



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos.*
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Soluciones basadas en la naturaleza para la regulación de la erosión en Cantabria

Trabajo realizado por:

Mikel Pozueta Mayo

Dirigido:

Laura Concostrina Zubiri

Pepe Barquín

Titulación:

**Máster Universitario en Gestión
Integrada de Sistemas Hídricos**

Santander, septiembre de 2025

TRABAJO FIN DE MASTER

Contenido

1	Introducción	3
2	Objetivos	7
3	Materiales y métodos.....	8
3.1	Área de estudio	8
3.1.1	Geomorfología.....	8
3.1.2	Climatología e hidrología.....	8
3.1.3	Dinámicas de perturbación	9
3.2	Métodos.....	10
3.2.1	Catálogo de NbS de referencia.....	10
3.2.2	Caracterización del fenómeno de erosión en Cantabria	10
3.2.3	Desarrollo del árbol de decisión.....	11
3.2.4	Selección de casos de estudio.....	14
4	Resultados.....	16
4.1	Árbol de decisión	16
4.2	Casos de estudio	18
5	Discusión.....	24
6	Conclusiones.....	29
7	Limitaciones del estudio	33
7.1	Recomendaciones a futuro	36
8	Posibilidades de mejora	38
8.1	Mejora en la planificación y diseño de las NbS	38
8.2	Participación de actores locales	39
8.3	Fortalecimiento de incentivos económicos.....	39
8.4	Innovación y monitoreo científico	40
8.5	Integración en políticas sectoriales	40
8.6	Adaptación al cambio climático.....	40
9	Bibliografía.....	41

1 Introducción

La erosión del suelo es uno de los procesos de degradación ambiental más extendidos en el mundo, con consecuencias directas sobre la productividad agrícola, la estabilidad de los ecosistemas y la provisión de servicios ecosistémicos esenciales como la regulación hídrica, la calidad del agua y el almacenamiento de carbono (Panagos *et al.*, 2015). Según la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA, 2021), se estima que más del 11 % del territorio de la Unión Europea presenta tasas significativas de pérdida de suelo, lo que supone una amenaza creciente para la seguridad alimentaria y la resiliencia frente al cambio climático.

En este contexto, la erosión se entiende no como un fenómeno aislado, sino como parte de un sistema hídrico interconectado: lo que ocurre en las laderas de montaña repercute en los valles agrícolas y, finalmente, en la dinámica de los ríos y estuarios. Bajo esta perspectiva, la Gestión Integrada de Sistemas Hídricos (GISH) ofrece un marco idóneo para analizar y afrontar este desafío, ya que plantea la necesidad de abordar suelo, agua y biodiversidad de manera conjunta, superando las soluciones sectoriales.

En el caso de España, la erosión constituye un problema estructural, especialmente en territorios con alta variabilidad climática y usos del suelo intensivos. Informes nacionales destacan que más de un 20 % del territorio sufre procesos erosivos medios o severos (MITECO, 2022a). Cantabria, aunque se enmarca en la región atlántica húmeda, no es ajena a este fenómeno. La combinación de un relieve montañoso, intensificación agrícola en valles, sobrepastoreo en áreas de montaña, incendios forestales y plantaciones forestales de especies exóticas (principalmente eucalipto y pino) generan condiciones propicias para la degradación de suelos (Gobierno de Cantabria, 2020, 2021).

La erosión del suelo constituye uno de los problemas ambientales más relevantes en el territorio de Cantabria. Este proceso degrada la capa fértil del suelo, disminuye la productividad agrícola y forestal, y aumenta la vulnerabilidad del

territorio frente a fenómenos hidrológicos extremos (Panagos *et al.*, 2015; Gobierno de Cantabria, 2020; EEA, 2021). La pérdida de suelo no solo implica un impacto sobre la capacidad de producción, sino también sobre la calidad de las aguas, al incrementar la sedimentación en los cauces y alterar el funcionamiento de los ecosistemas fluviales y costeros (EEA, 2021; Panagos *et al.*, 2015; iSANA, 2022).

La erosión en Cantabria responde a una combinación de factores naturales y antrópicos que, al interactuar, intensifican los procesos de pérdida de suelo.

El cambio climático introduce un nuevo nivel de presión sobre los suelos de la región. Los modelos climáticos prevén un aumento en la frecuencia de episodios de precipitaciones intensas y periodos de sequía, fenómenos que intensifican los procesos de escorrentía, pérdida de suelo fértil y disminución de la capacidad de infiltración (EEA, 2021). Estos impactos no solo agravan la erosión, sino que comprometen la resiliencia de los ecosistemas y reducen la provisión de servicios ecosistémicos vitales para la población local.

Las Soluciones Basadas en la Naturaleza (NbS) se consolidan como un enfoque innovador y coste-efectivo para abordar la erosión y otros riesgos climáticos. Estas soluciones se fundamentan en la restauración, conservación y gestión sostenible de los ecosistemas, aprovechando los procesos naturales de regulación hidrológica, retención de sedimentos y captura de carbono para ofrecer beneficios múltiples (Nesshöver *et al.*, 2017). A diferencia de las infraestructuras grises tradicionales, las NbS no solo reducen el impacto ambiental, sino que generan co-beneficios en términos de biodiversidad, bienestar humano y resiliencia socioecológica.

Los bosques y ecosistemas riparios desempeñan un papel crucial en este contexto. Estudios recientes muestran que la cobertura forestal puede reducir hasta en un 50 % la escorrentía superficial en laderas y mejorar la infiltración en suelos agrícolas adyacentes (Panagos *et al.*, 2015). Sin embargo, en Cantabria, la sustitución de masas forestales autóctonas por plantaciones de eucalipto y pino ha aumentado la vulnerabilidad de los suelos frente a la erosión, debido a su menor

capacidad de regulación hídrica y a la alta inflamabilidad de estas especies (Gobierno de Cantabria, 2021).

A nivel institucional, España ha dado pasos importantes en la sistematización y normalización de las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN). El Catálogo de SbN constituye una herramienta de referencia que compila más de un centenar de soluciones organizadas por tipologías —agrícolas, forestales, fluviales, costeras y urbanas—, proporcionando información sobre su eficacia, replicabilidad, costes y co-beneficios ecosistémicos. Complementariamente, el proyecto iSANA (iSANA, 2022). Desarrollo de la estrategia de investigación y transferencia en Soluciones BASadas en la NATuraleza de IHCantabria. Gobierno de Cantabria, Programa Fénix) ha desarrollado un trabajo exhaustivo de revisión de estudios de caso y experiencias piloto, no solo en el ámbito nacional, sino también a escala internacional, a partir de literatura científica y repositorios especializados. Según su memoria técnica, este análisis global permitió identificar la diversidad de medidas aplicadas en ecosistemas terrestres, fluviales, costeros y marinos, establecer esquemas de clasificación y aportar evidencias empíricas sobre su efectividad y transferibilidad. De esta forma, iSANA no se limita a recopilar experiencias españolas, sino que ofrece una base metodológica y comparativa amplia que facilita la adaptación de las NbS a contextos regionales como el de Cantabria.

En el ámbito regional, Cantabria ha comenzado a dar pasos hacia la integración de NbS en sus políticas territoriales. El Gobierno regional anunció en 2022 la elaboración de una Estrategia de Infraestructura Verde, que busca consolidar una red ecológica que favorezca la conectividad de ecosistemas y el uso de soluciones naturales en la planificación territorial (Cadena SER, 2022). A escala local, iniciativas como la Carta de Santander, firmada en 2021, representan un compromiso explícito con la biodiversidad, la infraestructura verde y la implementación de NbS en el ámbito urbano (RECS, 2021).

Este trabajo parte de un doble desafío: por un lado, abordar el problema de la erosión del suelo agravado por el cambio climático, y por otro, explorar la idoneidad

de las NbS como herramientas de gestión sostenible del territorio. El objetivo principal es, por tanto, identificar y evaluar NbS para la regulación de la erosión en Cantabria, atendiendo a las características físicas y socioeconómicas de la región, sus dinámicas de perturbación y el marco político e institucional vigente.

2 Objetivos

El objetivo general de este Trabajo de Fin de Máster es identificar y proponer Soluciones Basadas en la Naturaleza (NbS) que resulten adecuadas para la regulación de la erosión en Cantabria, considerando las características biofísicas, climáticas y de uso del suelo propias de este territorio. La formulación de este objetivo responde a la necesidad de reforzar la gestión sostenible de los recursos hídricos y de incrementar la resiliencia territorial frente a los efectos del cambio climático, en línea con las directrices europeas y nacionales en materia de adaptación y sostenibilidad.

Un elemento central de la metodología es el análisis del catálogo elaborado en el proyecto iSANA (iSANA, 2022). Desarrollo de la estrategia de investigación y transferencia en NbS de IH Cantabria. Gobierno de Cantabria, Programa Fénix), que constituye una herramienta de referencia a escala global y nacional para la identificación, clasificación y selección de Soluciones Basadas en la Naturaleza (NbS). Este catálogo destaca por la amplitud y sistematicidad de las soluciones recogidas, así como por su utilidad para orientar intervenciones adaptadas a territorios concretos como Cantabria. A partir de esta base, el presente trabajo revisa las medidas incluidas en el catálogo y en la memoria de iSANA, seleccionando aquellas más aplicables en función de los retos ambientales y socioeconómicos de la región. De este modo, se identifican y proponen soluciones específicas para escenarios biofísicos característicos de Cantabria donde la erosión es un problema relevante, detallando su tipología, el ecosistema de aplicación, la escala de actuación y los beneficios principales que generan.

La aproximación metodológica de este trabajo consiste en el diseño de un árbol de decisión como herramienta práctica de gestión, elaborando esquema gráfico que guíe la toma de decisiones en cuanto a la implementación de la NbS más adecuada para diferentes casos de estudio. Este árbol de decisión incluirá criterios topográficos (e.g., altitud, pendiente, orientación...) y el estado de referencia del área de actuación según su grado de erosión con las soluciones más adecuadas.

3 Materiales y métodos

3.1 Área de estudio

El área de estudio corresponde al territorio de Cantabria, una región situada en el norte de España que presenta una elevada heterogeneidad en términos geomorfológicos, climáticos y ecológicos. Esta diversidad condiciona la aparición de procesos erosivos de distinta intensidad y la necesidad de aplicar enfoques diferenciados en función del contexto local.

3.1.1 Geomorfología

Cantabria presenta un relieve abrupto y complejo, resultado de la interacción entre las cadenas montañosas de la Cordillera Cantábrica, los valles interiores y una franja costera con presencia de acantilados, marismas y estuarios. Esta configuración geomorfológica da lugar a pendientes variables, en las que los valles con laderas suaves son más propicios para los usos agrícolas, mientras que las pendientes medias y altas concentran procesos de erosión y deslizamiento vinculados a la inestabilidad del terreno. Asimismo, la litología predominante — con materiales calcáreos, arcillosos y formaciones de flysch en la costa— presenta diferentes grados de susceptibilidad frente a la erosión hídrica y mecánica, condicionando la respuesta del territorio frente a perturbaciones naturales y antrópicas (iSANA, 2022).

3.1.2 Climatología e hidrología

El clima de Cantabria es de tipo oceánico húmedo, caracterizado por precipitaciones abundantes y regulares, con medias anuales que superan los 1.200 mm en buena parte del territorio. La distribución estacional de las lluvias, junto con la elevada frecuencia de episodios de alta intensidad, favorece la escorrentía superficial y, en consecuencia, la erosión del suelo en áreas desprovistas de cubierta vegetal. La hidrología está marcada por una red hidrográfica densa, con cuencas cortas y de respuesta rápida, lo que incrementa la susceptibilidad a la movilización de sedimentos y su transporte hacia los sistemas fluviales y costeros (iSANA, 2022).

3.1.3 Dinámicas de perturbación

Las dinámicas de perturbación constituyen uno de los factores determinantes en la generación y aceleración de procesos erosivos en Cantabria. Entre las más relevantes destacan aquellas vinculadas a actividades humanas, como la intensificación agrícola, el sobrepastoreo y la explotación forestal, así como fenómenos naturales o inducidos como los incendios forestales (iSANA, 2022).

Las plantaciones forestales con especies de rápido crecimiento, principalmente eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y pino (*Pinus radiata*), han sustituido en muchas áreas a los bosques autóctonos de robles, hayas y encinas. Estas especies alóctonas generan impactos específicos sobre el suelo: por un lado, su capacidad de protección frente a la erosión es menor que la de los bosques nativos, ya que producen menor cobertura de sotobosque y aportan una hojarasca menos estable y rica en nutrientes; por otro, las cortas a matarrasa y la apertura de pistas forestales exponen grandes superficies de suelo desnudo, incrementando de manera directa la pérdida de suelo por escorrentía en periodos de lluvia intensa (iSANA, 2022). Este tipo de explotación forestal intensiva se ha identificado como un factor clave de degradación y erosión en áreas con pendientes medias y altas.

Los incendios forestales constituyen otra perturbación crítica en la dinámica erosiva de Cantabria. Aunque la región no presenta la recurrencia extrema de incendios observada en zonas mediterráneas, sí se producen con cierta frecuencia en áreas de matorral y repoblación forestal, especialmente vinculados a prácticas tradicionales de quema o a la regeneración de pastos. Tras un incendio, la pérdida de la cubierta vegetal y la hidrofobicidad inducida en los suelos reducen drásticamente su capacidad de infiltración (iSANA, 2022). Esto provoca un incremento significativo de la escorrentía superficial y acelera los procesos de erosión laminar y en cárcavas, particularmente en laderas de fuerte pendiente. Además, los incendios alteran los ciclos de nutrientes y dificultan la regeneración natural de la vegetación, prolongando la vulnerabilidad del suelo durante años (Panagos *et al.*, 2015).

En conjunto, tanto las plantaciones forestales intensivas como los incendios forestales representan dinámicas de perturbación que actúan como catalizadores de la erosión en Cantabria. Su impacto se suma al de otras presiones como el sobrepastoreo o la intensificación agrícola, configurando un escenario en el que la pérdida de suelo responde a la interacción entre factores naturales y antrópicos. Este diagnóstico refuerza la necesidad de aplicar Soluciones Basadas en la Naturaleza (NbS) que prioricen la restauración de bosques autóctonos, la gestión sostenible de plantaciones y la prevención de incendios como parte integral de las estrategias de control de la erosión (iSANA, 2022).

3.2 Métodos

La metodología empleada en este trabajo combina el uso de herramientas de diagnóstico territorial con el análisis de soluciones basadas en la naturaleza contenidas en el catálogo iSANA. El enfoque se organiza en torno a cuatro bloques principales: el uso de un catálogo de referencia, la caracterización del fenómeno de erosión, el desarrollo de un árbol de decisión y la selección de casos de estudio.

3.2.1 Catálogo de NbS de referencia

El proyecto iSANA constituye la base de referencia metodológica, ya que recopila y clasifica un amplio conjunto de NbS aplicables a distintos retos ambientales. El catálogo ofrece información estructurada sobre tipologías (conservación, gestión sostenible, restauración ecológica, bioingeniería), ecosistemas de aplicación, escalas de actuación y beneficios ecosistémicos asociados (iSANA, 2022). Para este trabajo, su valor radica en la sistematización de soluciones directamente vinculadas con el control de la erosión.

3.2.2 Caracterización del fenómeno de erosión en Cantabria

La caracterización del fenómeno de erosión en Cantabria se ha realizado en el marco del diseño de la Red de Infraestructura Verde y Azul en Cantabria desarrollado por IH Cantabria (2025). Este análisis del potencial de erosión combina la información relativa a la pendiente del terreno, la litología, el uso del

suelo y la cobertura vegetal, así como factores asociados a la intensidad de las precipitaciones y a las dinámicas de perturbación (plantaciones forestales, incendios, sobrepastoreo; Pérez-Silos, 2022). De este modo, se obtiene una representación espacial de la vulnerabilidad a la erosión en Cantabria (Figura 1), que sirve como base para priorizar áreas de actuación.

Clasificación del territorio según su erosión (PhD IPS, Pérez Silos)

Clase	Descripción
Muy baja o nula erosión (0-1)	Áreas estables con cubierta vegetal permanente (bosques, prados húmedos). Pérdida de suelo inexistente.
Baja erosión (2)	Terrenos con ligera pendiente y cubierta parcial. Erosión difusa, controlada por vegetación.
Moderada erosión (3)	Laderas con pendiente intermedia, rotación intensiva o forestación de rápido crecimiento. Riesgo de escorrentía en lluvias intensas.
Alta erosión (4)	Pendientes fuertes (>15 %), sobrepastoreo o cortas a matarrasa. Procesos claros de cárcavas y arrastres.
Muy alta erosión (5)	Terrenos degradados sin vegetación. Erosión laminar/cárcavas avanzadas, incendios o deforestación. Requieren restauración activa.

Figura 1 Clasificación del territorio de Cantabria según su grado de erosión (PhD IPS, Pérez Silos). La escala refleja cinco categorías: desde condiciones estables con cubierta vegetal continuo (clases 0–1) hasta áreas muy degradadas y con procesos erosivos avanzados (clase 5). Esta clasificación sintetiza la susceptibilidad del territorio a la pérdida de suelo en función de la pendiente, la cobertura y el uso del terreno.

El diagnóstico preliminar señala que las áreas con pendientes superiores al 15º y coberturas reducidas presentan una mayor susceptibilidad a procesos erosivos, especialmente sobre litologías de carácter arcilloso y flysch costero.

La utilización de estas herramientas de análisis espacial mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) permite identificar zonas críticas en las que la erosión compromete de forma más severa la productividad agrícola y forestal, la estabilidad del suelo y la provisión de servicios ecosistémicos. A partir de este diagnóstico, se pueden orientar de manera más precisa las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) que respondan a los retos ambientales y socioeconómicos de la región (IH, Cantabria, 2025). De este modo, se obtiene una representación espacial de la vulnerabilidad a la erosión en Cantabria (Fig. n), que sirve como base para priorizar áreas de actuación.

3.2.3 Desarrollo del árbol de decisión

El árbol de decisión desarrollado en este trabajo tiene como finalidad vincular el diagnóstico territorial con la selección de NbS frente a la erosión del suelo. Para ello, se definieron una serie de criterios generales de aplicabilidad, basados en las

características biofísicas de Cantabria y en las tipologías de NbS recogidas en el proyecto iSANA.

El primer criterio considerado en el árbol de decisión es la pendiente del terreno, que se establece con un umbral de referencia del 15°. En un territorio predominantemente montañoso como Cantabria, este factor resulta decisivo, ya que condiciona la viabilidad de las intervenciones y la eficacia de las soluciones aplicadas. En laderas con pendientes inferiores al 15°, resulta factible implementar NbS de carácter biotécnico o estructural, como setos vivos, cultivos de cobertura, franjas riparias o bioingeniería en taludes, dado que la escorrentía y los procesos de deslizamiento son menos intensos. En cambio, en laderas con pendientes superiores al 15°, aunque las limitaciones para la implantación de medidas físicas son mayores, no se excluye la aplicación de NbS. En estos casos, se priorizan intervenciones de gestión adaptativa y regeneración pasiva, como el cese de perturbaciones (*e.g.*, *sobrepastoreo*), la promoción de la regeneración natural de la vegetación, o la restauración asistida mediante especies herbáceas y arbustivas adaptadas a la pendiente y a condiciones extremas.

De esta manera, el árbol de decisión incorpora la pendiente del terreno como criterio inicial, estableciendo un umbral de 15°. En áreas con pendientes inferiores a este valor, la intensidad de la erosión (clases 0 a 5) guía hacia NbS de carácter activo, como la implantación de setos vivos, cultivos de cobertura o franjas riparias, todas ellas más viables en condiciones edáficas estables. En cambio, en laderas con pendientes superiores, donde los procesos de escorrentía y deslizamiento son más intensos, se priorizan estrategias pasivas de restauración, como la regeneración natural asistida, el cierre temporal de áreas degradadas y la revegetación con especies pioneras resistentes. El caso práctico de una ladera con pendiente acusada afectada por incendios recurrentes ejemplifica esta rama del árbol, mostrando cómo la elección de NbS pasivas puede favorecer la recuperación del suelo y la reducción de la erosión en contextos de elevada fragilidad. De este modo, el árbol de decisión no excluye escenarios complejos, sino que ofrece un abanico flexible de NbS que permite su aplicación en todo el territorio cántabro, combinando medidas activas y pasivas en función del gradiente

de pendiente, la intensidad de la erosión y el ecosistema afectado (Panagos *et al.*, 2015; iSANA, 2022; IHCantabria, 2025).

El criterio final del árbol de decisión es el grado de erosión, definido en una escala de 0 a 5, donde 0 corresponde a suelos estables y 5 a áreas con erosión muy severa. Este indicador sintetiza la intensidad de los procesos erosivos y se aplica una vez definidos los criterios previos (pendiente y tipo de perturbación), de manera que cada clase se contextualiza dentro de su escenario específico. Por ejemplo, en zonas de baja pendiente únicamente aparecen asociadas las clases de erosión baja o moderada, donde son viables NbS de carácter preventivo, como la conservación de mosaicos agroecológicos, setos vivos o franjas vegetadas. En cambio, en áreas con pendientes más acusadas y procesos erosivos avanzados, la escala incorpora niveles altos (4–5), que requieren soluciones más complejas, incluyendo restauración integral de laderas, técnicas de bioingeniería, regeneración asistida de vegetación o incluso la aplicación de tecnosoles y humedales artificiales para estabilizar el suelo y recuperar su funcionalidad ecosistémica. De esta forma, el criterio de erosión actúa como cierre del flujo de decisión, asegurando que cada NbS propuesta esté adaptada al nivel de degradación y al contexto biofísico en el que se implanta (iSANA, 2022; IH Cantabria, 2025).

Estas variables se han considerado en la formulación del árbol de decisión para garantizar que las NbS propuestas respondan no solo a un diagnóstico conceptual, sino también a las condiciones concretas de Cantabria. Así, por ejemplo, en áreas de pendiente moderada con erosión incipiente, el árbol prioriza medidas de gestión sostenible como cultivos de cobertura y setos vivos; mientras que, en zonas de mayor al 15º y erosión severa, se recomiendan técnicas de bioingeniería o restauración integral.

De este modo, el árbol de decisión constituye una herramienta metodológica que traduce las condiciones biofísicas del territorio en criterios operativos, facilitando la elección de NbS ajustadas a cada nivel de erosión y a la realidad ambiental y socioeconómica de Cantabria.

3.2.4 Selección de casos de estudio

Para ilustrar de manera específica la aplicabilidad de las Soluciones Basadas en la Naturaleza en el control de la erosión, se han seleccionado dos zonas concretas de Cantabria como casos de estudio y una referencia general una zona de especial interés como son las zonas afectadas por incendios frecuentes que una pendiente demasiado pronunciada, para actuaciones activas. La elección de estas áreas responde a la necesidad de disponer de ejemplos representativos pero acotados en extensión, de forma que sea factible analizar en detalle el tipo de procesos erosivos presentes y las NbS que podrían aplicarse.

Los criterios de selección incluyen:

- Representatividad territorial, de modo que los casos abarquen distintos ecosistemas de Cantabria (agrícola, forestal, Ladera con pendiente acusada afectada por incendios recurrentes.).
- Existencia de procesos erosivos documentados o evidentes, derivados tanto de condiciones naturales (pendiente, precipitaciones intensas) como de dinámicas antrópicas (pastoreo, plantaciones forestales,).
- Viabilidad en términos de escala de intervención, priorizando áreas reducidas donde la aplicación de NbS pueda ser implementada de forma efectiva y medible.

Con base en estos criterios, los tres casos de estudio seleccionados son:

1-Valle medio del río Besaya (zona de Cartes-Torrelavega).

Área agrícola intensiva con erosión incipiente y ligera asociada a cultivos de maíz y praderío en laderas suaves. Aquí se podrían ejemplificar NbS como los setos vivos, cultivos de cobertura y franjas riparias para reducir escorrentía y mejorar la infiltración.

2-Montaña de Liébana (zona de Potes-Cabezón de Liébana).

Área ganadera de montaña donde el sobrepastoreo ha provocado compactación del suelo, pérdida de cubierta herbácea y erosión moderada en laderas. Las NbS a

ejemplificar incluyen pastoreo sostenible, regeneración asistida de pastizales y revegetación con especies pioneras.

3-Ladera con pendiente acusada afectada por incendios recurrentes.

Se trata de una ladera con pendientes superiores al 15°, que ha sido repetidamente afectada por incendios forestales. La pérdida de la cubierta vegetal ha incrementado la escorrentía superficial y la erosión severa (grados 4–5). La SbN prioritaria en este escenario es la regeneración pasiva, basada en el cese de perturbaciones (como las quemadas recurrentes o el sobrepastoreo), para permitir la recuperación natural de la vegetación autóctona. Esta estrategia puede complementarse con la regeneración asistida mediante especies pioneras resistentes, que estabilicen los suelos desnudos y faciliten la sucesión ecológica hacia comunidades forestales más maduras (iSANA, 2022).

Los casos de estudio se centran en NBS cuya implementación se realiza en ecosistemas continentales, aunque el medio costero se contempla en el árbol de decisión como criterio, de forma que se englobe la diversidad de paisajes presentes en Cantabria.

4 Resultados

4.1 Árbol de decisión

El diseño del árbol de decisión se ha realizado con el objetivo de guiar la selección de NbS frente a los procesos de erosión en Cantabria. Este árbol de decisión integra las principales variables biofísicas del territorio y las conecta con posibles soluciones adaptadas.

El esquema se organiza en dos grandes ramas iniciales, que distinguen entre el piso alpino y el piso subalpino. En cada uno de ellos se aplican criterios dicotómicos relacionados con la pendiente del terreno, el grado de erosión y la cobertura vegetal. Estas variables, clave en los procesos erosivos de Cantabria, permiten derivar opciones de intervención específicas.

Un aspecto metodológico central ha sido la decisión de utilizar la pendiente del terreno como criterio inicial en el árbol de decisión, fijando un umbral de 15° que condiciona el tipo de NbS aplicables. En laderas con pendientes inferiores a 15°, la mayor estabilidad del suelo y la menor intensidad de los procesos de escorrentía permiten la implantación de NbS activas, como setos vivos, franjas riparias, cultivos de cobertura o técnicas de bioingeniería en taludes, que requieren condiciones relativamente estables para consolidar la vegetación y el sustrato.

En cambio, en pendientes superiores a 15°, aunque la implantación de este tipo de medidas resulta más compleja y costosa, no se descarta la aplicación de NbS. En este contexto, se priorizan alternativas de carácter pasivo o de gestión adaptativa, que buscan reducir la presión sobre el sistema y favorecer procesos de recuperación natural. Entre estas opciones destacan:

- El cese de perturbaciones antrópicas como el sobrepastoreo o las quemas, que permiten la recuperación progresiva de la cubierta vegetal.
- La regeneración natural pasiva, dejando que la vegetación autóctona recolonice el terreno, con una intervención mínima y costes reducidos.

- La regeneración asistida mediante la introducción de especies herbáceas y arbustivas pioneras, capaces de estabilizar suelos desnudos y preparar el terreno para etapas sucesivas de sucesión ecológica.
- La promoción de prácticas de gestión sostenible en áreas forestales, como la reducción de cortas a matarrasa y la conservación de franjas de vegetación protectora, que amortiguan los procesos de escorrentía.

De esta manera, la pendiente no opera como un criterio de exclusión, sino como un factor que orienta hacia diferentes tipologías de NbS: las activas y biotécnicas en pendientes suaves y moderadas, y las pasivas o de gestión en pendientes acusadas, garantizando así la aplicabilidad del enfoque en todo el territorio cántabro (iSANA, 2022).

Este criterio metodológico también guarda relación directa con la selección de los casos de estudio. Las tres áreas identificadas (Valle del Besaya, Montaña de Liébana y Ladera con pendiente acusada afectada por incendios recurrentes) presentan condiciones que permiten ejemplificar cómo aplicar NbS en pendientes:

- En el Valle del Besaya, las laderas suaves ($<15^\circ$) permiten la implementación de mosaicos agroecológicos y setos vivos.
- En la Montaña de Liébana, aunque existen pendientes elevadas, se han identificado zonas de uso ganadero con pendientes medias ($<15^\circ$) donde es viable el pastoreo sostenible y revegetación controlada.
- Ladera con pendiente acusada afectada por incendios recurrentes, donde no son viables las NbS anteriores ya que la pendiente es superior a 15° por lo que se recomienda las alternativas de regeneración pasiva.

En síntesis, la adopción del criterio de pendiente $<15^\circ$ garantiza que las NbS seleccionadas sean técnica y ecológicamente viables, y refuerza la coherencia entre el árbol de decisión y los casos de estudio escogidos como ejemplos representativos en Cantabria.

Los criterios aplicados (pendiente, y grado de erosión) no solo responden a factores geomorfológicos, sino también a procesos hidrológicos clave, como la escorrentía superficial, la infiltración y el transporte de sedimentos.

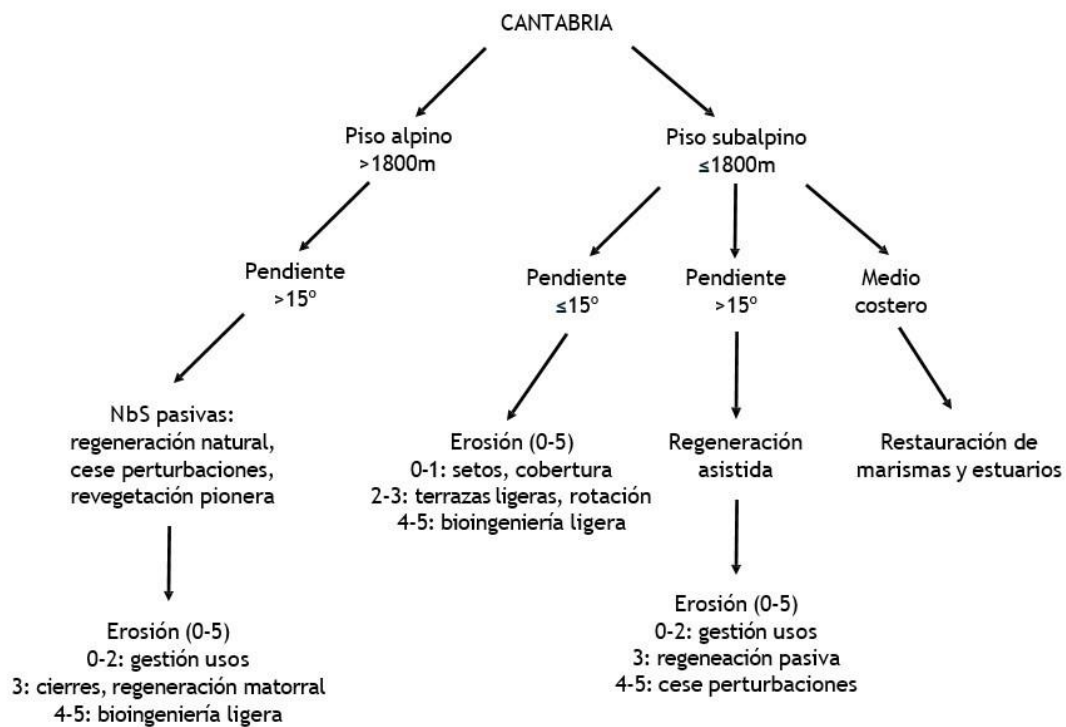


Figura 2 Árbol de decisión para la regulación de la erosión en Cantabria

4.2 Casos de estudio

Con el objetivo de ejemplificar de forma concreta la aplicación de Soluciones Basadas en la Naturaleza (NbS) frente a la erosión en Cantabria, se seleccionaron tres casos de estudio representativos de diferentes dinámicas erosivas y contextos territoriales: agrícola, ganadero de montaña y ocurrencia de incendios

La selección de NbS aplicables en cada caso se ha realizado a partir de las fichas del Catálogo de NbS y de las descripciones metodológicas del proyecto iSANA, que sistematizan prácticas validadas en diferentes ecosistemas españoles.

Caso 1: Valle medio del Besaya (Cartes–Torrelavega)

El valle del Besaya constituye un área agrícola intensiva en la que predominan los cultivos de maíz y praderío, sobre laderas de pendiente suave ($<15^\circ$). Los procesos de erosión son incipientes, principalmente en forma de pérdida de capa superficial del suelo debido al laboreo convencional y la escasa rotación de cultivos, así como, la ausencia de setos y la escasa diversificación del paisaje

NbS aplicables (iSANA – Catálogo de NbS):

- Implantación de setos vivos y franjas vegetales (NbS agrícola, categoría “prácticas de conservación del suelo”), que disminuyen la velocidad de escorrentía y retienen sedimentos.



Figura 3 Representación de setos vivos y franjas vegetales

- Cultivos de cobertura y siembra directa con mulching (NbS agrícola, “manejo sostenible del suelo”), que protegen la superficie del suelo en periodos de no cultivo.



Figura 4 Representación de manejo sostenible del suelo

- Restauración de franjas riparias (NbS fluvial, “infraestructuras verdes lineales”), que actúan como filtro natural frente a la pérdida de nutrientes y partículas hacia el río Besaya.



Figura 5 Representación de franjas riparias

Caso 2: Montaña de Liébana (Potes–Cabezón de Liébana)

Área de montaña sometida a presión ganadera intensa, con sobrepastoreo que provoca compactación del suelo, pérdida de vegetación herbácea y aparición de erosión moderada (grado 2–3). Los suelos poco profundos y la topografía irregular incrementan la vulnerabilidad del terreno.

NbS aplicables (iSANA – Catálogo de NbS):

- Pastoreo sostenible (NbS ganadera, “manejo adaptativo de pastizales”), ajustando la carga ganadera y rotando los pastos para evitar sobreutilización.



Figura 6 Representación de pastoreo sostenible

- Regeneración asistida de pastizales (NbS de restauración, “fomento de regeneración natural”), con cierres temporales de áreas degradadas.



Figura 7 Regeneración de pastizales

- Revegetación con especies pioneras (NbS forestal, “bioingeniería vegetal”), como gramíneas autóctonas resistentes, que estabilizan el suelo y favorecen la sucesión ecológica.

Caso 3: Ladera con pendiente acusada afectada por incendios recurrentes.

Se trata de una ladera con pendientes superiores al 15°, afectada de forma recurrente por incendios que han eliminado la cubierta vegetal, reducido la capacidad de infiltración y generados procesos de erosión severa (grados 4–5).

SbN aplicables: la medida prioritaria es la regeneración pasiva, basada en el cese de perturbaciones como el sobrepastoreo y las quemas, que permite la recuperación progresiva de la vegetación autóctona. Esta estrategia puede complementarse con la regeneración asistida mediante la introducción de especies pioneras (matorral autóctono, herbáceas de rápido crecimiento) que estabilicen los suelos desnudos y aceleren la sucesión ecológica hacia comunidades forestales más maduras. En casos críticos, se recomienda la instalación puntual de estructuras ligeras de bioingeniería para frenar la escorrentía inicial y facilitar la recuperación natural (iSANA, 2022).



Figura 8 Representación de ladera con pendiente pronunciada afectada por incendios frecuentes

La inclusión de este tercer caso refleja la necesidad de atender a contextos de pendientes acusadas y perturbaciones recurrentes, donde las NbS no se limitan a intervenciones activas de restauración, sino que integran estrategias pasivas y de gestión adaptativa. Al mismo tiempo, se reconoce que el medio costero es un escenario relevante para las NbS en Cantabria, aunque en este trabajo se contempla únicamente como criterio de decisión en el árbol metodológico y no como caso de estudio detallado.

5 Discusión

El análisis realizado pone de manifiesto el amplio abanico de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) aplicables al territorio de Cantabria, que responde a la diversidad de contextos fisiográficos, climáticos y de perturbación existentes en la región. Tal y como se refleja en las cajas finales del árbol de decisión, las SbN se organizan en función de la pendiente y del grado de erosión (clases 0–5), ofreciendo alternativas que abarcan desde medidas preventivas y de bajo impacto hasta estrategias de restauración integral en áreas muy degradadas. En suelos poco afectados (clases 0–1) y con pendientes suaves, destacan las prácticas agroecológicas como setos vivos, cultivos de cobertura, franjas riparias o mosaicos de usos, que mejoran la estructura del suelo y limitan la escorrentía. En contextos de erosión moderada (clases 2–3), las medidas se orientan hacia la conservación activa del suelo, incluyendo terrazas ligeras, rotación de cultivos o regeneración asistida de praderas. En escenarios de erosión severa (clases 4–5) y pendientes acusadas, las SbN priorizan estrategias pasivas y de gestión adaptativa, como el cese de perturbaciones (incendios, sobrepastoreo), la regeneración natural pasiva y, cuando es necesario, la incorporación de bioingeniería ligera (fajinas, diques vivos) o la revegetación con especies pioneras resistentes (iSANA, 2022; IHCantabria, 2025).

Dentro de este abanico, los casos de estudio seleccionados representan únicamente una muestra específica adaptada a tres contextos concretos —zonas agrícolas del Besaya, áreas ganaderas en Liébana y laderas de fuerte pendiente afectadas por incendios—. Estos ejemplos permiten ilustrar de manera detallada cómo las SbN pueden implementarse en situaciones reales, pero no agotan la totalidad de opciones disponibles para el conjunto del territorio cántabro.

El análisis de los casos de estudio seleccionados en Cantabria pone de manifiesto la amplia variedad de Soluciones Basadas en la Naturaleza (NbS) que pueden aplicarse para frenar la erosión. En función del tipo de ecosistema y del grado de erosión, se identifican tres grandes grupos de medidas:

NbS agrícolas, tales como setos vivos, franjas riparias y cultivos de cobertura, que permiten reducir la escorrentía y retener sedimentos en suelos cultivados. Estas soluciones están documentadas en el Catálogo de NbS de referencia del proyecto iSANA (iSANA, 2022) como prácticas efectivas en paisajes agrícolas del norte peninsular. En el caso del valle del Besaya, estas medidas son especialmente relevantes dado el predominio del maíz y el laboreo convencional en laderas suaves ($<15^\circ$), que favorecen la erosión laminar.

NbS ganaderas y de montaña, entre las que destacan el pastoreo sostenible, la regeneración asistida de pastizales y la revegetación con especies herbáceas pioneras. Estas prácticas han sido aplicadas en proyectos de restauración en los Pirineos (iSANA, 2022), donde se ha demostrado que la rotación de pastos y la reducción de la carga ganadera mitigan los efectos del sobrepastoreo y reducen la compactación del suelo. En la comarca de Liébana, estas dinámicas son comparables y hacen que dichas NbS sean idóneas.

NbS costeras y de humedales, como la restauración de marismas, la revegetación con especies halófilas autóctonas y la reconexión de canales naturales. Estas medidas han sido implementadas con éxito en proyectos como LIFE Anillo Verde de Vitoria-Gasteiz (Comisión Europea, 2016) y en la restauración de marismas en Doñana (Consejería de Medio Ambiente de Andalucía, 2018). En el caso de las marismas de Santoña, Victoria y Joyel, las mismas prácticas resultan aplicables para restaurar la conectividad hidrológica y recuperar la capacidad natural de retención de sedimentos.

El número de NbS identificadas en los tres casos de estudio refleja la diversidad de enfoques disponibles: tres medidas agrícolas, tres ganaderas y tres costeras, lo que muestra la posibilidad de construir un marco de gestión integrado para Cantabria. Todas ellas no solo actúan frente a la erosión, sino que generan co-beneficios ecosistémicos como la mejora de la biodiversidad, la regulación hídrica y la resiliencia frente a eventos extremos asociados al cambio climático (EEA, 2021).

En cuanto a su aplicación en otras regiones, la literatura y los proyectos revisados demuestran que estas NbS son ampliamente utilizadas en contextos comparables:

En Galicia y Asturias, la bioingeniería y la hidrosiembra en taludes han sido clave en proyectos de restauración asociados a infraestructuras lineales (Xunta de Galicia, 2019).

En los Pirineos, programas de pastoreo sostenible vinculados al Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC, MITECO, 2020) han mostrado resultados positivos en la regeneración de suelos de montaña.

En Andalucía, el proyecto de restauración de marismas de Doñana ha demostrado cómo las NbS pueden integrarse con objetivos de conservación de hábitats y control de erosión (Consejería de Medio Ambiente, 2018).

En Europa Central (Países Bajos y Alemania), la recuperación de riberas fluviales mediante vegetación autóctona y llanuras de inundación controladas se ha convertido en una estrategia prioritaria para controlar la erosión y gestionar el riesgo de inundaciones (European Commission, 2015).

En lo relativo a programas e incentivos, existen múltiples instrumentos que facilitan la implementación de NbS:

- El LIFE Programme de la Unión Europea ha financiado numerosos proyectos orientados a la restauración ecológica mediante SbN, varios de los cuales ofrecen aprendizajes extrapolables a Cantabria. Entre ellos, destacan el proyecto LIFE Anillo Verde de Vitoria-Gasteiz, centrado en la restauración de entornos periurbanos degradados y la creación de corredores verdes, y la restauración de marismas en Doñana, que ha permitido recuperar la funcionalidad hidrológica y los servicios ecosistémicos en humedales costeros (European Commission, 2016). Junto a estos, existen casos más cercanos a los ecosistemas continentales representativos de Cantabria. Por ejemplo, el proyecto LIFE+ Urogallo Cantábrico (2010–2016) aplicó medidas de restauración forestal y de reducción de la presión ganadera en

áreas de montaña con pendientes acusadas, promoviendo la regeneración natural del hábitat de alta montaña. Asimismo, el proyecto LIFE Montado-Adapt en Portugal y España ha trabajado en la gestión adaptativa de sistemas agroforestales (dehesas y montados), incorporando prácticas de regeneración de pastizales y control de la erosión del suelo que son extrapolables a los valles y laderas agrícolas cántabras. Estos ejemplos muestran que tanto en contextos atlánticos de montaña como en paisajes agrícolas continentales, las SbN han demostrado su eficacia como herramientas de restauración y adaptación al cambio climático.

- La Política Agraria Común (PAC, 2021–2027) incluye medidas agroambientales que incentivan la implantación de cultivos de cobertura, setos vivos y otras prácticas sostenibles en explotaciones agrarias (MAPA, 2022).
- Los Planes Hidrológicos de Demarcación incorporan actuaciones de restauración fluvial y humedales que pueden financiarse con fondos estatales y europeos (MITECO, 2022).
- La Estrategia Europea de Infraestructura Verde (2013) promueve la integración de soluciones naturales en la planificación territorial, con énfasis en la resiliencia frente al cambio climático.

En el caso de Cantabria, aunque todavía no existe un programa específico centrado en NbS para la erosión, las experiencias recogidas en iSANA y la alineación con los fondos europeos (PAC y LIFE) constituyen una base sólida para extender su implementación.

En síntesis, la discusión permite concluir que:

- El número y la diversidad de NbS seleccionadas (agrícolas, ganaderas y costeras) muestran que existe un abanico amplio de soluciones adaptables a las condiciones cántabras.
- Estas medidas ya han sido probadas en otras regiones de España y Europa, lo que garantiza su viabilidad técnica y social.

- Existen programas e incentivos financieros que permiten su aplicación en Cantabria, siempre que se integren en las políticas de desarrollo rural, gestión hídrica y conservación de ecosistemas.
- La aplicación de NbS debe entenderse como parte de una estrategia integral de gestión territorial, con efectos positivos no solo en el control de la erosión, sino en la mejora de la biodiversidad, la calidad del agua y la resiliencia climática.

Si bien muchas de las soluciones basadas en la naturaleza analizadas en este trabajo pueden implementarse de forma puntual en parcelas, laderas o tramos de ribera, es fundamental subrayar que su verdadera eficacia depende de su integración en una red planificada de actuaciones a escala territorial. En contextos como el de Cantabria, donde la erosión responde a procesos que actúan de manera interconectada —desde las zonas altas de montaña hasta los valles agrícolas y los cauces fluviales—, el impacto de las NbS no puede evaluarse únicamente a escala local. Medidas como la implantación de setos vivos, la regeneración pasiva de laderas incendiadas o la restauración de franjas riparias aportan beneficios directos en los lugares donde se aplican, pero adquieren un valor estratégico cuando se combinan entre sí y se coordinan en redes de infraestructura verde y azul que actúan de manera conjunta sobre toda la cuenca. Bajo esta perspectiva, cada intervención se convierte en un nodo que, sumado a otros, contribuye a amortiguar los procesos erosivos, a mejorar la conectividad ecológica y a mantener los servicios ecosistémicos. La planificación de NbS debe, por tanto, trascender el enfoque de actuaciones aisladas y avanzar hacia un modelo integrado y multiescalar, en el que la suma de soluciones locales esté diseñada para responder a los desafíos de la erosión y la degradación del suelo en el conjunto del territorio cántabro.

6 Conclusiones

El análisis realizado demuestra que las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) no solo constituyen una herramienta eficaz para frenar los procesos de erosión en el territorio cántabro, sino que además se insertan de manera directa en el marco conceptual y operativo de la Gestión Integrada de Sistemas Hídricos (GISH). La erosión no es únicamente un problema edáfico o ecológico, sino también un desafío hídrico, ya que la pérdida de suelo fértil incrementa la sedimentación en ríos y embalses, degrada la calidad del agua y compromete la provisión de servicios ecosistémicos esenciales, como la regulación hidrológica y la depuración natural.

El presente trabajo ha permitido identificar, analizar y contextualizar la aplicación de Soluciones Basadas en la Naturaleza (NbS) como estrategias efectivas para regular los procesos de erosión del suelo en Cantabria, en un contexto marcado por la complejidad biofísica del territorio, la presión de usos humanos y el escenario de cambio climático. La metodología aplicada —basada en el análisis del catálogo de SbN de iSANA (iSANA, 2022), la caracterización territorial desarrollada en el marco del asesoramiento técnico de IHCantabria (2025), y la estructuración de criterios a través de un árbol de decisión— permite vincular de manera sistemática los factores clave de la erosión (pendiente, orientación, perturbaciones y grado de degradación) con un abanico de soluciones adaptadas a cada situación.

En términos generales, las SbN identificadas muestran un gradiente de aplicación que va desde medidas preventivas y de bajo coste en zonas agrícolas de pendiente suave (e.g., setos vivos, franjas riparias, cultivos de cobertura), hasta estrategias adaptativas en áreas de montaña con sobrepastoreo (pastoreo rotacional, regeneración asistida de pastizales), y finalmente intervenciones pasivas y de gestión en laderas con pendiente acusada y afectadas por incendios recurrentes, donde la regeneración natural y el cese de perturbaciones se revelan como las soluciones más adecuadas. Este abanico asegura la aplicabilidad de las NbS a todo el territorio cántabro, integrando tanto las zonas agrícolas de valles interiores como las montañas y laderas más vulnerables.

Los casos de estudio seleccionados (valle agrícola del Besaya, áreas ganaderas en Liébana y ladera forestal degradada por incendios) ejemplifican de forma práctica esta diversidad de escenarios.

En el Valle medio del Besaya, la introducción de setos vivos, franjas vegetales y cultivos de cobertura representa una medida de bajo coste, alta eficacia y amplia replicabilidad. Estas prácticas son idóneas en un territorio caracterizado por suelos fértiles pero vulnerables a la intensificación agrícola y a la ausencia de rotaciones, factores que incrementan la erosión laminar. Las NbS propuestas no solo actúan sobre la protección del suelo, sino que también generan beneficios en términos de biodiversidad agrícola, conectividad ecológica y calidad de aguas superficiales.

Las NbS permiten reforzar la sostenibilidad de la producción agrícola mientras se reducen las pérdidas de suelo y nutrientes.

En la Montaña de Liébana, la presión del sobrepastoreo y la vulnerabilidad natural de los suelos de montaña encuentran una solución en el manejo sostenible de pastizales, la regeneración asistida y la revegetación con especies pioneras. Estas NbS son idóneas en un contexto donde la erosión no se manifiesta únicamente en la pérdida de suelo, sino también en la degradación de hábitats y en la disminución de la productividad ganadera. La aplicación de estas soluciones contribuye a un uso más racional de los recursos, mejora la resiliencia de los ecosistemas de montaña frente a sequías o lluvias extremas, y favorece la conservación de los servicios ecosistémicos vinculados a la regulación hídrica y al almacenamiento de carbono equilibrando la producción con la conservación de la cubierta vegetal.

En la Ladera con pendiente acusada afectada por incendios recurrentes, la regeneración pasiva muestra la capacidad de las SbN para actuar incluso en contextos extremos, donde las soluciones tradicionales de ingeniería serían más costosas y de mayor impacto ambiental.

Estas conclusiones cobran mayor relevancia en el contexto actual de cambio climático, que en Cantabria se traduce en un incremento de la irregularidad

pluviométrica, la frecuencia de lluvias intensas y la recurrencia de incendios forestales. Estas dinámicas amplifican la pérdida de suelo, comprometen la productividad agrícola y forestal, y afectan a la calidad de las aguas mediante la sedimentación en cauces fluviales y estuarios. Frente a este escenario, las SbN ofrecen resiliencia y multifuncionalidad, al combinar la reducción de la erosión con beneficios adicionales como la mejora de la biodiversidad, la regulación hídrica y la provisión de servicios culturales.

La comparación con programas europeos y nacionales confirma que Cantabria no parte de un vacío, sino que puede nutrirse de experiencias contrastadas. Proyectos como el LIFE Anillo Verde de Vitoria-Gasteiz o la restauración de marismas en Doñana evidencian la eficacia de las NbS en contextos urbanos y costeros, mientras que experiencias más próximas a los ecosistemas continentales cántabros, como el LIFE+ Urogallo Cantábrico o el LIFE Montado-Adapt, refuerzan la validez de medidas de regeneración forestal, restauración de pastizales y control del sobrepastoreo. Estos antecedentes proporcionan un respaldo empírico y metodológico que avala la transferibilidad de las NbS al territorio cántabro.

En definitiva, el trabajo demuestra que la aplicación de NbS en Cantabria no solo es factible, sino necesaria. La integración de criterios biofísicos en un árbol de decisión permite orientar de forma clara las intervenciones, mientras que los casos de estudio ofrecen ejemplos concretos de cómo llevarlas a la práctica. La complementariedad entre medidas preventivas, adaptativas y pasivas garantiza un enfoque flexible y replicable en distintos escenarios. Bajo las previsiones de futuro, con un clima cada vez más variable y con perturbaciones más frecuentes, las NbS se consolidan como una herramienta estratégica para la gestión sostenible de los suelos y de los recursos hídricos en Cantabria, contribuyendo a la seguridad ecológica y al bienestar socioeconómico de la región.

Desde una perspectiva transversal, la aplicación de NbS en Cantabria es altamente idónea porque:

- Se trata de soluciones flexibles, adaptables y con bajo impacto negativo, lo que las hace compatibles con la matriz socioeconómica regional, basada en agricultura, ganadería y turismo.
- Presentan co-beneficios claros para los servicios ecosistémicos: regulación hídrica, mejora de la biodiversidad, captura de carbono, regulación climática y provisión de recursos para la población local.

En el escenario actual de cambio climático, los servicios ecosistémicos reguladores como la protección frente a la erosión, la retención de agua y nutrientes, la regulación climática local y la resiliencia frente a perturbaciones son cada vez más críticos. Las NbS seleccionadas en este trabajo muestran una clara capacidad de reforzar estos servicios en contextos vulnerables, alineándose con las prioridades de adaptación al cambio climático establecidas en el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC, 2021–2030) y con los objetivos europeos de la Estrategia de Biodiversidad 2030.

De cara al futuro, las previsiones apuntan a que Cantabria experimentará un aumento de la presión sobre los ecosistemas debido tanto al cambio climático como a factores socioeconómicos (expansión de plantaciones forestales, intensificación agrícola, presión turística en zonas costeras). Frente a este escenario, la integración de NbS en las políticas de ordenación territorial y de gestión hídrica se revela como una estrategia no solo recomendable, sino imprescindible.

En conclusión, la aplicación de NbS en Cantabria es idónea, viable y urgente. Los casos de estudio analizados demuestran que estas soluciones pueden adaptarse a las condiciones locales, generando múltiples beneficios más allá del control de la erosión. Su implementación a gran escala permitirá reforzar los servicios ecosistémicos, aumentar la resiliencia del territorio frente al cambio climático y garantizar un equilibrio sostenible entre la conservación de la naturaleza y las necesidades de las comunidades rurales y costeras de la región.

7 Limitaciones del estudio

A pesar de la idoneidad de las NbS analizadas en los casos de estudio, es necesario reconocer una serie de limitaciones que condicionan tanto la interpretación de los resultados como la viabilidad de su implementación a gran escala en Cantabria.

- **Limitaciones metodológicas**

En primer lugar, este trabajo se ha basado en la información procedente del Catálogo de NbS del MITECO (2022) y del proyecto iSANA (iSANA, 2022), así como en referencias científicas y técnicas secundarias. Si bien estas fuentes ofrecen un marco sólido y validado, la ausencia de datos empíricos locales específicos para Cantabria supone una limitación. La cuantificación directa de tasas de erosión, la evaluación de la eficacia de NbS en campo o el análisis económico comparado de costes y beneficios no se han abordado en detalle, lo que restringe la capacidad de extrapolación de los resultados.

- **Limitaciones espaciales**

Los tres casos de estudio seleccionados ilustran realidades representativas de la región (valles agrícolas, zonas ganaderas y áreas afectadas por incendios). Sin embargo, Cantabria presenta una diversidad territorial mucho mayor, con sistemas forestales intensivos (eucaliptales), áreas urbanas en expansión y zonas de infraestructuras lineales (carreteras, ferrocarriles) que también generan erosión. La focalización en tres áreas concretas deja fuera parte de esta complejidad territorial.

- **Limitaciones técnicas y de implementación**

Cada caso de estudio conlleva limitaciones técnicas propias:

- En el Valle del Besaya, las NbS agrícolas como setos vivos o cultivos de cobertura dependen de la aceptación y compromiso de los agricultores, lo que puede verse condicionado por factores económicos, disponibilidad de incentivos y barreras culturales.

- En la Montaña de Liébana, la regeneración de pastizales y la implantación de pastoreo sostenible requieren una gestión comunitaria de los usos ganaderos y un cambio en prácticas tradicionales de difícil adaptación inmediata.
- En el caso de las laderas con pendiente acusada afectadas por incendios recurrentes, las limitaciones técnicas y de implementación se relacionan principalmente con la fuerte inclinación del terreno y la recurrencia de perturbaciones. La elevada pendiente dificulta la estabilización inmediata de la cubierta vegetal y aumenta el riesgo de arrastres y escorrentía superficial tras episodios de lluvia intensa. A ello se suma que los incendios frecuentes reducen la capacidad de regeneración natural del suelo, generando un círculo de degradación difícil de revertir en el corto plazo. Estas condiciones hacen que las NbS activas, como plantaciones o bioingeniería pesada, presenten una viabilidad limitada, obligando a priorizar estrategias pasivas de bajo impacto como el cese de perturbaciones (control de quemas y sobrepastoreo) y la regeneración natural asistida. Sin embargo, incluso estas medidas requieren un seguimiento prolongado y la implicación de las comunidades locales para evitar la repetición de perturbaciones, lo que representa un reto adicional para su éxito a medio y largo plazo (iSANA, 2022).

Finalmente, debe subrayarse que las limitaciones descritas no invalidan la aplicabilidad de las Soluciones Basadas en la Naturaleza en Cantabria, sino que ponen de manifiesto la necesidad de avanzar en trabajos complementarios a futuro. Será necesario reforzar el conocimiento sobre la dinámica de la erosión a escala local, evaluar de forma más sistemática la efectividad de las NbS en distintos escenarios biofísicos y sociales, e integrar estos aprendizajes en instrumentos de planificación territorial y de gestión forestal y agrícola. Asimismo, aunque este trabajo se ha centrado en ecosistemas continentales, resulta imprescindible extender el análisis hacia las zonas urbanas y costeras, donde también existen problemáticas asociadas a la erosión, la impermeabilización del suelo y la pérdida de conectividad ecológica. En estos ámbitos, las NbS pueden

incluir desde la renaturalización de riberas urbanas y la creación de infraestructura verde hasta la restauración de marismas y estuarios, medidas que complementan las estrategias aplicadas en los valles agrícolas, áreas ganaderas y laderas forestales. De esta manera, el presente trabajo debe entenderse como un primer paso metodológico, que ha de ser continuado mediante proyectos piloto, seguimiento a largo plazo y la integración de la participación social e institucional, garantizando así la viabilidad y sostenibilidad de las SbN en el conjunto del territorio cántabro (iSANA, 2022; IHCantabria, 2025).

- **Limitaciones en el contexto del cambio climático**

El escenario de cambio climático introduce incertidumbres adicionales. Aunque las NbS seleccionadas son idóneas para mejorar la resiliencia frente a precipitaciones extremas o la subida del nivel del mar, la magnitud de estos impactos puede superar la capacidad de respuesta de las soluciones naturales si no se combinan con medidas estructurales. Por ejemplo, la revegetación halófila en marismas puede ser insuficiente si la subida del nivel del mar supera la capacidad de adaptación del ecosistema.

- **Limitaciones en políticas y financiación**

Finalmente, aunque existen programas como la PAC (Política Agraria Común, 2021–2027) y el LIFE Programme (UE) que apoyan la implementación de NbS, su aplicación práctica en Cantabria está condicionada por la competencia entre usos del suelo, la fragmentación administrativa y la falta de planes específicos regionales centrados en NbS. La ausencia de un marco institucional fuerte puede dificultar la transición de proyectos piloto a políticas integradas de gestión territorial.

En síntesis, las limitaciones del estudio se derivan principalmente de la falta de datos locales empíricos, y de las dificultades inherentes a la implementación de NbS en contextos socioeconómicos y climáticos complejos. Reconocer estas limitaciones no reduce la relevancia de las conclusiones, sino que subraya la

necesidad de avanzar en la investigación aplicada, la participación local y el diseño de políticas integradas que garanticen la efectividad de las NbS en Cantabria.

7.1 Recomendaciones a futuro

El análisis de las limitaciones descritas pone de relieve la necesidad de reforzar el marco institucional y operativo para la implementación de NbS en Cantabria. Aunque la región no dispone aún de un plan específico autonómico de NbS, existen avances significativos que deben consolidarse.

En primer lugar, destaca el anuncio de que Cantabria contará con su propia Estrategia de Infraestructura Verde en un plazo de tres años, presentada por el Gobierno regional en 2022 (Cadena SER, 2022). Esta iniciativa constituye una oportunidad única para integrar de forma explícita las NbS en la planificación territorial. La recomendación es que dicha estrategia se convierta en un instrumento vinculante que asegure la conservación de suelos, la conectividad ecológica y la restauración de ecosistemas como medida frente a la erosión y el cambio climático.

Asimismo, el Plan Regional de Ordenación Territorial (PROT), que todavía no está aprobado contemplaría la infraestructura verde como elemento de protección y ordenación territorial. A futuro, debe traducirse en directrices claras que fomenten NbS en proyectos agrícolas, forestales, urbanos y costeros, garantizando la integración de la protección del suelo y los servicios ecosistémicos en la normativa autonómica.

Los Planes especiales de paisaje y medio rural vigentes en la región ofrecen un marco adicional, aunque hasta ahora se han centrado principalmente en cláusulas genéricas de protección (Gobierno de Cantabria, 2020). El reto consiste en que evolucionen para incorporar medidas NbS explícitas, tales como setos vivos, franjas riparias, regeneración de pastizales o restauración de humedales.

A nivel local, instrumentos como la Carta de Santander (RECS, 2021), firmada por el Ayuntamiento de Santander, ponen de relieve el compromiso municipal con la

biodiversidad y la infraestructura verde, incluyendo la implementación de NbS. Este tipo de compromisos deben extenderse a otros ayuntamientos de Cantabria para generar un marco multinivel de gobernanza.

En materia de incentivos económicos, la Política Agraria Común (PAC 2021–2027) incluye medidas agroambientales que recompensan prácticas como los cultivos de cobertura o la implantación de setos vivos (MAPA, 2022). Además, el Programa LIFE de la Unión Europea ha financiado proyectos relevantes como el LIFE Anillo Verde de Vitoria-Gasteiz o la restauración de marismas en Doñana, ambos extrapolables al contexto cántabro (European Commission, 2016). Aprovechar estas fuentes de financiación, junto con programas autonómicos, será clave para superar las limitaciones técnicas y económicas identificadas.

Finalmente, se recomienda la generación de conocimiento local mediante proyectos de investigación aplicada que evalúen en Cantabria la eficacia de las NbS en la reducción de la erosión, la mejora de los servicios ecosistémicos y los beneficios socioeconómicos. Esto permitirá adaptar las soluciones al contexto regional y reducir la dependencia de datos extrapolados de otras regiones (EEA, 2021).

En síntesis, las recomendaciones a futuro pasan por consolidar las iniciativas ya en marcha (Estrategia de Infraestructura Verde, PROT, Carta de Santander), alinearlas con las oportunidades de financiación europea y reforzarlas con programas regionales específicos de NbS. Solo así será posible pasar de experiencias piloto a una política integral cántabra de NbS, capaz de proteger los suelos, fortalecer los ecosistemas y garantizar la resiliencia del territorio frente a los escenarios futuros de cambio climático.

8 Posibilidades de mejora

La implementación de Soluciones Basadas en la Naturaleza (NbS) en Cantabria, aunque idónea y respaldada por experiencias nacionales e internacionales, presenta margen para mejoras significativas que pueden potenciar su efectividad y asegurar su integración en la gestión territorial.

8.1 Mejora en la planificación y diseño de las NbS

La mejora en la planificación y diseño de las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) en Cantabria requiere superar las limitaciones de las intervenciones puntuales y fragmentadas. Si bien las actuaciones locales —como setos vivos en parcelas agrícolas, regeneración pasiva en laderas o franjas riparias en márgenes fluviales— pueden aportar beneficios inmediatos en términos de control de la erosión, estas medidas aisladas no son suficientes para abordar el problema a gran escala. Los procesos erosivos y la dinámica hidrológica trascienden los límites de parcelas o cuencas menores, lo que exige una planificación integrada a nivel regional.

En este sentido, es imprescindible avanzar hacia un enfoque territorial coordinado que contemple la conectividad ecológica y funcional entre diferentes ecosistemas (agrícolas, forestales, de montaña y fluviales), asegurando que las SbN actúen de forma complementaria y sinérgica. De aquí surge la necesidad de consolidar el concepto de Redes de Infraestructura Verde y Azul, que articula corredores, mosaicos agroecológicos y áreas de restauración como un entramado funcional para la protección del suelo, la regulación hídrica y la conservación de los servicios ecosistémicos. Solo desde esta perspectiva holística se logrará que las SbN tengan un impacto duradero y transformador sobre la erosión y la resiliencia climática en Cantabria (iSANA, 2022; IHCantabria, 2025).

En España, este enfoque ya se está impulsando a través de la Estrategia Estatal de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas (MITECO, 2021), que establece un marco de acción para integrar SbN a nivel regional y nacional. A escala europea, destacan ejemplos como el proyecto LIFE Green

Infrastructure for the Alpine Region (LIFE GIALP), que ha promovido la conexión ecológica en paisajes de montaña mediante corredores verdes, o el LIFE Blue Natura, centrado en la restauración de ecosistemas costeros y marinos como parte de una red azul de absorción de carbono y regulación hídrica. Estos proyectos demuestran que, cuando las SbN se implementan como parte de redes territoriales integradas, sus beneficios se amplifican, favoreciendo tanto la adaptación al cambio climático como la protección de los recursos hídricos y del suelo.

8.2 Participación de actores locales

El éxito de las NbS depende en gran medida de la implicación de agricultores, ganaderos, comunidades locales y administraciones municipales. Una posible mejora consiste en implementar mecanismos de gobernanza participativa que permitan a los actores locales co-diseñar las soluciones, favoreciendo la apropiación social de las medidas. Talleres comunitarios, acuerdos de custodia del territorio y plataformas de colaboración público-privada pueden incrementar la aceptación y sostenibilidad de las intervenciones.

8.3 Fortalecimiento de incentivos económicos

Aunque existen programas europeos (PAC, LIFE) y nacionales (Planes Hidrológicos de Demarcación, PNACC) que pueden financiar NbS, es necesario reforzar la financiación autonómica específica en Cantabria. La creación de líneas de ayudas regionales para agricultores y ganaderos que adopten prácticas NbS, así como la inclusión de bonificaciones fiscales para proyectos de restauración, podrían mejorar su adopción. Además, se recomienda explorar mecanismos de pago por servicios ecosistémicos (PSE) que remuneren a quienes mantienen coberturas vegetales, restauran pastizales o preservan humedales.

8.4 Innovación y monitoreo científico

Actualmente, muchas NbS en Cantabria se basan en experiencias extrapoladas de otras regiones. Una mejora clave sería la creación de redes de monitorización locales que midan con precisión la eficacia de las NbS frente a la erosión, la regulación hídrica y la provisión de servicios ecosistémicos. Asimismo, es importante promover la innovación tecnológica, como el uso de teledetección (Copernicus, satélites Sentinel) y sensores en campo para evaluar en una escala amplia y a largo plazo el impacto de las soluciones implementadas.

8.5 Integración en políticas sectoriales

Las NbS no deben limitarse a proyectos piloto, sino integrarse transversalmente en las políticas de ordenación territorial, desarrollo rural, turismo sostenible y lucha contra el cambio climático. Por ejemplo:

Incorporarlas en el PROT y los planes urbanísticos para limitar la expansión urbana sobre suelos frágiles.

Integrarlas en los planes forestales regionales, priorizando la restauración con especies autóctonas frente a la expansión de plantaciones intensivas.

Promoverlas dentro de los planes de turismo sostenible, aprovechando la restauración de paisajes como un activo económico y cultural.

8.6 Adaptación al cambio climático

Finalmente, las NbS deben diseñarse considerando escenarios climáticos futuros. Esto implica prever la intensificación de lluvias extremas, el aumento de periodos de sequía y la subida del nivel del mar en la costa cantábrica. Las NbS propuestas en los casos de estudio (Besaya, Liébana y Santoña) son altamente relevantes en este contexto, pero su efectividad se incrementará si se acompañan de medidas de gestión adaptativa y de planes de contingencia que combinen soluciones naturales y de ingeniería en áreas críticas.

9 Bibliografía

- Cadena SER. (2022, 9 de junio). Cantabria tendrá en 3 años su propia Estrategia de Infraestructura Verde. Cadena SER. <https://cadenaser.com>
- Comisión Europea. (2013). Green Infrastructure Strategy. Publications Office of the European Union.
- Comisión Europea. (2016). LIFE Programme projects database. European Commission. <https://ec.europa.eu/life>
- Consejería de Medio Ambiente de Andalucía. (2018). Restauración de marismas en Doñana. Junta de Andalucía.
- European Commission. (2016). The LIFE Programme and projects database.
- European Commission – LIFE Programme (LIFE GIALP, LIFE Blue Natura).
- European Environment Agency (EEA). (2021). Nature-based solutions in Europe: Policy, knowledge and practice for climate change adaptation and disaster risk reduction. Publications Office of the European Union. <https://www.eea.europa.eu>
- Gobierno de Cantabria. (2020). Planes Especiales de Ordenación Territorial. Consejería de Obras Públicas, Ordenación del Territorio y Urbanismo.
- Gobierno de Cantabria. (2021). Documento Inicial Estratégico del PROT (Plan Regional de Ordenación Territorial). Consejería de Obras Públicas, Ordenación del Territorio y Urbanismo.
- IH, Cantabria. (2025). Asesoramiento técnico para la definición de la infraestructura verde regional. Datos propios.
- i-SANA. Desarrollo de la estrategia de investigación y transferencia en Soluciones BASadas en la NATuraleza de IHCantabria. Gobierno de Cantabria, Programa Fénix.
- LIFE+ Urogallo Cantábrico (2010–2016). Fundación Biodiversidad – Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- LIFE Montado-Adapt (2016–2021). Sustainable management of Montado and Dehesa for climate change adaptation.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). (2022). Aplicación de la PAC 2021–2027. Gobierno de España. <https://www.mapa.gob.es>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (2020). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021–2030 (PNACC). Gobierno de España.

- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (2022a). Planes Hidrológicos de Demarcación 2022–2027. Gobierno de España.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (2022b). Catálogo de Soluciones Basadas en la Naturaleza para la gestión ambiental en España. Gobierno de España.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (2022c). Proyecto iSANA: Identificación y Sistematización de Actuaciones con la Naturaleza para la Adaptación. Gobierno de España.
- MITECO. (2021). Estrategia Estatal de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas.
- MITECO. (2021). Estrategia Estatal de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas.
- Nesshöver, C., Assmuth, T., Irvine, K. N., Rusch, G. M., Waylen, K. A., Delbaere, B., Haase, D., Jones-Walters, L., Keune, H., Kovacs, E., Krauze, K., Külvik, M., Rey, F., van Dijk, J., Vistad, O. I., Wilkinson, M. E., & Wittmer, H. (2017). The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective. *Science of the Total Environment*, 579, 1215–1227. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.106>
- Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., & Alewell, C. (2015). The effect of cover crops on erosion control in European agricultural landscapes. *Land Use Policy*, 48, 38–50. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837715001611?via%3Dihub>
- Pérez Silos, I. (2022). Hacia una gestión dinámica e integral del paisaje en cuencas de montaña: definición de una estrategia adaptativa a los retos derivados del cambio global.
- Red Española de Ciudades Saludables (RECS). (2021). Carta de Santander: Un compromiso con la infraestructura verde y la biodiversidad. RECS. <https://recs.es>
- Xunta de Galicia. (2019). Guía de restauración de taludes con bioingeniería. Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda.