicación de las NBS en los cuatro emplazamientos pirenaicos como aportación al aprendizaje general sobre las NBS para la reducción de los riesgos naturales en las zonas de montaña.

NBS en el sitio de demostración a gran escala de los Pirineos: numerosas innovaciones que dejan huella

Las NBS que se han implantado en los sitios pirenaicos se han desarrollado mediante la aplicación de varios avances e innovaciones, entre los que destacan:

- La utilización de técnicas Lidar (terrestres - dron - aerotransportadas) en los emplazamientos de Artouste, Erill la Vall y el bosque de Capet; estas herramientas proporcionan una calidad de datos inigualable, con la posibilidad de realizar modelos digitales del terreno incluso en sectores donde la vegetación es abundante, lo que no ocurre con las técnicas basadas en ortofotografías.
- Se ha aplicado una modelización innovadora, por un lado para modelizar detalladamente el bosque (tipo de árboles, localización y diámetro de los troncos a partir de zonas de prueba validadas in situ y modelos de superficie del terreno desarrollados a partir de datos Lidar), y por otro para la modelización de los desprendimientos de rocas en el emplazamiento de Artouste.
- Realización de pruebas de laboratorio para validar las NBS aplicadas en el emplazamiento de Santa Elena.
- Puesta en marcha de una plataforma de ensayos a escala real dentro de la empresa maderera EIFORSA para ensayar y validar las NBS implantadas en la obra de Artouste. Su mantenimiento y perpetuación son un elemento clave para llevar a cabo otras pruebas y, si fuera necesario, establecer protocolos para la estandarización y normalización de NBS.
- Creación de un sitio experimental a escala real en la comuna de Laruns (en un sitio llamado Gourzy) con el apoyo del alcalde y los miembros del consejo municipal. Este tipo de sitios son escasos; hay que perpetuarlos (identificación de las fuentes de financiación, puesta en marcha de una campaña de comunicación para informar a los futuros proyectos y a las partes interesadas que necesitan pruebas de la eficacia de las NBS para reducir los riesgos de desprendimientos de rocas).
- Diseño, ensayo y validación de NBS activas y pasivas para reducir los desprendimientos de rocas, junto con el uso de recursos forestales como solución preventiva natural. También se han desarrollado NBS en consonancia con las prácticas de bioingeniería para estabilizar taludes expuestos a riesgos de erosión (especialmente en depósitos de till glacial (emplazamiento de Santa Elena), y en cuencas hidrográficas muy impactadas (emplazamiento de Erill la Vall)).

NBS, alternativas y/o complementariedad con soluciones grises

Al término de PHUSICOS, la percepción de las NBS y de su papel ha cambiado. Si estas soluciones se consideraban en gran medida como alternativas a las soluciones grises, la retroalimentación de las experiencias en los emplazamientos de montaña -y en particular para los problemas relacionados con los desprendimientos de rocas, la erosión y los corrimientos de tierras poco profundos- las sitúa ahora en un plano de complementariedad con las soluciones de ingeniería gris. Esta complementariedad se manifiesta en el emplazamiento de Artouste, donde se ha instalado un sector con medidas "grises" en el que se esperan altos niveles de energía y otro sector de NBS en el que las energías son menores. Esta complementariedad también se observa a escala de una estructura en el caso particular del emplazamiento de Santa Elena, gracias a la implementación de una solución mixta (NBS + infraestructura gris).

Las NBS no pueden aplicarse cuando las energías movilizadas son elevadas. Sin embargo, los límites de utilización no pueden definirse de forma genérica, sino que deben definirse y validarse caso por caso, en función del peligro que haya que afrontar y de los materiales disponibles para el diseño de soluciones. De ahí que las NBS deban diseñarse, dimensionarse y aplicarse en un marco de ingeniería multidisciplinar. El espectro de situaciones para las que pueden utilizarse los NBS es, sin embargo, amplio, pero aún está por definir, estandarizar y normalizar. Instalaciones experimentales como las de EIFORSA y sitios experimentales como Gourzy son herramientas especialmente interesantes para definir los límites y las soluciones más adecuadas.

NBS, soluciones basadas en la naturaleza

Al igual que el papel de las NBS en el espectro de posibles soluciones para reducir los riesgos, el enfoque aplicado por PHUSICOS en los Pirineos ha evolucionado hacia soluciones híbridas pragmáticas. Los retornos del sector de la bioingeniería durante la jornada de formación, también han contribuido a ampliar la percepción de muchos socios. Las terrazas instaladas en Santa Elena ilustran esta evolución. Las estructuras básicas instaladas son en su mayoría una solución híbrida y no un NBS en sentido estricto. Como en el caso de las soluciones grises, las estructuras implantadas sirven para apoyar la puesta en marcha de sistemas vegetales. Sin embargo, a diferencia de las soluciones grises, las NBS implantadas serán progresivamente y, en muchos casos, rápidamente engullidas por la vegetación natural y las estructuras de base se descompondrán hasta desaparecer. Este no es el caso de las soluciones grises. Por lo tanto, las NBS pueden definirse en un marco temporal más amplio. Los resultados de la bioingeniería demuestran que en pocos años (a veces sólo 2 ó 3), la naturaleza se apodera totalmente de las estructuras de base iniciales que se diseñan como facilitadoras iniciales.

NBS, ¿cuál es su eficacia para reducir los riesgos?

Recordemos que las NBS desarrolladas y aplicadas en los Pirineos tenían como objeto reducir únicamente los peligros, y en ningún caso reducir la vulnerabilidad o la exposición de los elementos sometidos a los riesgos del lugar. Así lo demuestra la modelizaciones de los desprendimientos de rocas realizadas en el emplazamiento de

Artouste. La eficacia de las NBS es una realidad siempre que se utilicen adecuadamente. Si las NBS son pertinentes para reducir el riesgo de desprendimiento de rocas en contextos en los que el nivel inicial de riesgo es "moderado", estas soluciones no aportan necesariamente una respuesta satisfactoria en contextos de alta energía o niveles de riesgo elevados. De hecho, la utilidad de los NBS depende totalmente de su diseño. Es innegable que en un futuro la retroalimentación y la experimentación abrirán nuevas oportunidades y validarán estas soluciones para nuevos ámbitos que hoy no son accesibles. Al igual que las soluciones grises, las NBS evolucionarán, y con ellas su espectro de respuestas positivas.

También hay que destacar un punto especialmente importante en relación con su eficacia. Las NBS se refuerzan con el paso del tiempo, lo que supone una reducción del riesgo, pero también un beneficio económico. Las NBS son en su mayoría autorregulables y automantenibles, mientras que en el caso de las soluciones de ingeniería gris, su coste de mantenimiento suele aumentar con el paso del tiempo. Por lo tanto, las NBS representan soluciones cuya eficacia aumenta gradual y naturalmente con el tiempo, y cuyos costes de mantenimiento disminuyen o incluso desaparecen.

NBS, fomentar el desarrollo económico local

Este es otro argumento de peso para la promoción y el desarrollo de las NBS. La preocupación es legítima, y ha sido ampliamente respaldada por el alcalde de Laruns. El pueblo cuenta con considerables recursos forestales, por lo que el alcalde solicitó que, en la medida de lo posible, la NBS se diseñara e implementara empleando recursos locales y con la participación de empresas del lugar. Este punto es especialmente importante en la estrategia general de diseño de las NBS, ya que impone unas condiciones límite específicas a científicos, técnicos y empresas. No se trata de identificar recursos que respondan a un diseño determinado, sino de invertir la lógica de las restricciones imponiendo al diseñador recursos que existen localmente, con sus propias características, y que pueden no ser tan buenos como los que se requieren habitualmente. Corresponde al diseñador definir soluciones en base a los elementos disponibles en cada caso. Esta práctica es nueva y puede parecer algo esotérica, pero está llena de significado, perspectivas e innovación. Sin duda complicará, posiblemente retrasará o incluso imposibilitará la normalización de las NBS, pero obligará a científicos, autoridades y organismos de normalización a cambiar de paradigma. Los parámetros de entrada de los modelos y las normas serán diferentes, pero conducirán a un mayor pragmatismo, una mayor personalización, la reducción de la huella de carbono, el fortalecimiento de las economías locales y, en consecuencia, la mayor aceptación de las NBS por parte de la sociedad.

3.1.5 Modelización: interés y límites. El ejemplo de modelización de desprendimientos de rocas en el yacimiento de Artouste.

La modelización de los peligros es esencial para conocer los niveles de riesgo y definir soluciones adecuadas para su reducción. Es compleja porque implica la integración de múltiples parámetros a veces difíciles de obtener y con mucha variabilidad espacial. La

modelización de los desprendimientos de rocas realizada en el emplazamiento de Artouste por el BRGM y la Universidad de Nápoles (UNINA) ilustra a la vez el interés de estos modelos, la dificultad de acceder a determinados parámetros, la necesidad de efectuar ciertas modificaciones, las limitaciones de los resultados y el impacto sobre la responsabilidad de los responsables de la seguridad de la población, en particular los alcaldes.

En el apartado D4.4 "*Modelización de patrones cambiantes de peligrosidad y riesgo e identificación del periodo de retorno de los fenómenos extremos que las NBS podrían soportar con seguridad*" se ofrecen más detalles sobre la modelización de peligros.

Aunque la modelización se realizó en un sector relativamente grande, la aplicación de las NBS (Figura 3-6) se concentró en un sector con un nivel de riesgo moderado. En el sector cuyo nivel de peligrosidad era más elevado, el alcalde del municipio prefirió una solución basada en redes metálicas, habida cuenta de la necesidad de protección, la responsabilidad que ello implicaba y los antecedentes de accidentes ocurridos en la carretera departamental 934 (subcapítulo 1.2.2). Esta decisión del alcalde se ha visto respaldada por los resultados de la modelización de los desprendimientos de rocas.

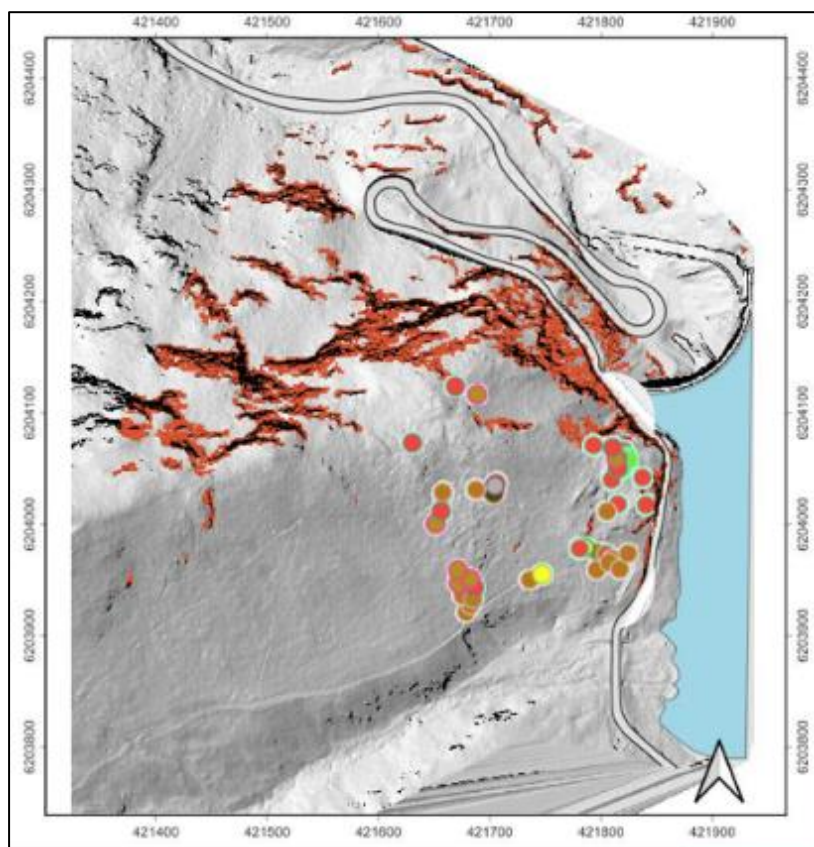


Figura 3-6. Disposición de los distintos tipos de estructuras NBS (redondas).

Modelización con tecnologías y métodos innovadores

La modelización se realizó utilizando datos LIDAR aerotransportados, lo que permitió obtener un modelo digital del terreno con una resolución de 25 cm. Se utilizó el modelo ROCKYFOR3D (Dorren *et al.*, 2012), con los siguientes datos:

- Modelo digital del terreno, probando diferentes resoluciones.
- Las zonas de inicio de desprendimiento de los bloques, determinadas mediante el procesamiento del modelo digital del terreno y una campaña de campo.
- Diferentes formas de los bloques basadas en investigaciones sobre el terreno.
- Rugosidad del suelo a partir de investigaciones de campo y procesamiento de modelos digitales del terreno.
- Mapas de tipos de suelo basados en trabajo de campo y análisis de modelos digitales del terreno.
- Forestal (localización exhaustiva de árboles, tipo de árbol y diámetro del árbol en una zona limitada a partir de imágenes Lidar terrestres), combinada con la modelización del dosel en todo el lugar de estudio para extrapolar los datos adquiridos en la zona de prueba.

La adquisición de datos básicos con herramientas innovadoras (LIDAR), el tratamiento de estos datos y la modelización realizada en el emplazamiento de Artouste han permitido poner de manifiesto niveles de riesgo totalmente diferentes entre las zonas norte y sur (Figura 3-7), con un nivel de riesgo mucho más elevado en la zona norte (mayor energía y altura de rebote).

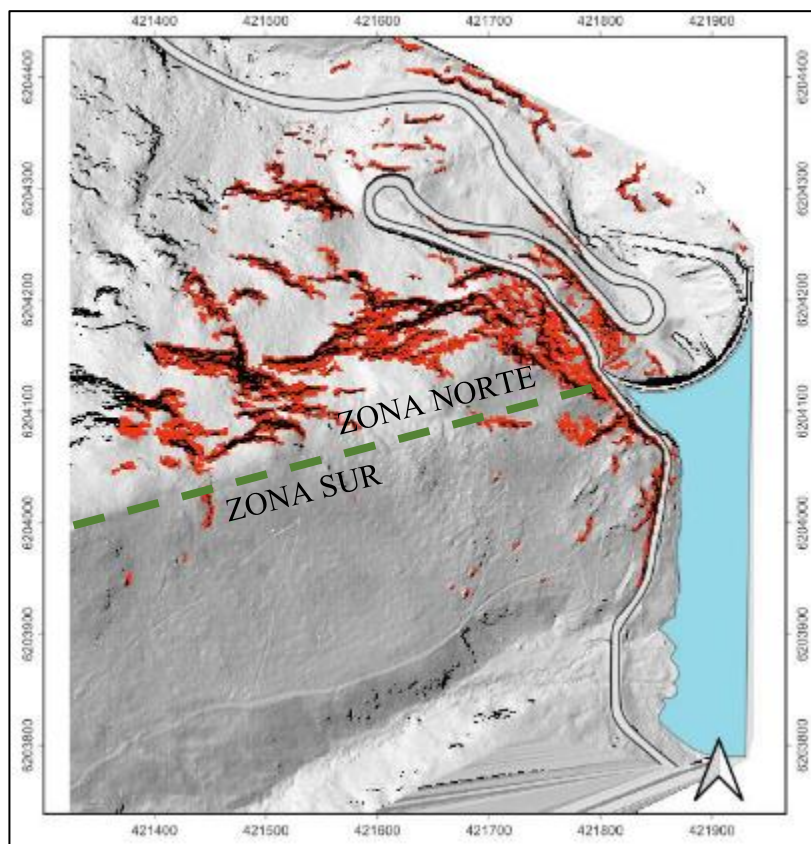


Figura 3-7. Localización de las zonas de liberación de los bloques (en rojo y negro) en las zonas Norte y Sur (fuente: BRGM).

Los resultados obtenidos validaron:

- La elección del alcalde de las soluciones de reducción de riesgos, con una solución de ingeniería gris (redes metálicas al norte) y NBS al sur.
- La irrelevancia de las NBS por sí solas con respecto a las energías implicadas en la zona norte (sin embargo, ahora pueden añadirse como complemento a las redes, sobre todo como soluciones activas en las zonas de salida).
- La utilidad de las NBS en la zona sur.

Aunque los datos adquiridos sean extremadamente precisos gracias a la utilización de tecnologías Lidar aerotransportadas, la modelización se basa en un proceso definido a partir de píxeles unitarios, lo que significa que los datos se normalizan (suavizan) en una cuadrícula determinada para proceder a la modelización, ya se trate de las pendientes, los suelos, la presencia de árboles, la rugosidad de los suelos o las zonas de liberación de bloques. Esta agregación es necesaria en relación con el código de cálculo, pero crea necesariamente sesgos, aunque éstos estén limitados por las campañas sobre el terreno que permiten calibrar los parámetros de base. Dadas las capacidades de cálculo actuales, deben realizarse esfuerzos de I+D para desarrollar un software de modelización de trayectorias de bloques que no se base en modelos raster.

3.2 Aprender de la experiencia de los Living Labs en los cuatro emplazamientos del caso de demostración a gran escala de los Pirineos.

Durante el segundo día del evento, se hizo un mención al proceso participativo, también llamado "*Living Labs*", para destacar los resultados y compartir las principales conclusiones con los participantes. Este subcapítulo 3.2 recoge dicho contenido.

3.2.1 Enfoque desarrollado durante los Living Labs en los Pirineos

Cada uno de los cuatro emplazamientos del caso de demostración a gran escala de los Pirineos ha contado con una fuerte implicación y compromiso de múltiples partes interesadas, a través de los procesos del Living Lab.

Los Living Labs se consideran un banco de pruebas y un entorno experimental e innovador donde se invita a los usuarios a debatir problemas y a co-crear y co-diseñar medidas. Permiten a cualquier individuo, grupo y organización con interés en las intervenciones basadas en la naturaleza seguir el proceso de diseño, planificación, aplicación y evaluación.

La participación de las partes interesadas se ha estructurado a lo largo de las fases del proyecto, buscando un compromiso particular en cada una de ellas.

Fase 1. Estudio y diseño del proyecto

- Contribución de los conocimientos locales.
- Participación en la recogida de datos.
- Revisión crítica del diseño del proyecto.

Fase 2. Aplicación de las NBS

- Aportar conocimientos locales durante la fase de construcción.
- Movilización de material local.
- Implicar recursos humanos locales.

Fase 3. Durante el periodo de construcción y garantía

- Participación en la supervisión.
- Participación en la evaluación de la eficacia de las medidas.

3.2.2 Living Lab y otras actividades de encuentro en los Pirineos

Se han desarrollado muchas actividades bajo el concepto de Living Lab. Cuadro 3-6, Cuadro 3-7, Cuadro 3-8 y Cuadro 3-9 describen las actividades de cada uno de los lugares de intervención de PHUSICOS en los Pirineos.

Fecha	Descripción del Living Lab y otras actividades de la reunión	Número de participantes	Grupos de participantes
11/09/2020	Visita sobre el terreno y reunión para presentar NBS y los lugares previstos para PHUSICOS en los Pirineos	12	Responsables políticos, autoridades, personal técnico de los gobiernos locales y departamentales
17/11/2021	Reunión técnica sobre los avances en los centros de demostración de los Pirineos	10	Expertos técnicos de cada centro, socios de PHUSICOS en los Pirineos
25/01/2022	Lluvia de ideas técnicas sobre posibles actividades de seguimiento en el caso de demostración de los Pirineos (parte de la reunión del Consorcio ampliada a los expertos técnicos de los distintos emplazamientos pirenaicos).	11	Expertos técnicos de cada centro, socios de PHUSICOS en los Pirineos
21/03/2022	Reunión de coordinación con las partes implicadas para presentar la evaluación realizada por la ONF-RTM y el plan de inversión para la protección de Barèges y Sers; mención a la contribución de PHUSICOS en este plan: Asistencia técnica (ONF - RTM x 4), Equipo municipal (Alcalde y Consejero municipal x 2), Gobierno departamental (Subprefecto departamental y Asistente x 2), Sección de desarrollo regional (DDT x 1), Comunidad de trabajo de los Pirineos - CTP - OPCC (x1)	10	Responsables y autoridades locales y departamentales, personal técnico de los gobiernos locales y departamentales
07-11/04/2022	Reunión con demostración y explicación del emplazamiento de Capet a los alumnos de la ESCUELA DE PRIMAVERA de Lourdes, con ONF-RTM	14	Estudiantes, experto técnico
13/04/2022	Reunión para recoger comentarios y sugerencias sobre la plataforma PHUSICOS sobre NBS, organizada por BRGM (FR)	6	Personal técnico de los gobiernos locales y departamentales

Fecha	Descripción del Living Lab y otras actividades de la reunión	Número de participantes	Grupos de participantes
27/09/2022	Reunión de información pública (Living Lab) organizada junto con el Ayuntamiento y la RTM-ONF - Presencia de residentes locales y 3 autoridades municipales	9	Experto técnico, autoridades locales y ciudadanos
27/09/2022	Entrevista en profundidad (mitad de la ronda) - Alcalde de Barèges	1	Autoridad
10-14/10/2022	Visita de seguimiento del IGN en los Pirineos Visita sobre el terreno y reunión con los alcaldes de Barèges y Sers, expertos técnicos del IGN, experto técnico de Capet, experto invitado del INRAE, reportero de vídeo	8	Expertos técnicos y Autoridades
10/02/2023	Avances y últimas medidas en los yacimientos pirenaicos Reunión de coordinación técnica con los socios de PHUSICOS en los Pirineos, los expertos técnicos de cada sitio y el experto participativo de Erill, Santa Elena y Artouste.	9	Expertos técnicos de cada lugar, experto en participación, socios de PHUSICOS en los Pirineos
11 & 12/04/2023	Acto de formación y seminario de resultados de PHUSICOS en los Pirineos	26 (11/04) 32 (12/04)	Autoridades regionales, autoridades a nivel local y departamental, personal técnico de los gobiernos locales y departamentales, expertos técnicos de las obras, pequeñas y medianas empresas, ONG y ciudadanos.

Cuadro 3-6. *Living Lab y otras actividades participativas en el emplazamiento del bosque de Capet, municipios de Barèges y Sers, Altos Pirineos, Francia.*

Fecha	Descripción del Living Lab y otras actividades de la reunión	Número de participantes	Grupos de participantes
11/09/2020	Visita sobre el terreno y reunión para presentar las NBS y los lugares PHUSICOS previstos en los Pirineos	12	Responsables políticos, autoridades, personal técnico de los gobiernos locales y departamentales
Septiembre 2020	Entrevistas en profundidad (5) a personas afectadas por las intervenciones en Artouste, Santa Elena	5	Personal técnico de los gobiernos locales y departamentales
15/04/2021	ARTOUSTE y SANTA ELENA - Presentación formal de las NBS a las partes interesadas locales	38	Responsables políticos, autoridades, personal técnico de los gobiernos locales y departamentales

Fecha	Descripción del Living Lab y otras actividades de la reunión	Número de participantes	Grupos de participantes
15/10/2021	Living Lab (virtual) sobre el diseño del proyecto	14	Responsables políticos, autoridades, personal técnico de los gobiernos locales y departamentales, socios de PHUSICOS en los Pirineos
17/11/2021	Reunión técnica sobre los progresos realizados en los centros de demostración de los Pirineos	10	Expertos técnicos de cada centro, socios de PHUSICOS en los Pirineos
25/01/2022	Lluvia de ideas técnicas sobre posibles actividades de seguimiento en el caso de demostración de los Pirineos (parte de la reunión del Consorcio ampliada a los expertos técnicos de los diferentes sitios de los Pirineos).	11	Expertos técnicos de cada centro, socios de PHUSICOS en los Pirineos
07-11/04/2022	Reunión y visita sobre el terreno con los alumnos de SPRING SCHOOL a Laruns y Santa Elena, con la AECT Pirineos-Pirénéas	14	Estudiantes, experto técnico
21/04/2022	Reunión para recoger comentarios y sugerencias sobre la plataforma PHUSICOS sobre NBS, desarrollada por BRGM (ES)	9	Personal técnico de los gobiernos locales y departamentales
22/04/2022	Visita de campo con estudiantes de máster de la Universidad Politécnica de Madrid	20	Estudiantes, profesores universitarios, expertos técnicos
27/07/2022	Visita de campo con alumnos de formación profesional sobre viveros forestales y jardinería paisajística en Canfranc	18	Estudio/práctica de jóvenes profesionales sobre reconversión, experto técnico
Septiembre 2022	Entrevistas en profundidad	2	Técnicos y responsables de las administraciones locales y departamentales
10-14/10/2022	Visita de seguimiento del IGN en los Pirineos Visita sobre el terreno a Santa Elena con expertos técnicos del IGN, experto técnico de Santa Elena	5	Expertos técnicos
10/02/2023	Progresos y últimos pasos en los yacimientos pirenaicos Reunión de coordinación técnica con los socios de PHUSICOS en los Pirineos, los expertos técnicos de cada sitio y el experto en procesos participativos de Erill, Santa Elena y Artouste.	9	Expertos técnicos de cada sitio, Experto participativo, socios de PHUSICOS en los Pirineos
21/03/2023	Visita de campo y reunión al aire libre para ver los avances de las obras de Santa Elena	19	Autoridades locales y departamentales, personal

Fecha	Descripción del Living Lab y otras actividades de la reunión	Número de participantes	Grupos de participantes
	junto con el Alcalde de Biescas, el Alcalde de Laruns (obra de Artouste) y su equipo municipal, técnicos de los gobiernos locales y departamentales, socios de PHUSICOS, representantes de las empresas de obras involucradas en las obras, Universidad Politécnica de Madrid, Técnicos de la obra, autoridades y técnicos de los municipios vecinos.		técnicos de las administraciones locales y departamentales, expertos técnicos in situ, pequeñas y medianas empresas, estudiantes...
27/03/2023	Visita de campo con autoridades regionales, provinciales y municipales (Director Regional de Gestión y Conservación de Carreteras del Gobierno de Aragón)	14	Autoridades a nivel local y departamental, personal técnico de los gobiernos locales y departamentales, experto técnico del lugar, pequeña y mediana empresa
11 & 12/04/2023	Acto de formación y seminario de resultados de PHUSICOS en los Pirineos	26 (11/04) 32 (12/04)	Autoridades regionales, autoridades a nivel local y departamental, personal técnico de los gobiernos locales y departamentales, expertos técnicos de las obras, pequeñas y medianas empresas, ONG y ciudadanos.

Cuadro 3-7. Living Lab y otras actividades de reunión en el yacimiento de Santa Elena, municipio de Biescas, Aragón, España.

Fecha	Descripción del Living Lab y otras actividades de la reunión	Número de participantes	Grupos de participantes
11/09/2020	Visita sobre el terreno y reunión para presentar NBS y los lugares previstos para PHUSICOS en los Pirineos	12	Responsables políticos, autoridades, personal técnico de los gobiernos locales y departamentales
Septiembre 2020	Entrevistas en profundidad (5) a personas afectadas por las intervenciones en Artouste, Santa Elena	5	Personal técnico de los gobiernos locales y departamentales
15/04/2021	ARTOUSTE y SANTA ELENA - Presentación oficial de las NBS a las partes interesadas locales	38	Responsables políticos, autoridades, personal técnico de los gobiernos locales y departamentales
09/09/2021	Reunión de coordinación para la definición del proyecto con el técnico, el equipo municipal, el Parque Nacional de los	14	Responsables políticos, autoridades, personal técnico de los gobiernos locales y departamentales

Fecha	Descripción del Living Lab y otras actividades de la reunión	Número de participantes	Grupos de participantes
	Pirineos, el ONF y los servicios técnicos departamentales.		
15/10/2021	Reunión técnica en torno al emplazamiento de Artouste para recabar opiniones sobre los ejercicios de modelización	10	Experto técnico, miembros y socios de la Universidad de Madrid, socios de PHUSICOS en los Pirineos
17/11/2021	Reunión técnica sobre los avances en los centros de demostración de los Pirineos	10	Expertos técnicos de cada centro, socios de PHUSICOS en los Pirineos
19/11/2021	Reunión de coordinación para presentar el avance de los estudios para la obra en Artouste, el plan para el laboratorio experimental y definir el calendario conjunto.	13	Responsables políticos, autoridades y personal técnico de los gobiernos departamentales locales, expertos técnicos y socios de PHUSICOS en los Pirineos.
25/01/2022	Lluvia de ideas técnicas sobre posibles actividades de seguimiento en el caso de demostración de los Pirineos (parte de la reunión del Consorcio ampliada a los expertos técnicos de los distintos sitios de los Pirineos).	11	Expertos técnicos de cada centro, socios de PHUSICOS en los Pirineos
07-11/04/2022	Reunión con las autoridades municipales y visita sobre el terreno con los alumnos de SPRING SCHOOL a Laruns y Santa Elena, con la EGCT Pirineos - Pyrénées	14	Estudiantes, experto técnico
13/04/2022	Reunión para recoger comentarios y sugerencias sobre la plataforma PHUSICOS sobre las NBS, desarrollada por BRGM (FR)	6	Personal técnico de los gobiernos locales y departamentales
23/05/2022	Reunión con el Parque Nacional de los Pirineos. Inicio de la negociación sobre el caso Artouste con el personal directivo del Parque Nacional de los Pirineos, el personal directivo de la CTP, expertos técnicos e I+D.	9	Personal de gestión del Parque Nacional de los Pirineos, experto técnico y socios de PHUSICOS en los Pirineos
29/06/2022	Reunión con todas las partes interesadas en torno a Artouste, 7 partes interesadas participan en esta reunión tras muchos esfuerzos bilaterales	15	Personal de gestión del Parque Nacional de los Pirineos, expertos técnicos, responsables de la toma de decisiones, autoridades, personal técnico de los gobiernos locales y departamentales y socios de PHUSICOS en los Pirineos.
De junio a septiembre de 2022	INTERCAMBIOS DE COORDINACIÓN para la elaboración del protocolo de colaboración. Correos electrónicos e intercambio de	15	Personal de gestión del Parque Nacional de los Pirineos, expertos técnicos,

Fecha	Descripción del Living Lab y otras actividades de la reunión	Número de participantes	Grupos de participantes
	llamadas para acordar el contenido del protocolo y las responsabilidades		responsables de la toma de decisiones, autoridades, personal técnico de los gobiernos locales y departamentales y socios de PHUSICOS en los Pirineos.
21/09/2022	REUNIÓN DE COORDINACIÓN / COMITÉ TÉCNICO 1ª reunión. Presentación del calendario de trabajo para la obra de Artouste y la obra del Laboratorio y las empresas de trabajo.	9	Experto técnico, personal de gestión del Parque Nacional de los Pirineos, autoridades locales y PYME (empresa encargada de las obras en Artouste y supervisor técnico contratado).
Septiembre 2022	Entrevista en profundidad	1	Responsable de Conservación de Carreteras del Departamento de Pirineos Atlánticos
07/10/2022	Visita de campo a Artouste junto con miembros del Consejo Científico del Parque Nacional de los Pirineos y autoridades locales	3	Experto técnico, Parque Nacional de los Pirineos miembro del consejo científico, autoridad local
10-14/10/2022	Visita de seguimiento del IGN en los Pirineos Visita sobre el terreno a Artouste y reunión con el alcalde de Laruns y el equipo municipal, expertos del IGN, experto técnico de Artouste	8	Autoridades y expertos técnicos
10/02/2023	Avances y últimos pasos en los yacimientos pirenaicos Reunión de coordinación técnica con los socios de PHUSICOS en los Pirineos, los expertos técnicos de cada sitio y el experto participativo de Erill, Santa Elena y Artouste.	9	Expertos técnicos de cada sitio, Experto participativo, socios de PHUSICOS en los Pirineos
20/02/2023	Reunión del Comité Técnico (según protocolo de colaboración firmado para la autorización de las obras)	15	Miembros del Comité Técnico, compuesto por representantes del Ayuntamiento de Laruns, Parque Nacional de los Pirineos, Gobierno Departamental de Pirineos Atlánticos, RTM-ONF, ONF Pirineos Atlánticos, GECT Pirineos-Pirineos y CTP-OPCC.
21/03/2023	Visita de campo y reunión al aire libre para ver el avance de las obras en Artouste y obra experimental en La Peña, junto con el Alcalde de Laruns y su equipo municipal, técnicos de las administraciones local y	19	Autoridades locales y departamentales, personal técnico de las administraciones locales y departamentales, expertos técnicos de los

Fecha	Descripción del Living Lab y otras actividades de la reunión	Número de participantes	Grupos de participantes
	departamental, representantes del Parque Nacional de los Pirineos, socios de PHUSICOS, representantes de las empresas implicadas en las obras, Universidad Politécnica de Madrid, Técnicos representantes de la empresa a cargo de la obra, autoridades locales y técnicos de los municipios vecinos.		centros, pequeñas y medianas empresas, estudiantes
03/04/2023	Visita de campo a Artouste junto con miembros del Comité Técnico (según protocolo de colaboración firmado para la autorización de las obras)	5	Experto técnico, miembro de RTM-ONF, autoridad local, representantes de las empresas implicadas en las obras
11 & 12/04/2023	Acto de formación y seminario de resultados de PHUSICOS en los Pirineos Visita a las obras de Artouste en el marco del seminario	26 (11/04) 32 (12/04)	Autoridades regionales, autoridades a nivel local y departamental, personal técnico de los gobiernos locales y departamentales, expertos técnicos de las obras, pequeñas y medianas empresas, ONG y ciudadanos.

Cuadro 3-8. Living Lab y otras actividades de reunión en el emplazamiento de Artouste, municipio de Laruns, Pirineos Atlánticos, Francia.

Fecha	Descripción del Living Lab y otras actividades de la reunión	Número de participantes	Grupos de participantes
21/07/2021	Introducción al proyecto NBS y PHUSICOS, visita al emplazamiento junto con el equipo municipal y las partes interesadas regionales y locales.	16	Responsables de la toma de decisiones, autoridades, personal técnico de las administraciones locales y regionales, expertos técnicos
08/09/2021	Reunión de coordinación entre las partes implicadas: Asistencia técnica, Equipo municipal, Generalitat de Catalunya (OCCC)	4	Responsables de la toma de decisiones, autoridades, personal técnico de las administraciones locales y regionales, expertos técnicos
10/09/2021	Sesión de Living Lab (FtF) con residentes del valle	27	Responsables de la toma de decisiones, autoridades, personal técnico de las administraciones locales y regionales, ciudadanos, expertos técnicos

Fecha	Descripción del Living Lab y otras actividades de la reunión	Número de participantes	Grupos de participantes
28/10/2021	Reunión de coordinación entre las partes implicadas: Asistencia técnica, equipo municipal, Generalitat de Catalunya (OCCC)	6	Responsables de la toma de decisiones, autoridades, personal técnico de las administraciones locales y regionales, expertos técnicos
17/11/2021	Reunión técnica sobre los avances en los centros de demostración de los Pirineos	10	Expertos técnicos de cada centro, socios de PHUSICOS en los Pirineos
25/11/2021	Reunión de coordinación entre las partes implicadas: Asistencia técnica, Equipo municipal, Generalitat de Catalunya (OCCC)	5	Responsables de la toma de decisiones, autoridades, personal técnico de las administraciones locales y regionales, expertos técnicos
17/12/2021	Reunión de coordinación entre las partes implicadas: Asistencia técnica, Equipo municipal, Generalitat de Catalunya (OCCC)	6	Responsables de la toma de decisiones, autoridades, personal técnico de las administraciones locales y regionales, expertos técnicos
17/12/2021	Living Lab con los ciudadanos para explicar el contexto y contrastar la solución propuesta antes de su implantación	13	Responsables de la toma de decisiones, autoridades, personal técnico de las administraciones locales y regionales, ciudadanos, expertos técnicos
25/01/2022	Lluvia de ideas técnicas sobre posibles actividades de seguimiento en el caso de demostración de los Pirineos (parte de la reunión del Consorcio ampliada a los expertos técnicos de los distintos sitios de los Pirineos).	11	Expertos técnicos de cada centro, socios de PHUSICOS en los Pirineos
04/03/2021	Reunión de coordinación entre las partes implicadas: Asistencia técnica, Equipo municipal, Generalitat de Catalunya (OCCC)	6	Responsables de la toma de decisiones, autoridades, personal técnico de las administraciones locales y regionales, expertos técnicos
07-11/04/2022	Reunión con las autoridades municipales y visita sobre el terreno con los alumnos de la SPRING SCHOOL en la Vall de Boí, con Kuroba4	14	Estudiantes, experto técnico
21/04/2022	Reunión para recoger comentarios y sugerencias sobre la plataforma PHUSICOS sobre NBS, desarrollada por BRGM (ES)	9	Personal técnico de los gobiernos locales y departamentales
28/07/2022	Visita sobre el terreno y sesión informativa pública a la sociedad civil con las autoridades	13	Responsables de la toma de decisiones, autoridades, personal técnico de las

Fecha	Descripción del Living Lab y otras actividades de la reunión	Número de participantes	Grupos de participantes
			administraciones locales y regionales, ciudadanos, expertos técnicos
Septiembre 2022	Entrevistas en profundidad	2	Autoridades, personal técnico de los gobiernos locales y regionales
10-14/10/2022	Visita de seguimiento del IGN en los Pirineos Visita sobre el terreno a Erill con expertos técnicos del IGN, el experto técnico de Erill y el alcalde de la Vall de Boí	6	Expertos técnicos
22/10/2022	Visita sobre el terreno y sesión informativa pública a la sociedad civil con las autoridades		Responsables de la toma de decisiones, autoridades, personal técnico de las administraciones locales y regionales, ciudadanos, expertos técnicos
10/02/2023	Avances y últimos pasos en los yacimientos pirenaicos Reunión de coordinación técnica con los socios de PHUSICOS en los Pirineos, los expertos técnicos de cada sitio y el experto participativo de Erill, Santa Elena y Artouste.	9	Expertos técnicos de cada sitio, Experto participativo, socios de PHUSICOS en los Pirineos
23/03/2023	Reunión de coordinación entre las partes implicadas: Asistencia técnica, Equipo municipal, Generalitat de Catalunya (OCCC)	6	Responsables de la toma de decisiones, autoridades, personal técnico de las administraciones locales y regionales, expertos técnicos
11 & 12/04/2023	Evento de formación y Seminario de resultados de PHUSICOS en los Pirineos	26 (11/04) 32 (12/04)	Autoridades regionales, autoridades a nivel local y departamental, personal técnico de los gobiernos locales y departamentales, expertos técnicos de los sitios, pequeñas y medianas empresas, ONG y ciudadanos.
22/04/2023	Living Lab con ciudadanos y autoridades para ver y comentar el avance final de las obras		Responsables de la toma de decisiones, autoridades, personal técnico de las administraciones locales y regionales, ciudadanos, expertos técnicos

Cuadro 3-9. Living Lab y otras actividades de reunión en el emplazamiento de Erill la Vall, municipio de Vall de Boí, Cataluña, España.

3.2.3 Lecciones aprendidas de las actividades del Living Lab en los Pirineos

El trabajo realizado por PHUSICOS en los Pirineos y el desarrollo de los Living Labs para apoyar la implementación de las NBS ha aportado lecciones aprendidas y hallazgos clave como los siguientes:

- Los Living Labs aportan conocimientos a las poblaciones locales y sensibilizan sobre los peligros naturales y los correspondientes riesgos presentes en una zona.
- Los Living Labs revalorizan los conocimientos locales y dan voz a la ciudadanía y a todas las partes interesadas que intervienen en estos espacios y procesos participativos. Dan una perspectiva nueva, innovadora y tecnológica a conocimientos antiguos y tradicionales, a menudo olvidados o desatendidos.
- En la mayoría de los Living Labs existe una vaga sensación de incapacidad para influir o juzgar el trabajo, delegando los conocimientos técnicos en especialistas contratados encargados de diseñar las soluciones. Esto se ha identificado como una potencial dificultad para movilizar a las partes interesadas y/o recoger opiniones durante las sesiones. Esto confirma la necesidad de un proceso de creación basado en la confianza como base para intercambiar y debatir la validez de las soluciones, pero también para garantizar espacios de libre intercambio y respeto de todas las opiniones.

3.3 Beneficios conjuntos de las NBS y el seguimiento del suelo: recomendaciones para los emplazamientos de Capet y Santa Elena

Este subcapítulo 3.3 recoge una parte de los elementos presentados durante el segundo día del evento, en particular los centrados en los cobeneficios de las NBS. La parte centrada en los indicadores de seguimiento del suelo y las recomendaciones dirigidas a los emplazamientos del Bosque de Capet y Santa Elena constituyen un compromiso del CREAM en restituir los resultados de los análisis del suelo y las principales conclusiones para la actualización de los protocolos de seguimiento del suelo del RTM-ONF. El objetivo de incluirlos en su informe es poner estos resultados a disposición de cualquier técnico forestal que esté interesado en aplicar las NBS y monitorizar los beneficios sobre el secuestro de carbono y otros servicios ecosistémicos. A lo largo de este subcapítulo, las referencias y recomendaciones se van adaptando las distintas NBS aplicadas en los sitios del Bosque de Capet y Santa Elena. No obstante, la mayoría de los indicadores y procedimientos correspondientes pueden aplicarse a otros sitios de implementación de NBS. Las NBS se proponen para mitigar los riesgos vinculados a los corrimientos de tierra, desprendimientos de rocas y avalanchas de nieve en zonas de montaña. Asimismo, se intenta integrar siempre el monitoreo de los efectos de estas sobre el suelo y la vegetación, ya que a menudo se utilizan como herramientas naturales para alcanzar los resultados deseados. El suelo y la vegetación naturales del lugar de intervención y sus

alrededores también pueden verse afectados directa o indirectamente por las obras realizadas. Por lo tanto, las NBS tienen efectos colaterales sobre estos componentes clave de los ecosistemas terrestres y sobre los servicios ecosistémicos que brindan. La mejora de los servicios ecosistémicos es una condición para que cualquier operación pueda considerarse una NBS y, por tanto, los impactos sobre el suelo y la vegetación deben evaluarse en el marco de **la evaluación de impacto de las NBS**.

La evaluación del impacto de las NBS es esencial para adquirir conocimientos sobre la eficacia de las intervenciones y avanzar hacia la sistematización de buenas prácticas en condiciones ambientales específicas. Con este objetivo en mente, la evaluación de impactos debe tener en cuenta también los efectos causales de los cambios en el suelo y las comunidades vegetales relacionadas con las obras de implementación de las NBS.

El seguimiento del impacto es un proceso continuo que comienza antes del inicio de las operaciones y continúa una vez finalizadas. El seguimiento permite evaluar la evolución de determinados indicadores del suelo y las plantas a lo largo del tiempo, desde un valor previo a la operación o inmediatamente posterior (valor de referencia) hacia su valor previsto o deseado en un **emplazamiento de referencia** (seguimiento del rendimiento). Debe especificarse un valor final de referencia para cada indicador, así como la progresión prevista del indicador a lo largo del tiempo, de modo que puedan diseñarse intervenciones correctivas para corregir problemas y trayectorias no deseadas y dar apoyo a la gestión adaptativa (Raymond *et al.*, 2017).

Los lugares de referencia son física y biológicamente iguales a la zona afectada por las operaciones, pero no están alterados por las obras y por lo tanto muestran el potencial medioambiental óptimo del lugar. El lugar de referencia representa el estado deseado que debe alcanzarse en la zona afectada por las NBS.

En los climas templados, dada la parsimoniosa respuesta del sistema suelo-planta a las perturbaciones o a la manipulación, el seguimiento del suelo y las plantas puede durar mucho tiempo tras la aplicación de las NBS, y puede requerirse una cantidad de tiempo considerable antes de que puedan observarse avances hacia algunos objetivos (por ejemplo, aumento de las reservas de carbono en el suelo, colonización de la zona por árboles, etc.). Lo ideal sería que los planes de seguimiento incluyeran indicadores del ecosistema que respondieran en escalas de tiempo cortas o medias, para proporcionar indicaciones a corto plazo y reducir los costes de seguimiento a largo plazo. En este caso, el seguimiento también debe realizarse a la escala temporal en la que operan los indicadores pertinentes.

En una situación ideal, si las medidas aplicadas son adecuadas y no se producen perturbaciones inesperadas, el nuevo sistema suelo-planta evolucionará lentamente desde el estado postoperativo hacia el estado de referencia deseado, y este proceso puede evaluarse mediante la evolución de **indicadores** cuantitativos y medibles.

3.3.1 Elección de indicadores apropiados para el suelo y las plantas

Un plan de seguimiento debe incluir un **conjunto** adecuado **de indicadores** que deben medirse cuidadosamente antes de desplegar las NBS.

Los indicadores útiles y operativos deben cumplir los siguientes requisitos (Doran, 2002; AEMA, 2023):

- (a) deben informar sobre los procesos clave de los ecosistemas
- (b) deben integrar las propiedades físicas, químicas y biológicas
- (c) deben ser sensibles a las variaciones climáticas y de gestión
- (d) deben ser fiables, reproducibles y aplicables a una amplia gama de lugares, y

(e) deben ser accesibles y practicables para los especialistas agrícolas, los productores, los conservacionistas y los responsables políticos. El acceso a ellos implica la disponibilidad de métodos analíticos, y el indicador debe poder ser interpretado por el usuario final.

Dada la gran cantidad de servicios que presta el suelo y que los acontecimientos geológicos alteran muchas características del suelo en los ámbitos físico, químico y biológico, son necesarios conjuntos de indicadores en lugar de un único indicador. Los indicadores deben representar el estado de las diferentes funciones del suelo con respecto al valor de referencia y al valor deseado, que corresponde al valor del indicador en el estado de referencia.

Junto con el valor final, debe facilitarse la tendencia de evolución prevista hacia la recuperación, junto con un calendario.

3.3.1.1 Indicadores de suelos y plantas para las NBS aplicadas en el bosque de Capet y en el corte de carretera de Santa Elena

Este informe se centra en las funciones de las plantas y el suelo que proporcionan beneficios colaterales útiles en el ámbito de la mitigación del cambio climático y el hábitat para la actividad biológica: almacenamiento de carbono, ciclo de nutrientes y hábitat para la actividad biológica.

3.3.1.2 Proceso de preselección

Desgraciadamente, hasta ahora todos los esfuerzos por conseguir un conjunto de indicadores de aplicación universal para evaluar la capacidad de las NBS de mejorar los servicios ecosistémicos prestados por el sistema suelo-planta han sido en vano.

Esto se debe a que las relaciones entre el suelo y las plantas dependen del contexto, ya que están muy influidas por la biogeografía, el clima local, la geología, la topografía y el uso del suelo, y también por características menos intrínsecas como el historial de usos del suelo y la estructura del paisaje. Además, un sinnúmero de factores afectan a la capacidad de las plantas y los organismos del suelo en el proceso de colonización de nuevas zonas o zonas restauradas, es decir, para extenderse, establecerse y prosperar.

Además, aunque algunos indicadores pueden utilizarse universalmente (por ejemplo, el porcentaje de cubierta vegetal), su valor de referencia óptimo y la tasa de cambio desde el valor inicial hasta el valor de referencia son, una vez más, específicos de cada caso.

En el proyecto PHUSICOS, los casos de estudio de Santa Elena y el bosque de Capet se encuentran en la misma cordillera, y los ecosistemas afectados comparten algunas características clave, como una topografía muy accidentada, un clima de montaña muy adverso, la inestabilidad del sustrato geológico y la no explotación de los bosques (aparte del pastoreo en las partes más altas del bosque de Capet).

Por lo tanto, como primer paso, elaboramos una lista prospectiva de propiedades del suelo y de las plantas que estudiamos por su sensibilidad a la maduración de los nuevos sistemas suelo-planta creados en el corte de la carretera de Santa Elena y la cubierta vegetal mejorada en el bosque de Capet. La lista se basa en la experiencia del equipo de investigación e incluye las propiedades que se muestran en la Cuadro 3-10.

Estas propiedades fueron medidas en el área de influencia de los dos SNB utilizando un diseño de muestreo estratificado, lo que significa que dividimos las áreas de estudio en unidades homogéneas de vegetación de acuerdo a su estado de madurez, y distribuimos puntos de muestreo al azar dentro de cada una de estas unidades. Con ello, identificamos qué indicadores pueden determinar los distintos estados de madurez del sistema planta-suelo y, por tanto, son útiles para valorar los niveles de maduración de los sistemas de revegetación (Santa Elena) o sistemas mejorados (Bosque de Capet).

Los rasgos morfológicos de las distintas plantas y las formas de vida de estas tras las intervenciones, resultaron ser más indicativos del progreso tras las obras que la composición de especies. Las propiedades biológicas del suelo fueron claramente más sensibles en mostrar el estado de maduración del ecosistema tras la explotación que las propiedades físicas y químicas del suelo, lo que sugiere que el programa de seguimiento debería incluir indicadores basados en la biota del suelo junto con indicadores funcionales de las plantas, y que también deberían medirse algunos indicadores físicos y químicos del suelo para ayudar a interpretar el progreso general del sistema.

SECTOR	ECOSYSTEM SERVICE	INDICATOR	Unit
Soil	Belowground C sequestration	Total organic carbon stock (Total C _{org})	g C . m ⁻²
		Labile organic carbon (C _{org} in the fast pool)	g C . m ⁻²
		Recalcitrant organic carbon (C _{org} in the slow pool)	g C . m ⁻²
		Physically protected organic C	%
	Soil physical resilience	Soil erodibility (aggregate stability)	mm
		Soil bulk density	g cm ⁻³
	Biodiversity provision	Microbial diversity	
		Microbial species richness	number of species
		Microbial species diversity	unitless
		Microbial species evenness	unitless
		Microbial catabolic diversity	unitless
		Invertebrate functional diversity	
		Flagellates	mg C g ⁻¹ dry soil
		Amoebae	mg C g ⁻¹ dry soil
		Ciliates	mg C g ⁻¹ dry soil
		Total protists	mg C g ⁻¹ dry soil
		Bacterial feeder nematodes	mg C g ⁻¹ dry soil
		Fungal feeder nematodes	mg C g ⁻¹ dry soil
		Plant-feeder nematodes	mg C g ⁻¹ dry soil
		Omnivore nematodes	mg C g ⁻¹ dry soil
		Predatory nematodes	mg C g ⁻¹ dry soil
		Total nematodes	mg C g ⁻¹ dry soil
		Predatory Mites	mg C g ⁻¹ dry soil
		Nematophagous Mites	mg C g ⁻¹ dry soil
		Nematophagous prostigmatic mites	mg C g ⁻¹ dry soil
		Collembola	mg C g ⁻¹ dry soil
		Fungivorous cryptostigmatic mites	mg C g ⁻¹ dry soil
		Fungivorous Prostigmata	mg C g ⁻¹ dry soil
		Diplura	mg C g ⁻¹ dry soil
		Symphyla	mg C g ⁻¹ dry soil
		Protura	mg C g ⁻¹ dry soil
		Total microarthropods	mg C g ⁻¹ dry soil
	Biodiversity functions	Carbon mineralization by the soil food web	g C m ⁻² y ⁻¹
		Theoretical soil food web stability	y ⁻¹
Plants	Aboveground C sequestration	Total aboveground carbon stock	t C ha ⁻¹
	Biodiversity provision & treats	Species richness	number of species
		Species diversity	unitless
		Evenness	unitless
		Invasive species	Number of species
	Soil protection	Soil vegetation cover	%

Cuadro 3-10. Lista de propiedades del suelo y de las plantas estudiadas en el proyecto PHUSICOS para su uso potencial como indicadores de la mejora de los servicios del suelo y de las plantas en los casos de estudio de la carretera de Santa Elena y del bosque de Capet.

3.3.2 Indicadores vegetales y edáficos seleccionados para el bosque de Capet y Santa Elena

Basándonos en la selección preliminar mencionada, combinamos las propiedades sensibles de las plantas y el suelo para producir un conjunto de indicadores que puedan utilizarse para supervisar ambos lugares de estudio. El conjunto final de indicadores se muestra en Cuadro 3-11.

	Climate change mitigation	Biodiversity provision
Plant indicators		
I.1 Aboveground carbon stock	X	
I.2 Aboveground carbon sequestration	X	
I.3 Total plant cover	X	X
I.4 Woody plant cover	X	X
I.5 Land cover evolution		X
I.6 Mortality and growth of planted saplings		X
I.7 Invasive species		X
Soil physical and chemical indicators		
I.8 Soil organic carbon content	X	
I.9. Carbon sequestration in soil	X	
Soil biological indicators		
I.10 SBQ Index (soil microarthropods)		X
I.11 Taxonomic and functional diversity (soil microbes)		X

Cuadro 3-11. Indicadores de suelos y plantas seleccionados para monitorear el efecto de las NBS implementadas en los casos de estudio Bosque de Capet y Santa Elena sobre los servicios ecosistémicos de suelos y plantas (mitigación del cambio climático y mantenimiento de biodiversidad).

3.3.3 Indicadores vegetales

Reservas de C en el suelo (I.1) y secuestro de CO₂ por a través de las plantas (I.2).

Casi el 85% de las reservas de carbono (C) superficial terrestre se almacena en los bosques (Rodger, 1993), que desempeñan un papel clave en el ciclo global del carbono al eliminar una cantidad sustancial de dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera. Las existencias de C en la vegetación leñosa viva (arbustos y árboles) son el resultado del equilibrio entre su aumento por crecimiento de las plantas y su disminución por tala o mortalidad (Vayreda *et al.*, 2012). Cuando el crecimiento supera a las pérdidas, el resultado es un secuestro neto de CO₂; por el contrario, si las pérdidas superan al crecimiento, el resultado es una liberación de CO₂ a la atmósfera (emisión de CO₂).

Tanto las reservas de C como el secuestro de CO₂ de los bosques a través de la fotosíntesis son buenos indicadores de los servicios ecosistémicos relacionados con la regulación del clima; su rol como sumidero de carbono por un lado, permite mantener C almacenado en el material vegetal evitando que el CO₂ (un gas de efecto invernadero) se libere a la atmósfera, y por otro lado el secuestro de C por los bosques, que ayuda a eliminar el CO₂ de la atmósfera contribuyendo así a mitigar el calentamiento global y los impactos del cambio climático.

▪ Método de muestreo

Es importante que ambos lugares de estudio (Santa Elena y el bosque de Capet) sean muestreados durante los años 2, 4 y 6 tras el fin de las operaciones para determinar las reservas de C sobre el suelo y la tasa de secuestro de CO₂ y que se repita la operación

cada cinco años a partir de entonces. Los muestreos deberían realizarse a finales de primavera o en verano, cuando no hay nieve y hay más horas de luz solar.

En el bosque de Capet, deben instalarse 32 parcelas de muestreo aleatoriamente en toda la zona, utilizando una cuadrícula regular de 100x100 m (Figura 3-8).

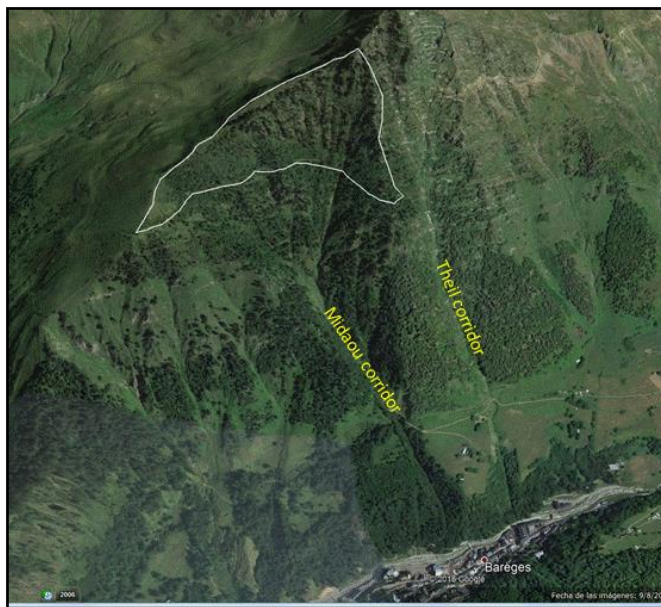


Figura 3-8. Zona de trabajo en el bosque de Capet. La zona de vigilancia está rodeada de blanco.

Las parcelas deben ser circulares con un radio de 10 m. El centro de las parcelas debe localizarse con GPS (precisión < 5 m) para poder encontrarlas cuando se vuelvan a muestrear en el futuro.

En Santa Elena, con un área afectada pequeña (alrededor de 0,05 ha), se deben muestrear 5 de las 10 terrazas creadas en el corte de la carretera (Figura 3-9).



Figura 3-9. Zona de trabajo en el corte de Santa Elena. La zona de control incluye diez terrazas de 2 m de ancho y longitud decreciente (desde 30 m para el nivel más bajo hasta unos 10 m para el nivel superior).

En cada parcela de muestreo (en el bosque de Capet) y en las terrazas (en Santa Elena), deben medirse todos los árboles con un DAP (diámetro del tronco a la altura del pecho) superior a 7,5 cm dentro del radio de la parcela (distancia al centro corregida en función de la pendiente). Para cada árbol, se medirá el DAP (medido con una cinta diamétrica), la altura hasta la copa (con un distanciómetro o equivalente) y se anotará la especie. En una subparcela de 5 metros de radio se anotará el número de árboles por especie distinguiendo dos clases de tamaño para la regeneración: árboles de más de 1 m de altura y DAP < 2,5 cm y árboles con un DAP de entre 2,5 cm y 7,5 cm.

Para cada campaña de seguimiento, la biomasa aérea total por árbol (kg/árbol) y por parcela se calcula a través de la ecuación que relaciona el DAP y la altura del árbol con la biomasa aérea. Esta ecuación es específica para cada especie y puede obtenerse en <https://laboratoriforestal.creaf.cat/allometrapp/>. Todos los valores estimados de biomasa se suman para obtener la biomasa por parcela y se multiplican por 31,83 para obtener el valor equivalente a una hectárea (relación entre una hectárea=10.000 m² y la superficie de la parcela de muestreo, r = 10 m, A = 314,16 m²). Por último, el valor se multiplica por 0,5 (1 kg de MO = 0,5 kg de C) para obtener las existencias de C (tC ha⁻¹).

El secuestro de C en el suelo o el cambio en las reservas de C por parcela (t-ha⁻¹ -año⁻¹) es la diferencia entre las existencias de C de dos inventarios forestales sucesivos dividida por 5 (años).

Por último, se calcula el valor medio de todas las parcelas y se multiplica por la superficie del lugar de estudio para obtener las existencias totales de C (tC) y el cambio total de las existencias de C (tC - año⁻¹).

▪ Evolución deseada de los indicadores a lo largo del tiempo

En ausencia de perturbaciones de gran intensidad (explotación insostenible, avalanchas de nieve, corrimientos de tierras, vendavales, incendios forestales, sequías, pastoreo...), se espera que las reservas de carbono aumenten con el tiempo durante la sucesión ecológica hasta la estabilización final. Los matorrales sustituirán a los pastizales y los árboles a los arbustos a lo largo del proceso de sucesión.

La tasa de cambio es diferente en los dos lugares de estudio:

- en el bosque de Capet, son necesarios unos 30 años para conseguir un pinar. Basándose en los valores medidos obtenidos en los rodales de referencia, se espera que las reservas de carbono sean de unas 15 tC ha⁻¹ en los pinares de 30 años.
- en Santa Elena, son necesarios 5 años para conseguir una cubierta arbustiva densa y 60 años para obtener un pinar espontáneo. Basándonos en los valores de los rodales de referencia, se espera que las reservas de carbono sean de unas 1,4 tC ha⁻¹ en la cubierta de *H. ramnoides* de 5 años y de unas 42 tC ha⁻¹ en los pinares de 100 años.

Cubierta vegetal total y cubierta vegetal leñosa (I.3 y I.4)

La cubierta vegetal y su fracción leñosa desempeñan un papel clave en el control de la erosión mediante la interceptación de las precipitaciones y la mejora de la infiltración del agua, la mejora de la protección del suelo y el secuestro de carbono, y se consideran indicadores de la regulación hídrica y de la prevención de avalanchas de nieve y de la erosión del suelo. Además, se espera que la proporción de la fracción de carbono recalcitrante del suelo aumente a medida que aumente la cubierta vegetal e incluya proporciones crecientes de especies leñosas (Haynes, 2000; Pregitzer y Euskirchen, 2004).

- **Método de muestreo**

En ambos lugares de estudio el muestreo debe realizarse una vez al año y preferiblemente en verano, coincidiendo con el pico fenológico de las plantas. Los muestreos deben repetirse cada año durante los 5 primeros años y cada 5 años a partir de entonces.

Las parcelas pueden ser las mismas que I.1 (reservas de C en el suelo) y I.2 (Secuestro de CO₂ por parte de las plantas) para el bosque de Capet y el corte de carretera de Santa Elena. La cubierta vegetal total (incluyendo hierbas, arbustos y árboles) y la cubierta vegetal leñosa (sólo arbustos y árboles) deben anotarse en cada parcela. El porcentaje de cubierta vegetal total y leñosa se determinará mediante estimación visual (sobre el terreno o a partir de fotografías aéreas, si se dispone de ellas) del porcentaje en proyección vertical de la cubierta vegetal total y leñosa que cubre el área de la parcela.

- **Evolución deseada de los indicadores a lo largo del tiempo**

En ausencia de perturbaciones de alta intensidad, se espera que la cubierta vegetal total y leñosa aumente exponencialmente hasta la estabilización final.

En el bosque de Capet, se tardará unos 5-10 años en alcanzar >50% de la cubierta vegetal total y unos 30 años en alcanzar >50% de la cubierta vegetal leñosa. En Santa Elena, se tardará unos 3-5 años en alcanzar >50% de la cubierta vegetal total y unos 5-10 años en alcanzar >50% de la cubierta vegetal leñosa.

Evolución de la ocupación del suelo (I.5)

Las series de mapas de vegetación o de ocupación del suelo a lo largo del tiempo son un valioso indicador de la dinámica de la vegetación. Muestran los cambios temporales debidos a la sucesión primaria o secundaria, la degradación o regresión, así como la regeneración o restauración de las comunidades vegetales (*Ichter et al.*, 2014).

- **Método de control**

Los mapas de vegetación y cobertura del suelo resultan muy útiles para el seguimiento de estos objetivos de restauración. Es deseable crear cada 5 años un mapa de vegetación (con tipos de hábitat EUNIS; <https://eunis.eea.europa.eu>) o un mapa de cobertura del suelo (con unidades CORINE; <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>) tanto de las áreas de estudio como de las zonas adyacentes. Etso puede realizarse mediante fotointerpretación de imágenes aéreas y completarse con los datos de campo obtenidos en los muestreos.

El mapa debe incluir toda el área de estudio y las zonas adyacentes que pueden influir - o pueden ser influidas- por la reforestación (en el Bosque de Capet) o la estabilización y reforestación (en Santa Elena). El mapa será útil para calcular los cambios en la vegetación o en la cobertura del suelo a lo largo del tiempo, para detectar la evolución de las plantaciones y los posibles impactos (desprendimientos, avalanchas, etc.).

- **Evolución deseada de los indicadores a lo largo del tiempo**

En ausencia de perturbaciones de alta intensidad, se espera que el matorral de espino amarillo (*Hippophae rhamnoides*) y luego el bosque de pinos cubran el corte de carretera restaurado en Santa Elena. En condiciones similares de baja perturbación, en la zona del bosque de Capet las comunidades vegetales deberían evolucionar con el tiempo desde praderas reforestadas a gran altitud hasta matorrales y bosques de pino. Además, si se minimizan las avalanchas mediante plantaciones de árboles, los corredores de avalanchas "cicatrizarán" y se transformarán gradualmente de arbustos o árboles jóvenes a bosques maduros.

La tasa de cambio deseada de las comunidades es la misma que para los indicadores I.3 (Cobertura vegetal total) y I.4 (Cobertura vegetal leñosa).

Mortalidad y crecimiento de los brinzales plantados (I.6)

- **Método de muestreo**

Ambos lugares de estudio (Santa Elena y el bosque de Capet) deben ser objeto de muestreo para estos dos indicadores en los años 2, 4 y 6 tras el fin de las operaciones y cada cinco años a partir de entonces. El muestreo debería realizarse a finales de primavera o en verano, cuando no hay nieve y hay más horas de luz solar.

En el bosque de Capet, todos los brinzales se inventariaron justo después de la plantación. Para su seguimiento, se elegirá al azar una de cada 4 plantaciones bajo trípode (colector grande o pequeño). En cada colector (unidades de plantación bajo trípodes) se registrará el número de brinzales muertos por especie y, para cada brinzal vivo, se medirá el diámetro del tallo (medido con un calibre Vernier a 5 cm por encima de la base del tallo) y la altura (con una cinta métrica).

En Santa Elena, todos los brinzales plantados se inventariarán al final de las operaciones, inmediatamente después de la plantación. Para cada brinzal, el inventario incluirá el nombre de la especie, el diámetro (medido con un calibre Vernier a 5 cm por encima de la base del tallo) y la altura (con una cinta métrica). Para el seguimiento, se volverán a visitar todos los brinzales para medir su diámetro y altura, anotando los ejemplares muertos.

En ambos sitios, y para cada campaña de muestreo, se calculará el valor medio del diámetro en la base y el valor medio de la altura de todas las plántulas vivas (por especie) (en el bosque de Capet, este cálculo se hará por separado para cada recolector). El aumento medio del diámetro y de la altura por recolector y por especie se obtendrá comparando dos campañas de muestreo sucesivas divididas por el tiempo transcurrido entre ellas (en años).

La tasa de mortalidad (en %) por especie (y por recolector en el bosque de Capet) se calculará como la relación entre el número de brinzales muertos y el número de brinzales vivos de la campaña de muestreo anterior. En el bosque de Capet, la tasa de mortalidad media por especie se obtendrá promediando los valores de todos los recolectores.

- **Evolución deseada de los indicadores a lo largo del tiempo**

Se espera que los pimpollos plantados fomenten la integración de las zonas trabajadas con las comunidades vegetales que cubren los montes de referencia adyacentes.

La mortalidad de los brinzales plantados debe reducirse al mínimo. Hasta la fecha, no se dispone de datos sobre la mortalidad de los brinzales ni sobre las curvas de crecimiento de las especies plantadas en la región, lo que impide establecer valores deseables a lo largo del tiempo para ninguno de los dos indicadores. Por lo tanto, los datos producidos a partir de este proceso de seguimiento serán muy valiosos para evaluar futuros planes de restauración de plantaciones en la región.

Especies invasoras (I.7)

La riqueza de especies vegetales no autóctonas (exóticas) está negativamente relacionada con los gradientes altitudinales en todo el mundo, y las especies invasoras (especies que compiten fuertemente con las especies autóctonas y pueden alterar las propiedades de los ecosistemas) son poco frecuentes en los cinturones montañosos y subalpinos de las cordilleras europeas. A su vez, los impactos antropogénicos y las perturbaciones (carreteras, zonas urbanizadas, estaciones de esquí, movimientos de tierras, etc.) influyen positivamente en la invasión de plantas alóctonas a lo largo de los gradientes de altitud y en los ecosistemas de montaña (Alexander *et al.*, 2016; Clements *et al.*, 2022). Las actividades de restauración, como la reforestación y la estabilización del terreno, pueden crear perturbaciones a corto plazo que pueden ser aprovechadas por las especies alóctonas para colonizar y propagarse en los hábitats restaurados y sus alrededores.

Una vez establecidas, incluso a pequeña escala, las especies invasoras son muy difíciles de erradicar y pueden tener importantes repercusiones negativas en los ecosistemas naturales y en el bienestar socioeconómico y humano.

- **Método de muestreo**

En ambos lugares de estudio, el muestreo debe realizarse una vez al año en verano, en el momento de máxima floración, y repetirse cada año durante los cinco primeros años (cuando la probabilidad de aparición de las especies exóticas es mayor).

En el bosque de Capet, el seguimiento de las plantas invasoras requeriría la inspección visual de todos los recolectores para poder determinar la presencia de especies invasoras.

En Santa Elena, todas las terrazas deberían ser inspeccionadas visualmente (a pie, con prismáticos o con vuelo de dron) para determinar la presencia de especies invasoras.

En ambos casos, el indicador de invasión vegetal se expresará como el número total de especies vegetales invasoras en cada campaña de seguimiento.

▪ Evolución deseada de los indicadores a lo largo del tiempo

A corto plazo, la probabilidad de que se establezcan especies invasoras depende principalmente de la proximidad de propágulos y de la intensidad de las perturbaciones del hábitat colonizable. En cualquier caso, la probabilidad de presencia de especies invasoras es baja en los primeros años, y nula a medio y largo plazo.

Señales de alerta y recomendaciones en caso de alerta

En el bosque de Capet, el seguimiento anual de los brinzales realizado en los últimos años (2017-2020) mostró que la mortalidad ha sido baja (<4 %) y que ha disminuido año tras año. Por lo tanto, es probable que no sea necesaria ninguna plantación de refuerzo en el futuro. Sin embargo, para garantizar una mayor diversidad arbórea y una cobertura vegetal adecuada, deberían analizarse las posibles diferencias de mortalidad por especies. A menos que una avalancha de nieve destruya parcialmente un colector, lo más probable es que no sean necesarias plantaciones de refuerzo.

En Santa Elena, en el momento de la redacción del plan de seguimiento no se disponía de datos sobre el crecimiento y la mortalidad de las plantas, dado que el área de intervención pegado todavía no se ha reforestado. Si la supervivencia de las plantas es muy baja, deberá planificarse una nueva plantación de refuerzo. El seguimiento anual de las tasas de supervivencia, del porcentaje de cobertura total y leñosa y del crecimiento de los brinzales restantes por especie, permitirá extraer conclusiones sobre qué especies son las más adecuadas para la restauración, en caso de que haya que realizar plantaciones de refuerzo en el futuro. En futuros seguimientos, dentro de 5-6 años y anualmente durante finales de primavera o principios de verano, es aconsejable sustituir el muestreo de campo por un vuelo de dron para evaluar los cambios en la cubierta vegetal leñosa.

En ambos lugares de estudio, la aparición de más de dos especies exóticas o la presencia de una (o más) especie de rápida propagación que pueda competir con los brinzales exigirá la rápida retirada de todos los ejemplares de especies exóticas o invasoras junto con programas de erradicación.

3.3.4 Indicadores de suelo

El seguimiento del suelo debe programarse para que coincida con el seguimiento de las plantas, durante el 2º, 4º y 6º año tras el fin de las operaciones, y después cada cinco años, tanto en Santa Elena como en el bosque de Capet. Las campañas de muestreo deberían realizarse preferiblemente en primavera, cuando la actividad del suelo y de las plantas es elevada.

Para todos los indicadores, las muestras de suelo se tomarán en las mismas parcelas diseñadas para el seguimiento de las plantas. En el bosque de Capet, se delimitará una subparcela cuadrada de 1 m² en el centro de cada una de las 32 parcelas de muestreo seleccionadas para el seguimiento de las plantas (véase 3.3.1 (a)), y todas las muestras de suelo se tomarán dentro de esta área. En Santa Elena, se tomarán muestras de suelo en las mismas 5 terrazas seleccionadas para el monitoreo de plantas. En cada una de estas terrazas, se delimitarán tres subparcelas cuadradas de 1 m² a 10 m de distancia unas

de otras, comenzando en el centro de cada terraza (15 subparcelas en total). El material necesario para la extracción de muestras será específico para cada indicador.

Caracterización general del suelo, especialmente aplicable en los emplazamientos del bosque de Capet y Santa Elena.

En el bosque de Capet se realizó un análisis detallado de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo como parte de la descripción de la línea de base del lugar antes de la implantación de las NBS.

Se hizo una descripción similar de los suelos de la zona de Santa Elena y de las zonas forestales inalteradas circundantes (los datos proceden de la misma fuente) antes del inicio de las operaciones. Sin embargo, a diferencia de lo ocurrido en el bosque de Capet, donde los suelos naturales no se vieron alterados por las obras, en la estabilización del corte de la carretera de Santa Elena se destruyó el suelo natural, y las cajas de plantación recién creadas se rellenaron con materiales y áridos clasificados coronados con una capa de tierra vegetal de características y origen indeterminados. En el mejor de los casos, esta mezcla podría evolucionar hacia un sustrato razonable que permita el crecimiento de las plantas y, mucho más adelante, hacia un "tecnosuelo" cuyas características podrían ser compatibles con las de los suelos circundantes al cabo de muchos años.

En cualquier caso, esta mezcla de materiales deberá caracterizarse lo antes posible tras el final de las operaciones para ayudar a interpretar la evolución de la vegetación plantada y controlar la posible formación de suelo en las cajas de plantación que ahora cubren el corte de carretera. Para esta caracterización, se tomarán muestras de suelo en las mismas 5 terrazas seleccionadas para el seguimiento de la vegetación. Se marcarán dos puntos de muestreo en cada una de las cinco terrazas, separados entre sí 10 m en el centro de la terraza. En cada punto de muestreo, los materiales del suelo se deberán muestrear a dos profundidades (0-15 cm 20-35 cm) con una barrena de suelo (Figura 3-10). Las muestras se enviarán en bolsas de plástico selladas y debidamente etiquetadas a laboratorios expertos en suelos para analizar la textura, la capacidad de retención de agua, el carbono total y orgánico, el nitrógeno total, el fósforo disponible, los principales cationes, el pH, la capacidad de intercambio catiónico y la conductividad eléctrica.

Contenido de carbono orgánico del suelo (I.8) y retención de carbono en el suelo (I.9)

La pérdida de carbono orgánico del suelo es uno de los principales motores de la degradación medioambiental en Europa, y la inversión de esta tendencia es una de las prioridades de la Comisión Europea, tanto en los entornos agrícolas como en los bosques. La materia orgánica del suelo desempeña un papel fundamental en el mantenimiento de las funciones clave del suelo y es un determinante esencial de la fertilidad del suelo y de la resistencia frente a la erosión (EC, 2002).

El contenido de carbono en el suelo (una cantidad) y el secuestro de carbono en el suelo (un proceso) son cosas diferentes. El contenido de carbono en el suelo puede medirse directamente a partir de muestras de suelo. Al igual que en el caso del carbono aéreo, el

secuestro de carbono en el suelo se calcula mediante la diferencia en el contenido de carbono del suelo entre dos fechas de muestreo consecutivas.

La tasa de secuestro de carbono es más difícil de controlar en el suelo que en la superficie porque los cambios en el contenido de carbono del suelo son lentos y porque el carbono puede migrar verticalmente a través del perfil del suelo y escapar a los muestreos, sobre todo cuando sólo se trabaja con las capas más superficiales.

▪ Método de muestreo y análisis

Todas las muestras deben tomarse inalteradas con sacatestigos de dimensiones conocidas, preferiblemente de 5 cm de diámetro y siempre a 15 cm de profundidad (Figura 3-10).



Figura 3-10. Muestreo del suelo con dos tipos diferentes de sacatestigos de sección cuadrada (5 x 5 cm de lado) o circular (5 cm de diámetro) de 15 cm de longitud. Ambos tipos de sacatestigos pueden abrirse longitudinalmente para obtener muestras de suelo inalterado de volumen constante conocido.

▪ Evolución deseada de los indicadores a lo largo del tiempo

Se espera que el contenido de carbono del suelo aumente a medida que el suelo restaurado madure en equilibrio con la vegetación introducida, lo que significa que el CO₂ está siendo secuestrado bajo tierra.

- En el bosque de Capet, 100 años después de la aplicación de las NBS, se espera que el contenido de carbono orgánico del suelo sea de aproximadamente del 20%.
- En Santa Elena, 5 años después de la estabilización, el contenido de carbono orgánico del suelo debería ser de aproximadamente 5,5% bajo una cubierta vegetal arbustiva. 60 años después, bajo un pinar, el contenido de C del suelo debería rondar el 10%.

La tasa de retención de carbono en los suelos (como se explica para las plantas) puede obtenerse dividiendo la diferencia medida entre dos fechas de muestreo por el número de años transcurridos desde la última fecha de muestreo.

Índice de calidad biológica del suelo (SBQ) (para microartrópodos del suelo) (I.10)

La abundancia y biodiversidad de organismos subterráneos es abrumadora. Considerando sólo los invertebrados del suelo, 1 m² de suelo puede albergar entre 12.000 y 311.000 enchytraeidos, de 1 a 5 x 10⁴ collembolos y de 1 a 10 x 10⁴ ácaros oribátidos (Bardgett y Van Der Putten, 2014) entre otros grupos menos abundantes. La fauna del suelo juega un papel clave en el mantenimiento de la salud y multifuncionalidad del suelo, así como en la provisión de servicios ecosistémicos a través de procesos como la trituración, translocación y descomposición de la materia orgánica, la formación de la estructura del suelo, la regulación hídrica y el ciclo de nutrientes (Menta et al., 2020). Evaluar toda la diversidad del suelo a nivel de especies es casi imposible en la práctica, ya que preferimos trabajar a nivel de grupos funcionales o rasgos funcionales (Figura 3-11). Algunos de estos grupos están muy bien adaptados a condiciones específicas del subsuelo y son, por tanto, muy sensibles a los cambios en la calidad del suelo (Delgado-Baquerizo et al., 2020).

▪ **Método de muestreo y análisis**

Los microartrópodos del suelo deben extraerse de muestras de suelo inalteradas (ver Figura 3-10 para los sacatestigos adecuados) de 5 cm de diámetro y 15 cm de longitud utilizando baterías de embudos Berlese (Figura 3-12). Cada muestra de suelo se coloca en un tamiz (tamaño de malla igual a 2 mm) en la parte superior de un embudo y se coloca una bombilla incandescente (40-60 vatios) a unos 30 cm por encima de la muestra. A medida que la muestra se seca, se estimula a la fauna del suelo a desplazarse hacia abajo, lo que finalmente hace que toda la fauna del suelo caiga a través del tamiz en un recipiente con una solución conservante que suele consistir en un 75% de alcohol mezclado con agua o glicerol. El proceso de extracción puede durar unos 7 días. Los embudos activos deben protegerse de las corrientes de aire en locales cerrados.

Se puede calcular un índice diferente a partir de la observación, clasificación y recuento de los especímenes extraídos a diversos niveles de resolución (desde el número total de

especímenes hasta el número de especímenes de una especie concreta) bajo un estereomicroscopio.

Para monitorizar el efecto de las NBS aplicadas sobre la biodiversidad de microartrópodos del suelo en Santa Elena y el Bosque de Capet, proponemos el cálculo del índice SBQ.



Figura 3-11. Algunos ejemplos de los diversos morfotipos de ácaros del suelo (en el círculo; D.E. Walter. <https://beta.abmi.ca/biobrowser/species-group/mites-intro.html>) y colémbolos (en los rectángulos; Andy Murray, <https://www.chaosofdelight.org>).



Figura 3-12. Embudos de Berlese utilizados para extraer microartrópodos de muestras de suelo inalterado. Fuente http://soilbugs.massey.ac.nz/collection_berlese.php

Todos los especímenes extraídos se observan con un estereomicroscopio y se identifican a nivel de orden, excepto Collembola, Diplura, Protura y Myriapoda -a nivel de clase-, y Acari -a nivel de subclase-. A continuación se asigna un valor de IME (índice ecomorfológico) a cada grupo. El índice óseo cualitativo (QBI) se calcula sumando todos los valores EMI. Todos los detalles sobre el cálculo del QBI se pueden encontrar en Parisi *et al.*, (2005) y Menta *et al.* (2018) .

El índice SBQ supone que cuanto mayor sea la calidad del suelo, mayor será el número de grupos de microartrópodos bien adaptados a los hábitats del suelo. Así pues, la adaptación puede evaluarse a partir de la presencia de diversas características morfológicas, como la reducción o pérdida de pigmentación y órganos visuales, la reducción de apéndices (por ejemplo, antenas o patas), el adelgazamiento de la cutícula, la ausencia de órganos adaptados al salto, etc.

▪ **Evolución deseada de los indicadores a lo largo del tiempo**

A medida que el sistema restaurado madure y aumente la calidad del suelo, se espera que el valor SBQ aumente.

Se extrajeron microartrópodos del suelo a partir de muestras tomadas de sistemas de referencia del suelo en la zona de Santa Elena y en el bosque de Capet durante la evaluación de la línea de base de la calidad del suelo antes de la aplicación de las NBS. Los resultados pueden proporcionar valores de referencia y tasas de cambio para los dos casos de estudio.

Diversidad taxonómica y funcional del microbioma del suelo (I.11)

Las comunidades microbianas del suelo desempeñan un papel fundamental en los ecosistemas terrestres al reintegrar los nutrientes esenciales en los ciclos biogeoquímicos, regular la calidad de la atmósfera y la hidrosfera, reforzar la resistencia de las plantas e influir en la composición de las comunidades vegetales alterando la relación competitiva entre especies (Nannipieri *et al.*, 2003). La diversidad de funciones desempeñadas por los microorganismos en los ecosistemas ha sido reconocida como el eslabón perdido entre los patrones de biodiversidad y las funciones de los ecosistemas. Cada vez se reconoce más que los patrones de diversidad funcional pueden proporcionar una prueba más poderosa que la riqueza taxonómica.

Entre la gran variedad de enfoques analíticos de la diversidad microbiana del suelo, el análisis metagenómico es una poderosa herramienta para estudiar las capacidades funcionales microbianas del suelo (Orgiazzi *et al.*, 2015). Entre las técnicas metagenómicas disponibles, la "Secuenciación del Metagenoma Shotgun" revela perfiles taxonómicos (diversidad y abundancia), así como atributos funcionales de las comunidades microbianas del suelo. El análisis de genes funcionales se incluye en la lista de potentes indicadores para el seguimiento de la biodiversidad del suelo y la función de los ecosistemas en toda Europa.

▪ **Método de muestreo y análisis**

Los análisis metagenómicos son realizados por empresas expertas con las que se debe contactar con suficiente antelación a las campañas de muestreo para acordar el envío de

las muestras de suelo de forma segura. Debe exigirse a la empresa que proporcione el procesamiento bioinformático de los datos brutos.

Las muestras de suelo (de unos 40 gr cada una) se extraen de los 15 cm superiores del suelo con kits de muestreo individuales estériles (idealmente los utilizados en medicina para los análisis de heces, Figura 3-13) para evitar la contaminación cruzada entre muestras, y se mantienen refrigeradas hasta su envío inmediato al laboratorio. Si el envío no es inmediato, las muestras deben conservarse a menos de -20°C.



Figura 3-13. Kit de muestreo (cuchara y recipiente estériles) de muestras de suelo para análisis de ADN microbiano.

Se recomiendan los análisis Shotgun para que los datos de seguimiento sean comparables a los producidos durante la evaluación de referencia en ambos estudios de caso.

- **Evolución deseada de los indicadores a lo largo del tiempo**

A pesar de su gran valor diagnóstico, este indicador no es fácil de interpretar en ausencia de expertos. Se espera que la composición funcional de la microbiota del suelo converja con la descrita para los sistemas de referencia durante la evaluación de referencia en ambos lugares de estudio (Figura 3-14).

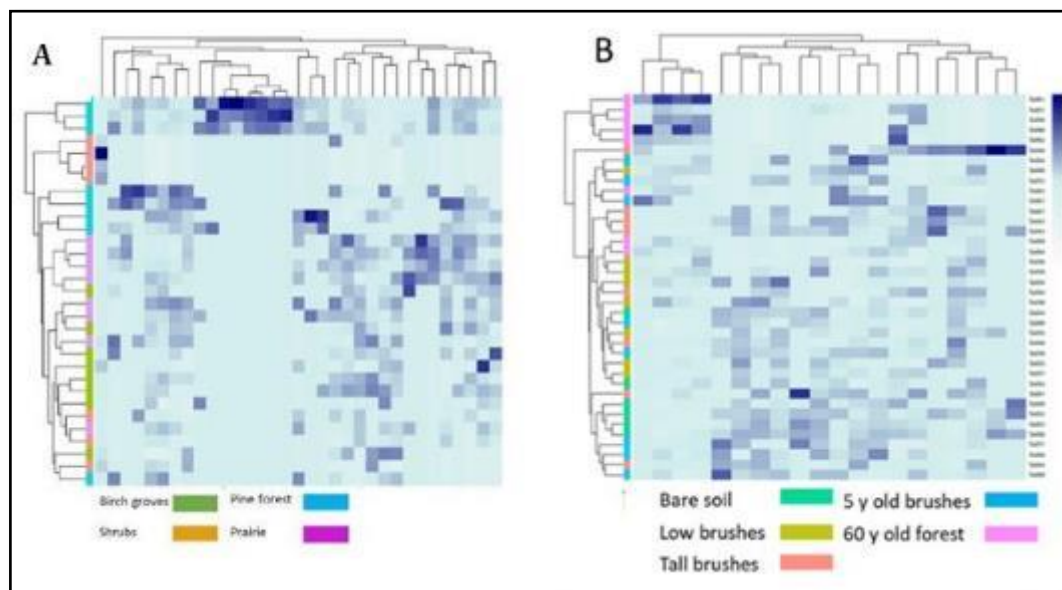


Figura 3-14. Caracterización de la comunidad microbiana del suelo bajo diferentes comunidades vegetales en los sitios del Bosque de Capet (A) y Santa Elena (B) durante la evaluación de la línea de base preoperacional.

3.3.5 Recomendaciones relativas a la vigilancia del suelo en los emplazamientos del bosque de Capet y Santa Elena

La supervisión es una parte crucial de los proyectos de NBS en un marco de gestión adaptativa, ya que alerta sobre posibles desviaciones del entorno afectado respecto a la evolución deseada. La supervisión también permite aprender del ensayo y error, que es la única forma de mejorar gradualmente la práctica.

La supervisión también es necesaria para avanzar hacia las normas y certificaciones NBS, cuya ausencia es uno de los principales obstáculos para la adopción generalizada de las NBS.

Los programas de seguimiento requieren la medición de indicadores específicos antes de poner en marcha cualquier NBS, y de forma periódica mucho después de que se haya puesto en marcha. Esto significa que el plan de seguimiento debe incorporarse al ciclo del proyecto de NBS desde el principio (incluida la fase de planificación) y que debe debatirse con todos los agentes sociales invitados a las actividades de comunicación realizadas en los Living Labs.

El seguimiento tiene costes asociados, especialmente cuando se incluyen indicadores medioambientales. Por lo tanto, los costes de seguimiento deben incluirse en el presupuesto del proyecto y debe aclararse y garantizarse la responsabilidad del seguimiento a largo plazo.

4 Recomendaciones para la aplicación de las NBS

Las dos tablas siguientes detallan las recomendaciones para los técnicos (Cuadro 4-1) y políticos (Cuadro 4-2), siguiendo la metodología expuesta en el subcapítulo 3.1.3. El objetivo de estas recomendaciones es que sean tenidas en cuenta a la hora de considerar las NBS para reducir los riesgos naturales presentes en las zonas de montaña y facilitar el proceso de toma de decisiones.

4.1 Dirigido a los técnicos que trabajan en la gestión de riesgos

Pasos	Recomendaciones
Adquisición de datos básicos	▪ Siempre que sea posible, utilice herramientas como el LIDAR para adquirir datos e información exhaustiva, además de imágenes. ▪ Es aconsejable disponer de series de datos completas, actualizadas y precisas. ▪ Conviene implantar herramientas eficaces de recogida, almacenamiento y puesta en común de información para optimizar las inversiones en recogida de datos (datos que puedan utilizarse en todas las políticas públicas: gestión de riesgos, ordenación del territorio, protección del medio ambiente, urbanismo, turismo...) y lograr una modelización de calidad. ▪ Es recomendable implantar herramientas de alerta que permitan comunicar rápidamente información geolocalizada desde el terreno.
Modelización de riesgos	▪ Es aconsejable aplicar modelos que utilicen herramientas innovadoras como Lidar y programas informáticos innovadores de modelización. ▪ Procure elaborar materiales y resúmenes claros, explícitos y comprensibles para los cargos electos y las autoridades, distinguiendo: ○ Todos los parámetros teóricamente necesarios para realizar una modelización precisa y de calidad. ○ Parámetros accesibles (explicando el impacto en la calidad de los resultados de los datos omitidos/corregidos/agregados). ▪ Explicar claramente las limitaciones de los modelos y el impacto en las responsabilidades de los cargos electos y las autoridades de gestión.
Modelización del riesgo	▪ Realizar análisis cuantitativos de riesgos. ▪ Explicar a los cargos electos la noción de riesgo con todos sus elementos. Conviene prestar atención a los conceptos clave, y en particular a la noción de vulnerabilidad (vulnerabilidad física de los elementos expuestos e integración de la vulnerabilidad sistémica de las redes viarias). ▪ Dialogar sobre los conceptos de riesgo residual, riesgo aceptable, riesgo individual y riesgo social con los cargos electos. ▪ Dejar clara la interdependencia entre el nivel de protección/costes/libertad y las limitaciones del territorio. ▪ Recordar que las NBS básicamente sólo intervienen sobre el elemento de peligro (reducción del peligro), pero no sobre la vulnerabilidad de los elementos expuestos, ni sobre la exposición a los mismos.

Pasos	Recomendaciones
Determinación de las zonas geográficas en las que se aplicarán las NBS y primeras evaluaciones	- Proporcionar pruebas cuantificadas del nivel de riesgo para identificar las áreas prioritarias para la reducción del riesgo. - Identificar los sectores en los que las NBS aportarán resultados significativos (especialmente en lo que respecta a la intensidad de los peligros y a la posibilidad de reducir eficazmente estos peligros - frecuencia y/o intensidad). - Identificar los tipos de soluciones que, en principio, se adaptan al tipo de peligro que hay que tratar. Recuerde que las NBS no se oponen a las soluciones grises. Según los casos, pueden utilizarse solas o como complemento de las soluciones grises. Ambas (NBS y soluciones grises) necesitan ingeniería en grados variables.
Diseño y dimensionamiento de las NBS	- Movilizar competencias de alto nivel para diseñar y dimensionar estructuras de alto rendimiento. - Integrar las limitaciones en recursos y las competencias locales en el diseño de las estructuras. Es esencial situar los materiales que se puedan obtener localmente (para reducir la huella de carbono por un lado y, por otro, para favorecer el desarrollo económico local) como un parámetro de partida en el diseño y dimensionamiento de las obras, y no como un parámetro dependiente del diseño y o dimensionamiento de las obras. En otras palabras, es preferible emplear materiales locales de menor calidad y adaptar a estos el diseño de las NBS (y su mantenimiento asociado), que imponer materiales de mayor calidad pero importados de lugares lejanos.
Validación de las NBS	- Realizar una validación preliminar de las NBS a 4 niveles: - Validación teórica (cálculo) por un organismo competente (universidad, oficina de control autorizada...). - Validación de las coluciones a través de un modelo reducido o de un modelo real en laboratorio (ej. modelización realizada en la Universidad de Madrid en el marco del proyecto PHUSICOS). - Validación a escala real en un centro de pruebas. - Validación a escala real en un emplazamiento experimental "natural". Movilizar lugares de ensayo como el creado en EIFORSA en el marco del proyecto PHUSICOS (plataforma de ensayo de estructuras de protección contra desprendimientos de rocas, para el dimensionamiento de estructuras de soporte...). Movilizar lugares de experimentación a escala real como el creado en la comuna de Laruns (Gourzy) en el marco del proyecto PHUSICOS para los desprendimientos de rocas (papel del bosque y de las estructuras de protección).
Aplicación operativa de las NBS sobre el terreno	- Realizar las obras de acuerdo con las especificaciones que figuran en el diseño detallado. - Movilizar al máximo las competencias locales. - Identificar todas las limitaciones y dificultades, imposibilidades o adaptaciones para recibir comentarios más adelante. - Aplicar todas las soluciones respetando las normas de seguridad. - Estructurar la ejecución operativa con el plan de comunicación del proyecto.

Pasos	Recomendaciones
	Comprobar la coherencia de la aplicación de las soluciones con los ciclos vegetativos.
Comentarios sobre la aplicación de las NBS	Obtener información exhaustiva sobre la aplicación de las NBS, tanto sobre los aspectos técnicos y financieros como sobre los administrativos y de planificación, en un seminario de clausura con todas las partes interesadas. Identificar las desviaciones y cambios respecto a los objetivos iniciales y medir (cuantificar) las repercusiones. Poner a disposición todos los datos adquiridos y estructurar los datos geográficos en el SIG de las comunidades interesadas. - Digitalizar todos los datos relevantes para compartirlos y contribuir así a la capitalización del conocimiento sobre los territorios. - Actualizar todos los indicadores utilizados en el diagnóstico inicial y realizar una evaluación cuantitativa de cada componente (riesgos, medio ambiente, sociedad y desarrollo económico local). - Completar las bases de datos sobre NBS para enriquecer y compartir la experiencia adquirida (ej. la base de datos desarrollada en el marco del proyecto PHUSICOS).
Definición y aplicación de un marco de gestión y seguimiento de las NBS	- Definir el conjunto de indicadores básicos que serán objeto de seguimiento, relacionados con: - Reducción del riesgo (reducción del peligro, reducción de la exposición, reducción de la vulnerabilidad). - Viabilidad técnica (análisis coste-beneficio de la intervención, uso de técnicas y materiales adaptados). - Impacto en el medio ambiente y en los ecosistemas (agua, suelo, vegetación, paisaje, biodiversidad). - Impacto en la sociedad (calidad de vida, participación de la comunidad y gobernanza, paisajes y lugares). - Impacto en la economía local (revitalización de zonas marginales, fortalecimiento de la economía local). - Supervisar estos indicadores básicos una vez que se apliquen las NBS junto con las instituciones y agentes competentes, de forma periódica y/o después de cada acontecimiento extraordinario. - Garantizar un mantenimiento adecuado de las NBS de forma periódica.
Definición de un marco de comunicación	- Producir materiales de comunicación claros e innovadores movilizando todos los medios (documentos, vídeo, aplicaciones digitales, juegos de rol, visitas sobre el terreno, talleres de experimentación...). - Organizar seminarios/debates/charlas implicando a las autoridades locales para presentar, explicar y promover las NBS.

Cuadro 4-1. Lista de recomendaciones dirigidas a los técnicos a la hora de definir y aplicar las NBS para la reducción de los riesgos naturales. En negrita, aparecen las recomendaciones comunes a los técnicos y políticos.

4.2 Dirigido a los políticos, responsables de la gestión de riesgos

Pasos	Recomendaciones
Adquisición de datos básicos	- Mobilizar fondos importantes (el conocimiento de los territorios es una necesidad para aplicar políticas integradas, equilibradas y sostenibles). - Capitalizar los conocimientos y datos sobre la caracterización de los peligros en el territorio. Es importante contar con datos completos, actualizados y precisos. Implantar herramientas eficaces de recogida, almacenamiento y puesta en común de la información para optimizar las inversiones en recogida de datos (datos que puedan utilizarse para todas las políticas públicas: gestión de riesgos, ordenación del territorio, protección del medio ambiente, urbanismo, turismo...) y lograr una modelización de calidad. Es conveniente implantar herramientas de alerta que permitan comunicar rápidamente información geolocalizada desde el terreno. - Promover el desarrollo de Sistemas de Información Geográfica web para optimizar las inversiones en recopilación de datos y disponer de información actualizada, así como contar con las competencias necesarias para utilizar estas herramientas en las administraciones locales. - Implicar a la población en la comunicación de información (crowd-sourcing), mejorando así la cultura del riesgo.
Modelización del riesgo	- Comprender la diferencia entre peligros y riesgos. - Comprender la diferencia entre los elementos de riesgo para definir las medidas adecuadas: - Reducir el peligro: aplicar medidas para reducir la frecuencia y/o intensidad de los fenómenos (en particular, con la ayuda de las NBS). - Reducir la vulnerabilidad de los elementos expuestos: reforzar los elementos, establecer redes de malla de comunicación. - Gestionar la exposición de los elementos: mediante la ordenación del territorio, la regulación de los flujos de vehículos, la gestión de las zonas de aparcamiento... etc. - Comprender los conceptos de riesgo residual, riesgo aceptable, riesgo individual y riesgo social. Recordar que las NBS básicamente sólo intervienen sobre el elemento de peligro (reducción del peligro), no sobre la vulnerabilidad de los elementos expuestos ni sobre la exposición.
Determinación de las zonas geográficas en las que se aplicarán las NBS y primeras evaluaciones	- Definir los sectores prioritarios y seleccionar, con la ayuda de técnicos, las soluciones de reducción de riesgos más adecuadas en relación con: - La eficacia esperada de las soluciones (capacidad de reducir riesgos). - Los costes se acordarán en función de los presupuestos disponibles y los riesgos residuales previstos. - Mantenimiento de los sistemas implantados (nivel de mantenimiento necesario, quién debe encargarse de este mantenimiento - ¿pueden encargarse de este mantenimiento los servicios técnicos de las comunidades?)

Pasos	Recomendaciones
	○ Las responsabilidades de alcaldes y gestores (recuérdese que no existe un marco regulador y normativo para la mayoría de las NBS). ▪ Recuerde que las NBS no se oponen a las soluciones grises. Según los casos, pueden utilizarse solas o como complemento de las soluciones grises. Ambas (NBS y soluciones grises) necesitan ingeniería en grados variables.
Diseño y dimensionamiento de NBS	▪ Discutir con los diseñadores de NBS los posibles recursos que se pueden movilizar a nivel local: tipo de material, capacidad de las empresas locales para suministrar estos materiales (cantidad, plazos, precio). ▪ Identificar -antes de las fases de diseño y dimensionamiento- las posibles competencias locales para aplicar las soluciones y garantizar su mantenimiento. ▪ Debatar con los diseñadores de las soluciones a lo largo de la fase de diseño y dimensionamiento para "validar previamente" la aplicación operativa de las soluciones que se haya definido: materiales, competencias locales, limitaciones administrativas locales, contratación y código de contratación pública.
Validación de las NBS	▪ Favorecer la creación y la perpetuación de lugares de experimentación (por ejemplo, Gourzy en la comuna de Laruns). ▪ Movilizar lugares de ensayo como el creado en EIFORSA en el marco del proyecto PHUSICOS (plataforma de ensayo de estructuras de protección contra desprendimientos de rocas, para el dimensionamiento de estructuras de soporte...). ▪ Movilizar lugares de experimentación a escala real como el creado en la comuna de Laruns (Gourzy) en el marco del proyecto PHUSICOS para los desprendimientos de rocas (papel del bosque y de las estructuras de protección).
Aplicación operativa de las NBS sobre el terreno	▪ Movilizar a todas las partes interesadas (autoridades locales, Estado, parques naturales, gestores de redes, ...) para agilizar las trabas administrativas y evitar retrasos en la aplicación de soluciones <i>in situ</i>. ▪ Crear grupos de trabajo previos para identificar estas limitaciones, encontrar soluciones operativas y limitar los conflictos y bloqueos. ▪ Definir pliegos de condiciones y expedientes de consulta "razonables" para las empresas. ▪ Animar a las empresas locales a unirse a consorcios para la implantación operativa de las NBS y su posterior mantenimiento.
Comentarios sobre la aplicación de las NBS	▪ Obtener información exhaustiva sobre la aplicación de las NBS, tanto sobre los aspectos técnicos y financieros como sobre los administrativos y de planificación, en un seminario de clausura con todas las partes interesadas. ▪ Identificar las posibles desviaciones y cambios respecto a los objetivos iniciales y medir (cuantificar) los impactos. ▪ Poner a disposición todos los datos adquiridos y estructurar los datos geográficos dentro del SIG del municipio o región.
Definición y aplicación de un marco de gestión y seguimiento de las NBS	▪ Establecer un marco de gestión y seguimiento de las NBS, para determinar: ○ La frecuencia y las modalidades de los trabajos de vigilancia. ○ Los criterios y modalidades de mantenimiento de las obras (quién hace qué y cuándo) integrando los aspectos presupuestarios y financieros.

Pasos	Recomendaciones
	○ Criterios y modalidades para la eliminación de las estructuras NBS (quién hace qué y cuándo), integrando los aspectos presupuestarios y financieros si estas estructuras resultan innecesarias o deficientes, o si es probable que aumenten los riesgos o degraden el medio ambiente. ○ La definición de las responsabilidades y obligaciones de cada una de las partes interesadas (comunidades, Estado, organismos públicos, técnicos, empresas). ○ Actualización de los indicadores de diagnóstico (riesgos, medio ambiente, sociedad y desarrollo económico local), definiendo las frecuencias y las partes interesadas que deben movilizarse, así como las acciones que deben emprenderse en caso de evolución no deseada o indeseable de uno o varios indicadores.

Nota: este marco de gestión y seguimiento puede ser una oportunidad para co-construir estrategias integradas de gestión de riesgos, desarrollo territorial y protección medioambiental (como la gestión integrada de peligros naturales/silvicultura) entre todas las partes interesadas.

Definición de un marco de comunicación	▪ Definir todas las acciones de comunicación, los medios necesarios y los objetivos para informar, sensibilizar e implicar a todas las partes interesadas, especialmente a la población local. ▪ Establecer un sistema de gobernanza para reforzar la aceptabilidad de las soluciones propuestas e identificar posibles puntos de bloqueo. Nota: este marco de comunicación debe establecerse desde el principio de los proyectos de implementación de las NBS y es transversal a todos los pasos presentados anteriormente. Esta comunicación también pretende hacer comprender a todas las partes interesadas los retos de las NBS, su interés, sus límites y sus restricciones. En particular, se trata de explicar las nociones de riesgo con el equilibrio que hay que encontrar entre protección, desarrollo y costes.
--	---

Cuadro 4-2. Lista de recomendaciones dirigidas a los políticos a la hora de definir y aplicar las NBS para la reducción de los riesgos naturales. En negrita, aparecen las recomendaciones comunes a los técnicos y a los políticos.

5 Referencias

- Alexander, J. M., Lembrechts, J. J., Cavieres, L. A., Daehler, C., Haider, S., et al. (2016). Invasiones de plantas en montañas y ecosistemas alpinos: estado actual y retos futuros. *Alpine Botany* 126, 89-103.
- Bardgett, R. D., Van Der Putten, W. H. (2014). Biodiversidad subterránea y funcionamiento de los ecosistemas. *Nature* 515(7528), 505.

Begemann, W., y H. M. Schiechl. (1994) Ingenieurbiologie, Handbuch zum ökologischen Wasser- und Erdbau, 2. Auflage. Bauverlag, Wiesbaden.

Clements, D. R., Upadhyaya, M. K., Joshi, S., Shrestha, A. (Eds.). (2022). Global Plant Invasions. Springer.

Delgado-Baquerizo, M., Reich, P. B., Trivedi, C., Eldridge, D. J., Abades, S., et al. (2020). Multiple elements of soil biodiversity drive ecosystem functions across biomes. *Nature Ecology & Evolution* 4, 210-220.

Doran J.W. (2002). Soil health and global sustainability: translating science into practice. *Agricultura, Ecosistemas y Medio Ambiente* 88, 119-127.

Dorren, L.K.A. (2012). Rockyfor3D (v5.0) revealed - Transparent description of the complete 3D rockfall model. ecorisQ paper (International Association for Natural Hazard Risk Management), www.ecorisq.org: 30 p

CE (2002) Hacia una estrategia temática para la protección del suelo. COM (2002) 179 final.

AEMA (2023) Vigilancia del suelo en Europa Indicadores y umbrales para la evaluación de la salud del suelo. Agencia Europea de Medio Ambiente. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. Luxemburgo.

Fundació Privada de l'Enginyeria Agrícola Catalana (AEIP) (2012). NTJ 12S Parte 1 Obras de bioingeniería del paisaje: Técnicas de protección superficial del suelo. www.ntjdejardineria.org.

Fundació Privada de l'Enginyeria Agrícola Catalana (AEIP) (2013). NTJ 12S Parte 2 Obras de bioingeniería del paisaje: Técnicas de estabilización de suelos.

Fundació Privada de l'Enginyeria Agrícola Catalana (AEIP) (2015). NTJ 12S Parte 4 Obras de bioingeniería del paisaje: Técnicas mixtas de estabilización de taludes.

Fundació Privada de l'Enginyeria Agrícola Catalana (AEIP) (2010). NTJ 12S Parte 5 Obras de bioingeniería del paisaje: Técnicas de revestimiento y estabilización aplicables en ámbitos fluviales.

Haynes, R. J. (2000). Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. *Soil Biology & Biochemistry* 32, 211-219.

Ichter, J., Evans, D., Richard, D. (eds) (2014). Cartografía de hábitats terrestres en Europa, una visión general. Luxembourg. Informe técnico del MNHN-EEA, p 153.

Menta, C., Conti, F. D., Pinto, S., Bodini, A. (2018). Índice de calidad biológica del suelo (QBS-ar): 15 años de aplicación a escala global. *Indicadores ecológicos* 85, 773-780.

Menta, C., Remelli, S. (2020). Salud del suelo y artrópodos: Del sistema complejo a la investigación útil. *Insectos* 11, 54.

Nannipieri, P., Ascher, J., Ceccherini, M.T., Landi, L., Pietramellara, G., Renella, G. (2003). Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science* 68, 12-26.

Orgiazzi, A., Dunbar, M. B., Panagos, P., de Groot, G. A., Lemanceau, P. (2015). Biodiversidad del suelo y códigos de barras de ADN: oportunidades y desafíos. *Soil Biology and Biochemistry* 80, 244-250.

Parisi, V., Menta, C., Gardi, C., Jacomini, C., Mozzanica, E. (2005). Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 105, 323-333.

Pregitzer, K. S., Euskirchen, E. S. (2004). Carbon cycling and storage in world forests: biome patterns related to forestage. *Global Change Biology* 10, 2052-2077.

Raymond, C.M., Berry, P., Breil, M., Nita, M.R., Kabisch, N., et al. (2017). Un marco de evaluación de impacto para apoyar la planificación y evaluación de proyectos de soluciones basadas en la naturaleza. Un informe del grupo de trabajo de expertos EKLIPSE. Centro de Ecología e Hidrología. Wallingford, Reino Unido.

Rodger, A.S. (1993). El ciclo del carbono y el ecosistema forestal mundial. *Water, Air and Soil Pollution* 70, 295-307.

Vayreda, J., Martínez-Vilalta, J., Gracia, M., Retana, J. (2012). Los cambios climáticos recientes interactúan con la estructura y gestión de las masas para determinar los cambios en las reservas de carbono arbóreo en los bosques españoles. *Biología del Cambio Global* 18, 1028-1041.

6 Apéndices

Apéndice A

Agenda del evento de dos días: jornada de formación y seminario de resultados.

Figura 6-1, Figura 6-2, Figura 6-3 y Figura 6-4 presentan el orden del día detallado en francés.

Figura 6-5, Figura 6-6, Figura 6-7 y Figura 6-8 presentan la agenda detallada en español.

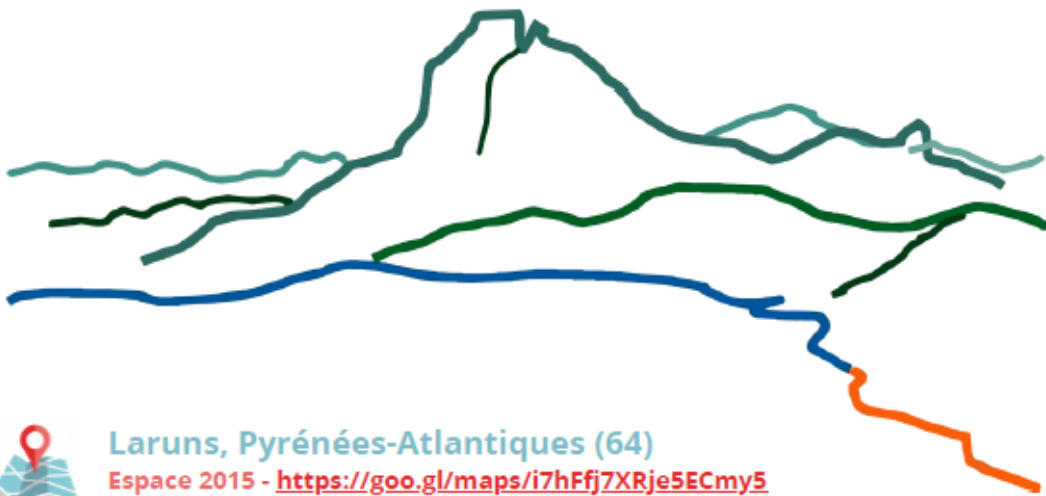



Funded by
the European Union

JOURNÉE FORMATIVE ET SÉMINAIRE DE RÉSULTATS

Solutions fondées sur la nature pour la gestion des
risques naturels et climatiques dans les Pyrénées

11 et 12 avril 2023



 **Laruns, Pyrénées-Atlantiques (64)**
Espace 2015 - <https://goo.gl/maps/i7hFfj7XRje5ECmy5>

 **Inscription gratuite. Places limitées !**
Pauses repas et cafés incluses
<https://link.infini.fr/0ZHZFX2P>


Retransmission par Zoom



Figura 6-1. Página 1 del programa detallado de las dos jornadas organizadas en abril, 11th y 12th en Laruns (en francés).

JOURNÉE FORMATIVE
MARDI 11 AVRIL 2023

- **Objectif** : Introduire aux techniques de Génie Biologique et plus spécifiquement aux techniques en milieu montagnard.
- **Public cible** : techniciens des administrations publiques des forêts et routes; petites et moyennes entreprises des secteurs du bois et de la construction; cabinets conseils spécialisés sur les risques naturels, géotechnique, etc.



<https://us06web.zoom.us/j/83493876018?pwd=TGxkTjYxM0RmckEwdjR1RlRFR3ZnQlOQ>

8:45 - 9:00 Bienvenue et inscriptions

9:00 - 9:15 Introduction sur le contexte pyrénéen, concept des solutions fondées sur la nature

Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique (OPCC) de la Communauté
de Travail des Pyrénées (CTP) - Didier VERGÈS

9:15 - 9:30 forestière dans les montagnes bernoises et potentiel des Solutions fondées sur la nature (SfN)

Institution Patrimoniale du Haut Béarn (IPHB) - Jean-Michel MEHL

9:30 - 10:00 Génie Biologique: une discipline fondée sur la Nature
Fédération Européenne pour le Génie Biologique (EFIB) - Paola SANGALLI

10:00 - 11:00 Principales techniques de Génie Biologique pour la stabilisation des pentes

Fédération Européenne pour le Génie Biologique (EFIB) - Paola SANGALLI

11:00 - 11:30 Pause café

11:30 - 12:30 Méthodologie pour le projet de stabilisation des pentes
Association Espagnole d'Ingénierie du Paysage (AEIP) - Guillermo TARDÓ

12:30 - 14:00 Pause déjeuner

14:00 - 15:00 Du projet à la mise en oeuvre: exemples de projets de génie biologique pour la stabilisation de pentes

Association pour le Génie Végétal (AGéBio) - Klaus PEKLO
Association Espagnole d'Ingénierie du Paysage (AEIP) - Albert SOROLLA

15:00 - 15:30 Expériences et perspectives d'une entreprise locale pyrénéenne spécialisée dans le secteur du bois

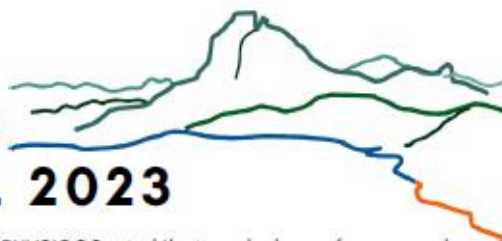
Explotaciones e Impregnaciones Forestales SA (EIFORSA) - Eduardo FERNÁNDEZ

15:30 - 17:30 Atelier de maquettes miniatures pour la stabilisation de pentes
AEIB, EFIB et AGéBio - Paola SANGALLI, Guillermo TARDÓ, Klaus PEKLO,
Albert SOROLLA

17:30 - 18:30 Mise en commun, apprentissages et conclusions finales
EFIB et OPCC - Paola SANGALLI et Eva GARCÍA BALAGUER

Figura 6-2. Página 2 del programa detallado de las dos jornadas organizadas en abril, 11th y 12th en Laruns (en francés).

SÉMINAIRE DE RÉSULTATS MERCREDI 12 AVRIL 2023



- **Objectif** : Présenter les résultats obtenus du projet PHUSICOS et débattre de la performance des solutions fondées sur la nature pour faire face aux risques naturels en zones de montagne.
- **Public cible** : autorités et techniciens des administrations publiques des forêts et routes; petites et moyennes entreprises des secteurs du bois et de la construction; cabinets conseils spécialisés sur les risques naturels, géotechnique, etc.



<https://us06web.zoom.us/j/85988352654?pwd=NHBPVXRTV3VMZG02QjBxbThkbUlnZz09>

8:00 - 8:30 Bienvenue et inscriptions

8:30 - 9:00 Ouverture institutionnelle

- **Maire de la Commune de Laruns** - Robert CASADEBAIG
- **Commissaire de Massif des Pyrénées** - Delphine MERCADIER-MOURE (en ligne)
- **Président du GECT Pirineos - Pyrénées** - José-Luis SORO (tbc)
- **Directrice du Parc National des Pyrénées** - Mélina ROTH
- **Représentant technique de la Région Nouvelle Aquitaine** - Matthieu BERGÉ (tbc)

9:00 - 10:00 Concept des solutions fondées sur la nature et son importance croissante en Europe

- **Importance de la biodiversité dans les Solutions fondées sur la Nature (SfN)**
Pilar ANDRÉS PASTOR - CREAL, partenaire PHUSICOS
- **Génie biologique en zones de montagne**
Paola SANGALLI, Klaus PEKLO et Albert SOROLLA - AEIB, EFIB et AGéBio
- **Introduction à l'étude des leviers et obstacles entre SfN et solutions grises**
Au nom de IIASA, partenaire PHUSICOS

10:00 - 11:30 Expériences et leçons apprises de la mise en place des solutions fondées sur la nature pour la gestion des risques naturels en zones de montagne: Capet, Artouste, Santa Elena et Erill la Vall

- **Importance des sciences et de la modélisation des risques**
Clara LÉVY - BRGM, partenaire PHUSICOS
- **Visionnage de la vidéo du site d'Artouste**
- **Mention aux 'Living Labs' PHUSICOS dans les Pyrénées**
Xavier CARBONELL - ARC Mediación Ambiental
- **Table-ronde avec les experts techniques, modérée par Xavier CARBONELL**
Santiago FÁBREGAS REIGOSA - GECT Pirineos - Pyrénées
Alain BRUZY - Services RTM Pyrénées 64-65
Carles RAÏMAT - Geo-Hazard Advisor, KUROBA4
- **Visionnage des vidéos des sites de Capet, Santa Elena et Erill la Vall**

11:30 - 12:00 Pause café



Figura 6-3. Página 3 del programa detallado de las dos jornadas organizadas en abril, 11th y 12th en Laruns (en francés).

SÉMINAIRE DE RÉSULTATS MERCREDI 12 AVRIL 2023

- **Objectif** : Présenter les résultats obtenus du projet PHUSICOS et débattre de la performance des solutions fondées sur la nature pour faire face aux risques naturels en zones de montagne.
- **Public cible** : autorités et techniciens des administrations publiques des forêts et routes; petites et moyennes entreprises des secteurs du bois et de la construction; cabinets conseils spécialisés sur les risques naturels, géotechnique, etc.

12:00 - 13:30

Les autorités locales et la gestion intégrée du territoire

- **Cheminement réalisé par PHUSICOS dans les Pyrénées et apprentissages**

Éric LEROI - Expert en Gestion de Risques, partenaire PHUSICOS

- **Table-ronde des élus du territoire, modérée par Éric LEROI**

Robert CASADEBAIG, Maire de Laruns

Pascal ARRIBET, Maire de Barèges

Jean-Louis NOGUÈRE, Maire de Sers

Sonià BRUGUERA, Maire de Vall de Boí

Représentant de Comarca Alto Gallego (tbc)

Représentant du Conseil Départemental 64 (tbc)

13:30 - 14:00

Conclusions du séminaire et perspectives futures

- **Représentant technique de la Région Nouvelle Aquitaine** - Matthieu BERGÉ (tbc)
- **Présidente de la Fédération Européenne pour le Génie Biologique (EFIB)** - Paola SANGALLI
- **Directeur de la Communauté de Travail des Pyrénées (CTP)** - Jean-Louis VALLS
- **Coordinatrice de l'OPCC - CTP** - Eva GARCÍA BALAGUER

14:00 - 15:00

Pause déjeuner

15:00 - 17:00

Visite (facultative) du site Artouste et des travaux de PHUSICOS (sur inscription)



Figura 6-4. Página 4 del programa detallado de las dos jornadas organizadas en abril, 11th y 12th en Laruns (en francés).



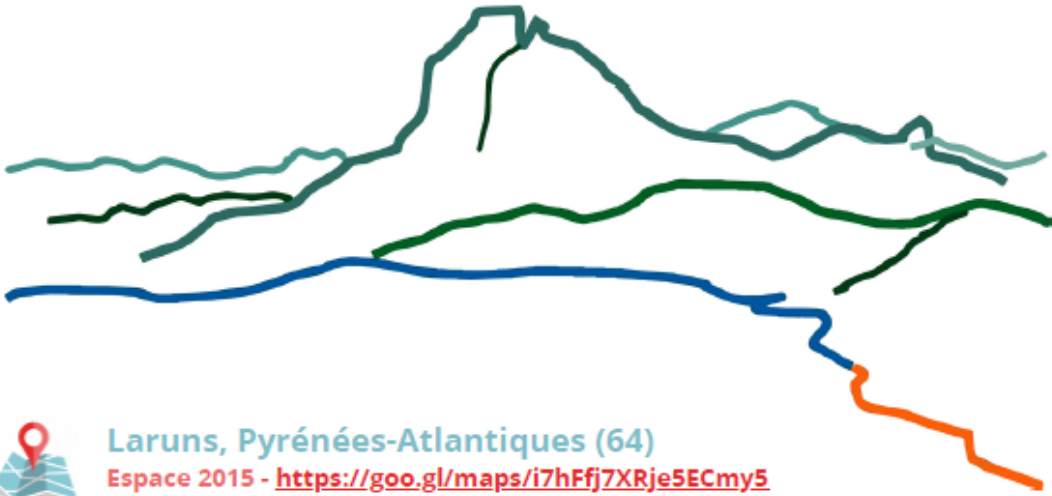


Funded by
the European Union

JORNADA FORMATIVA Y SEMINARIO DE RESULTADOS

Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión de
riesgos naturales y climáticos en los Pirineos

11 y 12 de abril 2023





Laruns, Pyrénées-Atlantiques (64)
Espace 2015 - <https://goo.gl/maps/i7hFfj7XRje5ECmy5>



Inscripción gratuita. Plazas limitadas!
Pausas comidas y cafés incluidas
<https://link.infini.fr/0ZHFX2P>



Evento retransmitido por Zoom







LARUNS



LARUNTZ

Figura 6-5. Página 1 de la agenda detallada del evento de dos días organizado en abril, 11th y 12th en Laruns (en español).



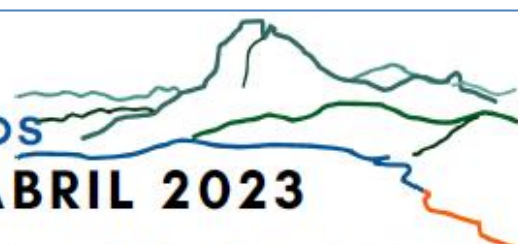
JORNADA FORMATIVA MARTES 11 DE ABRIL 2023

- **Objetivo:** Introducir las técnicas de bioingeniería y más concretamente a las técnicas en un entorno montañoso.
- **Público meta:** técnicos de administraciones públicas forestales y de carreteras; pequeñas y medianas empresas de los sectores de la madera y la construcción; consultorías especializadas en riesgos naturales, geotécnica, etc.


<https://us06web.zoom.us/j/834938760187?pwd=TFkxTGxhM0Rmc0Fvdi9hSlRFRjZlc0F0aDZkdz09>

8:45 - 9:00	Bienvenida e inscripciones
9:00 - 9:15	Introducción sobre el contexto pirenaico, concepto de las soluciones basadas en la naturaleza Observatorio Pirenaico del Cambio Climático (OPCC) de la Comunidad de Trabajo de los Pirineos (CTP) - Didier VERGÈS
9:15 - 9:30	Introducción al contexto del Valle de Ossau, gestión y producción forestal en las montañas de Béarn y potencial de las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) Institution Patrimoniale du Haut Béarn (IPHB) - Jean-Michel MEHL
9:30 - 10:00	Bioingeniería: una disciplina basada en la Naturaleza Federación Europea de Bioingeniería del Paisaje (EFIB) - Paola SANGALLI
10:00 - 11:00	Principales técnicas de bioingeniería para la estabilización de laderas Federación Europea de Bioingeniería del Paisaje (EFIB) - Paola SANGALLI
11:00 - 11:30	Pausa café
11:30 - 12:30	Metodología para el proyecto en la estabilización de laderas Asociación Española de Ingeniería del Paisaje (AEIP) - Guillermo TARDÍO
12:30 - 14:00	Pausa comida
14:00 - 15:00	Del proyecto a la ejecución: ejemplos de proyectos de bioingeniería para la estabilización de laderas Association pour le Génie Végétal (AGéBio) - Klaus PEKLO Asociación Española de Ingeniería del Paisaje (AEIP) - Albert SOROLLA
15:00 - 15:30	Experiencias y perspectivas de una empresa local pirenaica especializada en el sector de la madera Explotaciones e Impregnaciones Forestales SA (EIFORSA) - Eduardo FERNÁNDEZ
15:30 - 17:30	Taller de maquetas miniaturas para la estabilización de laderas AEIB, EFIB y AGéBio - Paola SANGALLI, Guillermo TARDÍO, Klaus PEKLO, Albert SOROLLA
17:30 - 18:30	Puesta en común, aprendizajes y conclusiones finales EFIB et OPCC - Paola SANGALLI y Eva GARCÍA BALAGUER

Figura 6-6. Página 2 de la agenda detallada del evento de dos días organizado en abril, 11th y 12th en Laruns (en español).



SEMINARIO DE RESULTADOS

MIÉRCOLES 12 DE ABRIL 2023

- **Objetivo:** Presentar los resultados obtenidos en el proyecto PHUSICOS y debatir la eficacia de las soluciones basadas en la naturaleza para hacer frente a los riesgos naturales en las zonas de montaña.
- **Público meta:** autoridades y técnicos de administraciones públicas forestales y de carreteras; pequeñas y medianas empresas de los sectores de la madera y la construcción; consultorías especializadas en riesgos naturales, geotécnica, etc.



<https://us06web.zoom.us/j/85988352654?pwd=NHBkV0RlV3VMZlZGQ2QjBxThhUbnZa09>

8:00 - 8:30 Bienvenida e inscripciones

8:30 - 9:00 Apertura institucional

- **Maire de la Commune de Laruns - Robert CASADEBAIG**
- **Commissaire de Massif des Pyrénées - Delphine MERCADIER-MOURE** (en línea)
- **Presidente del GECT Pirineos - Pyrénées - José-Luis SORO** (tbc)
- **Directrice du Parc National des Pyrénées - Mélina ROTH**
- **Représentant technique de la Région Nouvelle Aquitaine - Matthieu BERGÉ** (tbc)

9:00 - 10:00 Concepto de soluciones basadas en la naturaleza y su relevancia creciente en et Europa

- **Importancia de la biodiversidad en las soluciones basadas en la naturaleza (SbN)**
Pilar ANDRÉS PASTOR - CREAF, socio PHUSICOS
- **Bio-ingeniería en zonas de montaña**
Paola SANGALLI, Klaus PEKLO y Albert SOROLLA - AEIB, EFIB y AGéBio
- **Introducción al estudio de palancas y obstáculos de SbN y soluciones grises**
En nombre de IIASA, socio PHUSICOS

10:00 - 11:30 Experiencias y lecciones aprendidas del desarrollo de soluciones basadas en la naturaleza para la gestión de riesgos naturales en zonas montañosas: Capet, Artouste, Santa Elena y Erill la Vall

- **Relevancia de las ciencias y de la modelización de los riesgos**
Clara LÉVY - BRGM, socio PHUSICOS
- **Visualización del video del sitio de Artouste**
- **Mención a los 'Living Labs' PHUSICOS en los Pirineos**
Xavier CARBONNELL - ARC Mediación Ambiental
- **Mesa-redonda de expertos técnicos, dinamizada por Xavier CARBONELL**
Santiago FÁBREGAS REIGOSA - GECT Pirineos - Pyrénées
Alain BRUZY - Services RTM Pyrénées 64-65
Carles RAÏMAT - Geo-Hazard Advisor, KUROBA4
- **Visualización de los videos de los sitios de Capet, Santa Elena et Erill la Vall**

11:30 - 12:00 Pausa café






Figura 6-7. Página 3 de la agenda detallada del evento de dos días organizado en abril, 11th y 12th en Laruns (en español).

SEMINARIO DE RESULTADOS MIÉRCOLES 12 DE ABRIL 2023

- **Objetivo:** Presentar los resultados obtenidos en el proyecto PHUSICOS y debatir la eficacia de las soluciones basadas en la naturaleza para hacer frente a los riesgos naturales en las zonas de montaña.
- **Público meta:** autoridades y técnicos de administraciones públicas forestales y de carreteras; pequeñas y medianas empresas de los sectores de la madera y la construcción; consultorías especializadas en riesgos naturales, geotécnica, etc.

12:00 - 13:30 Las autoridades locales y la gestión integrada del territorio

- **Recorrido de PHUSICOS en los Pirineos y aprendizajes**
Éric LEROI - Experto en Gestión de Riesgos, socio PHUSICOS
- **Mesa-redonda con representantes electos del territorio, dinamizada por Éric LEROI**
Robert CASADEBAIG, Alcalde de Laruns
Pascal ARRIBET, Alcalde de Barèges
Jean-Louis NOGUÈRE, Alcalde de Sers
Sonia BRUGUERA, Alcalde de Vall de Boí
Representante de Comarca Alto Gallego (tbc)
Representante de Conseil Départemental 64 (tbc)

13:30 - 14:00 Conclusiones del seminario y perspectivas futuras

- **Representante técnico de la Région Nouvelle Aquitaine** - Matthieu BERGÉ (tbc)
- **Presidente de Federación Europea de Bioingeniería del Paisaje (EFIB)** - Paola SANGALLI
- **Director de la Comunidad de Trabajo de los Pirineos (CTP)** - Jean-Louis VALLS
- **Coordinadora del OPCC - CTP** - Eva GARCÍA BALAGUER

14:00 - 15:00 Pausa comida

15:00 - 17:00 Visita (opcional) del sitio de Artouste y de las soluciones de PHUSICOS (previa inscripción)



Figura 6-8. Página 4 de la agenda detallada del evento de dos días organizado en abril, 11th y 12th en Laruns (en español).

Apéndice B

Lista de participantes.

Figura 6-9 y Figura 6-10 detallan los participantes durante el acto.

	Nombre / Prénom	Apellidos / Nom	Empresa / Entreprise / Institución / Institution
1	Marc	Ancely	Arbisanat
2	Beatriz	Barinaga Mugica	Asmatu S.L.
3	Alejandro	Cantero	HAZI
4	Carles	Fañanás	Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural de la Generalitat de Catalunya
5	Carolina	García Suikkanen	Confederación Hidrográfica del Ebro
6	Lorenzo	Serrano Zuñeda	DG de Medio Natural y Gestión Forestal del Gobierno de Aragón
7	Olivier	Valfort	DDTM 64
8	Jean-Michel	Melh	Institut Patrimonial du Haut-Béarn (IPHB)
9	Clara	Lévy	BRGM
10	Joël	Coubluc	Mairie de Laruns - Adjoint au Maire
11	Jean-Marc	Moreno	Mairie de Laruns - Adjoint au Maire
12	Gérard	Lamagnère	Mairie de Laruns - Conseiller Municipal
13	Toni	Jobbe-Duval	Explotaciones e Impregnaciones Forestales SA (EIFORSA)
14	Robert	Casadebaig	Mairie de Laruns - Maire
15	Nélida	García Sanz	DG de Cambio Climático y Educación Ambiental del Gobierno de Aragón
16	Anne	Busselot	Commissariat de Massif des Pyrénées
17	Josep Ma	Caba	SOLUTIONOMA
18	Eva	García Balaguer	Communauté de Travail des Pyrénées (CTP) - Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique (OPCC)
19	Didier	Vergès	Communauté de Travail des Pyrénées (CTP) - Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique (OPCC)
20	Eric	Leroi	R&D
21	Pilar	Andrés	CREAF
22	Paola	Sangalli	SCIA SL / EFIB
23	Sergio	Sangalli	SCIA SL
24	Klaus	Peklo	Klaus Peklo
25	Albert	Sorolla	Naturalea
26	Frédéric	Berger	INRAE

Figura 6-9. Detalle de los participantes durante el primer día del evento (jornada de formación, 11/04/2023).

	Nombre / Prénom	Apellidos / Nom	Empresa / Entreprise / Institución / Institution
1	Marta	Pérez Banco	AECT Pirineos - Pyrénées
2	Santiago	Fábregas Reigosa	AECT Pirineos - Pyrénées
3	Alain	Bruzy	RTM ONF
4	Brice	Dupin	ECO-ALTITUDE
5	Clara	Lévy	BRGM
6	Marc	Ancely	Arbisanat
7	Nélida	García Sanz	DG de Cambio Climático y Educación Ambiental del Gobierno de Aragón
8	Olivier	Valfort	DDTM 64
9	Lorenzo	Serrano Zuñeda	DG de Medio Natural y Gestión Forestal del Gobierno de Aragón
10	Sylvie	Cassau	Mairie de Laruns - Adjointe au Maire
11	Eric	Leroi	R&D
12	Célia	Amorich	ONF
13	Sònia	Bruguera	Vall de Boí
14	Carles	Raïmat	Kuroba4
15	Jona	Trujillo	Kuroba4
16	Christian	Paille-Barrere	Conseil Départemental 64
17	Jean-Louis	Noguère	Mairie de Sers - Maire
18	Albert	Sorolla	Naturealea
19	Pascal	Arribet	Mairie de Barèges - Maire
20	Ricard	Baró	Fent Cami
21	Carles	Fañanás	Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural de la Generalitat de Catalunya
22	Alejandro	Cantero	HAZI
23	Klaus	Peklo	Klaus Peklo
24	Carolina	García Suikkanen	Confederación Hidrográfica del Ebro
25	Étienne	Czernecka	Sud Ouest - Journaliste
26	Eva	García Balaguer	Communauté de Travail des Pyrénées (CTP) - Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique (OPCC)
27	Didier	Vergès	Communauté de Travail des Pyrénées (CTP) - Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique (OPCC)
28	Xavier	Carbonell	ARC Mediación Ambiental
29	Mélina	Roth	Parc National des Pyrénées
30	Delphine	Mercadier	Commissariat de Massif des Pyrénées
31	Jean-Louis	Valls	Communauté de Travail des Pyrénées (CTP)
32	Frédéric	Berger	INRAE

Figura 6-10. Detalle de los participantes durante el segundo día del evento (día del seminario de resultados, 12/04/2023).



Proyecto H2020 PHUSICOS
Convenio de subvención nº 776681