

# E 3.2.1. Aplicación de diagnóstico forestal basada en Google Earth Engine

## MANUAL DE USUARIO

**Interreg  
Sudoe**



**Co-funded by  
the European Union**

---

# SocialForest

Número del entregable	E 3.2.1
Título del entregable	Aplicación de diagnóstico forestal basada en Google Earth Engine
Grupo de Tareas /Número de Tarea	GT3 Sostenibilidad de la Gestión Forestal
Socio principal	Universidad Politécnica de València. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente
Fecha de entrega	03/06/2026
Autor(es)	Laura Arnal Roig, Antonio Dámaso del Campo García
Última modificación (y por quien)	03/06/2026. Laura Arnal Roig.
Sugerencia de citación:	Arnal-Roig, L. & del Campo, A.D. (2026). E 3.2.1. Aplicación de diagnóstico forestal basada en Google Earth Engine [Manual de usuario]. Universitat Politècnica de València, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Proyecto SocialForest: Lucha integral contra el impacto del cambio climático en áreas forestales del espacio SUDOE (Código: S1/2.4/E0079).



**UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA**

## Índice

1.	Introducción .....	1
1.1.	Alcance funcional de la aplicación.....	1
1.2.	Cobertura geográfica .....	1
1.3.	Idiomas disponibles.....	2
2.	Distribución de especies forestales.....	2
2.1.	Metodología.....	2
2.2.	Autoría y propiedad.....	3
2.3.	Bosques tipo disponibles.....	3
3.	Fuentes de datos .....	4
3.1.	Índices de vegetación.....	4
3.2.	Modelo Digital de Elevación.....	4
3.3.	Cobertura del suelo: CORINE Land Cover 2018.....	5
4.	Diseño de la aplicación.....	5
4.1.	Panel de configuración.....	5
4.2.	Panel del visor cartográfico.....	14
4.3.	Panel de resultados.....	17
5.	Metodología.....	19
5.1.	Ámbito temporal .....	19
5.2.	Media anual de primavera y línea de base .....	20
5.3.	Desviación respecto a la mediana móvil.....	20
5.4.	Identificación del decaimiento y severidad actual.....	20
5.5.	Clasificación de las opciones de adaptación.....	21
6.	Flujo de trabajo.....	22
7.	Referencias y créditos .....	23
7.1.	Proyecto.....	23
7.2.	Desarrollo de la aplicación.....	23
7.3.	Autores de los mapas forestales .....	23
7.4.	Fuentes de datos.....	24

## Índice de figuras

Figura 1. Interfaz de la aplicación. ....	5
Figura 2. Panel de configuración. ....	6
Figura 3. Ubicación del selector de idiomas.....	7
Figura 4. Encabezado, información del proyecto y contacto.....	7
Figura 5. Panel de instrucciones. ....	8
Figura 6. Configuración del área de interés.....	9
Figura 7. Ejemplo de resultados de la configuración del área de interés.....	9
Figura 8. Capas a visualizar.....	10
Figura 9. Resultado de activar las capas auxiliares en el panel del visor cartográfico.....	10
Figura 10. Selección del índice de vegetación.....	11
Figura 11. Ejemplo del resultado del cálculo de las opciones de adaptación.....	11
Figura 12. Ejemplo del resultado del zonas con decaimiento actual y su severidad.....	12
Figura 13. Parámetros expertos por defecto. ....	13
Figura 14. Panel del visor cartográfico por defecto.....	14
Figura 15. Capas del panel del visor cartográfico.....	15
Figura 16. Selección de un punto sobre el visor cartográfico.....	16
Figura 17. Panel de resultados al iniciar la aplicación.....	18
Figura 18. Panel de resultados al seleccionar un punto sobre el visor cartográfico.....	18
Figura 19. Gráfico de la serie temporal abierto en una ventana nueva.....	19

## Índice de tablas

Tabla 1. Ámbito geográfico.....	2
Tabla 2. Autores de los mapas de distribución de especies. ....	3
Tabla 3. Mapas de distribución de especies disponibles.....	3
Tabla 4. Índices de vegetación.....	4
Tabla 5. Información reflejada en el panel de resultados.....	17
Tabla 6. Clases de severidad del decaimiento. ....	21



Tabla 7. Fuentes de información empleadas para el desarrollo de la aplicación..... 24

## 1. Introducción

La aplicación con título «SocialForest: Opciones de Adaptación al Cambio Climático» es una herramienta web de apoyo a la toma de decisiones desarrollada en el marco del proyecto SocialForest (S1/2.4/E0079), financiado por el programa Interreg Sudoe 2021-2027 a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). La aplicación se ejecuta íntegramente sobre Google Earth Engine (GEE) y no requiere ningún software local más allá de un navegador web. Está coordinada por el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universitat Politècnica de València (UPV) y tiene como finalidad apoyar la Estrategia Forestal Transnacional para la región SUDOE del proyecto SocialForest.

Enlace a la aplicación: <https://ee-socialforest.projects.earthengine.app/view/climate-change-adaptation-options>

### 1.1. Alcance funcional de la aplicación

La aplicación «SocialForest: Opciones de Adaptación al Cambio Climático» permite:

- Clasificar en las tres opciones de adaptación contempladas en la «Realización 1.1. Estrategia forestal transnacional para aumentar la resiliencia frente al cambio climático» del proyecto SocialForest (resistencia, resiliencia y transición) los terrenos forestales cuya especie principal sea:
  - Alcornoque (*Quercus suber*).
  - Encina (*Q. ilex*)
  - Pino carrasco (*Pinus halepensis*).
  - Pino marítimo (*P. pinaster*).
  - *Juniperus* spp.
- Identificar y cartografiar procesos de decaimiento forestal y evaluar su severidad en los terrenos forestales previamente mencionados.
- Explorar series temporales de índices de vegetación a nivel de píxel.
- Integrar información topográfica y datos de cobertura del suelo procedentes de CORINE Land Cover 2018.

### 1.2. Cobertura geográfica

La aplicación cubre el ámbito geográfico del espacio SUDOE, incluyendo regiones NUTS 2 de España, Francia, Portugal y Andorra.

Tabla 1. Ámbito geográfico.

País	Regiones NUTS 2 disponibles
España	Andalucía, Aragón, Cantabria, Castilla-La Mancha, Castilla y León, Cataluña, Ceuta, Melilla, Comunidad de Madrid, Comunidad Foral de Navarra, Comunitat Valenciana, Extremadura, Galicia, Illes Balears, La Rioja, País Vasco, Principado de Asturias, Región de Murcia.
Francia	Aquitaine, Auvergne, Languedoc-Roussillon, Limousin, Midi-Pyrénées, Poitou-Charentes.
Portugal	Alentejo, Algarve, Área Metropolitana de Lisboa, Centro (PT), Norte.
Andorra	Andorra.

### 1.3. Idiomas disponibles

La interfaz está disponible en español, inglés, portugués y francés. Todas las etiquetas, leyendas y textos se adaptan automáticamente al cambiar el idioma.

## 2. Distribución de especies forestales

Los polígonos de distribución que delimitan las áreas de análisis fueron generados por el grupo Khaos Research del Instituto de Tecnología e Ingeniería del Software de la Universidad de Málaga (UMA), por encargo de la UPV en el marco del proyecto SocialForest.

### 2.1. Metodología

Los mapas de distribución de especies se generaron mediante el algoritmo Random Forest, a partir de imágenes multiespectrales Sentinel-2 de 10 m de resolución espacial. Se emplearon 130 teselas correspondientes a los meses de marzo, julio y noviembre de 2021, incorporando las bandas 1 a 13, las variables WPV y AOT, así como diversos índices espectrales, entre ellos NDVI, EVI2, MSI y NDWI.

Además, se integró el **Modelo Digital de Elevaciones ASTER** de 25 m, reescalado a 10 m, junto con variables derivadas como la pendiente y la orientación. En total, se utilizaron 61 capas ráster y aproximadamente 2.500 imágenes de satélite.

Los datos de entrenamiento proceden del **Mapa Forestal Español (MFE)** e incluyen más de 12.000 muestras verificadas visualmente. La validación se realizó empleando el 20 % de las muestras como conjunto independiente. La precisión obtenida superó, en general, el 75-80 %, salvo en algunos casos individuales.

### Referencia metodológica

Burgueño, A.M., Aldana-Martín, J.F., Vázquez-Pendón, M. et al. Scalable approach for high-resolution land cover: a case study in the Mediterranean Basin. *J Big Data* 10, 91 (2023). <https://doi.org/10.1186/s40537-023-00770-z>

## 2.2. Autoría y propiedad

Los mapas son propiedad de la UMA, cedidos a la UPV para el proyecto SocialForest (S1/2.4/E0079). Las publicaciones derivadas deben citar el origen y considerar la coautoría cuando la contribución de los mapas sea esencial.

Tabla 2. Autores de los mapas de distribución de especies.

Autores del mapa forestal	Institución
Virginia García Millán	Khaos Research - Universidad de Málaga
Antonio Manuel Burgueño Romero	Khaos Research - Universidad de Málaga
José Francisco Aldana Montes	Khaos Research - Universidad de Málaga

## 2.3. Bosques tipo disponibles

Los bosques tipo disponibles en la aplicación responden a los **bosques tipo objetivo** definidos en la Estrategia Forestal Transnacional desarrollada en el marco del proyecto SocialForest. Estos bosques tipo son:

- E7.3 Dehesa.
- G3.71 Bosques de *Pinus pinaster ssp. atlantica*.
- G3.74 Pinares de *Pinus halepensis*.
- G3.921 Bosques de *Juniperus* de la Península Ibérica.

Para el desarrollo de la aplicación se seleccionó la distribución espacial de las especies o formaciones principales asociadas a dichos bosques tipo, diferenciando entre bosque denso y bosque abierto en función de la fracción de cabida cubierta (FCC):

Tabla 3. Mapas de distribución de especies disponibles.

Estructura	Tipos de formación
Bosque denso (FCC > 50%)	Alcornocales ( <i>Q. suber</i> ), Encinares ( <i>Q. ilex</i> ), Pinar <i>P. halepensis</i> , Pinar <i>P. pinaster</i>

Estructura	Tipos de formación
Bosque abierto (FCC $\leq$ 50%)	Alcornocales ( <i>Q. suber</i> ), <i>Juniperus</i> spp., Encinares ( <i>Q. ilex</i> ), Pinar <i>P. halepensis</i> , Pinar <i>P. pinaster</i>

### 3. Fuentes de datos

#### 3.1. Índices de vegetación

La aplicación utiliza tres índices de vegetación derivados de los productos Landsat Collection 2, Tier 1, Level 2, 8-Day Composites, disponibles en Google Earth Engine, cortesía del U.S. Geological Survey (USGS). Estos compuestos se generan a partir de escenas ortorrectificadas Landsat Collection 2, Tier 1, Level 2.

La aplicación trabaja exclusivamente con los compuestos de primavera, correspondientes a los meses de **marzo, abril y mayo**, con el fin de caracterizar el estado de la vegetación durante el periodo de mayor actividad vegetativa en gran parte del ámbito mediterráneo y sudoeuropeo.

Tabla 4. Índices de vegetación.

Índice	Enlace al producto
NBR <i>Normalized Burn Ratio</i>	<a href="https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT_COMPOSITES_C02_T1_L2_8DAY_NBR?hl=es-419">https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT_COMPOSITES_C02_T1_L2_8DAY_NBR?hl=es-419</a>
NDVI <i>Normalized Difference Vegetation Index</i>	<a href="https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT_COMPOSITES_C02_T1_L2_8DAY_NDVI?hl=es-419">https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT_COMPOSITES_C02_T1_L2_8DAY_NDVI?hl=es-419</a>
EVI <i>Enhanced Vegetation Index</i>	<a href="https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT_COMPOSITES_C02_T1_L2_8DAY_EVI?hl=es-419">https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT_COMPOSITES_C02_T1_L2_8DAY_EVI?hl=es-419</a>

#### 3.2. Modelo Digital de Elevación

La aplicación incorpora información topográfica procedente del producto **NASADEM: NASA 30 m Digital Elevation Model** (NASA JPL, 2020), disponible en Google Earth Engine mediante la colección NASA/NASADEM\_HGT/001.

En la aplicación, este modelo digital de elevaciones se utiliza para integrar el contexto topográfico del terreno, principalmente mediante variables derivadas como la altitud, la

pendiente y la orientación. Estas variables permiten caracterizar mejor las condiciones físicas de cada píxel y apoyar la interpretación de los procesos de decaimiento forestal y de las opciones de adaptación al cambio climático.

### 3.3. Cobertura del suelo: CORINE Land Cover 2018

CORINE Land Cover 2018 (COPERNICUS/CORINE/V20/100m) es un inventario europeo de cobertura y uso del suelo coordinado por la **Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA/EEA)** en el marco del programa Copernicus.

En la aplicación se utiliza la edición CLC2018, con una resolución espacial de **100 m** y un periodo de referencia correspondiente a **2017-2018**. Esta capa se emplea únicamente como **contexto interpretativo** para caracterizar el entorno del píxel seleccionado y **no interviene en el cálculo de las opciones de adaptación**.

## 4. Diseño de la aplicación

La aplicación se estructura en tres áreas horizontales:

1. Panel izquierdo que se corresponde con la configuración.
2. Panel central expansible para el mapa interactivo con capas, resultados y leyendas.
3. Panel derecho para los resultados.

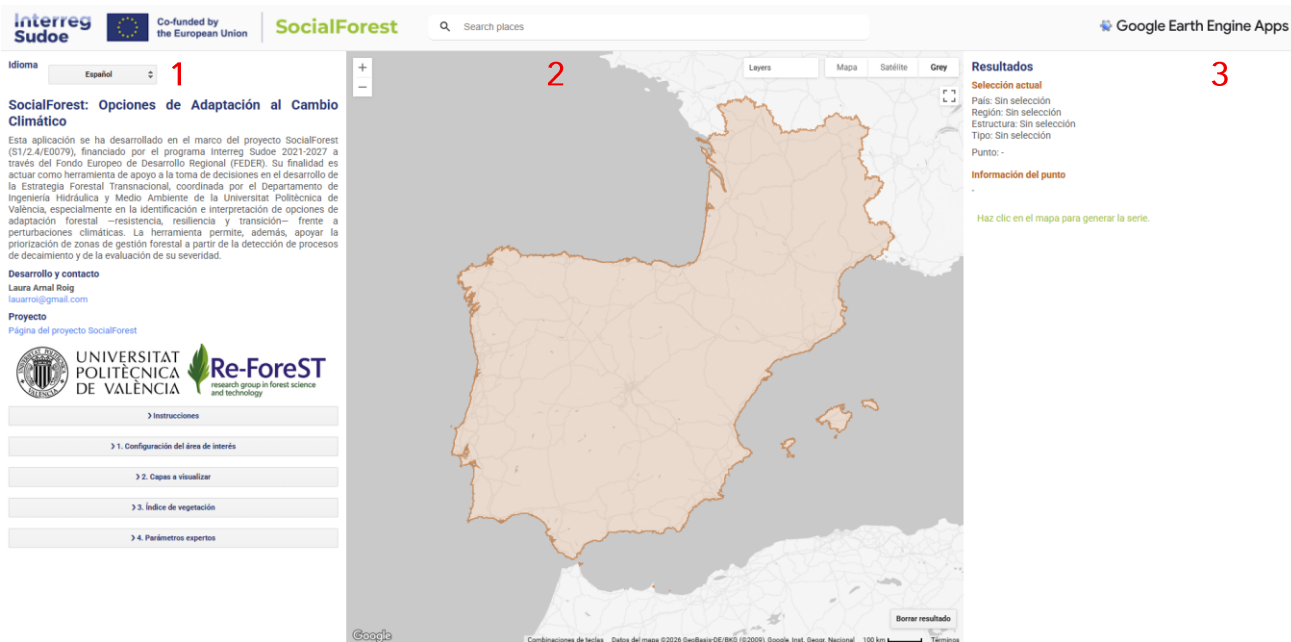


Figura 1. Interfaz de la aplicación.

### 4.1. Panel de configuración

El panel izquierdo (Figura 2) constituye el área principal de configuración de la aplicación. Desde este panel, el usuario puede seleccionar el idioma de la interfaz, consultar la

información general del proyecto, acceder a las instrucciones de uso, definir el área de interés, activar capas auxiliares de contexto, seleccionar el índice de vegetación y ejecutar el cálculo de las opciones de adaptación.

Este panel organiza el flujo de trabajo de forma secuencial, guiando al usuario desde la selección territorial y forestal hasta la ejecución del análisis. Las opciones seleccionadas en este panel determinan el área, el tipo de formación forestal y el índice de vegetación sobre los que se calcularán los resultados. Por el contrario, las capas de contexto, como la elevación, la pendiente, la orientación o la cobertura del suelo, tienen una función únicamente interpretativa y no modifican el cálculo de las opciones de adaptación.

Idioma

Español

## SocialForest: Opciones de Adaptación al Cambio Climático

Esta aplicación se ha desarrollado en el marco del proyecto SocialForest (S1/2.4/E0079), financiado por el programa Interreg Sudoe 2021-2027 a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). Su finalidad es actuar como herramienta de apoyo a la toma de decisiones en el desarrollo de la Estrategia Forestal Transnacional, coordinada por el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universitat Politècnica de València, especialmente en la identificación e interpretación de opciones de adaptación forestal –resistencia, resiliencia y transición– frente a perturbaciones climáticas. La herramienta permite, además, apoyar la priorización de zonas de gestión forestal a partir de la detección de procesos de decaimiento y de la evaluación de su severidad.

### Desarrollo y contacto

Laura Arnal Roig

[lauarroi@gmail.com](mailto:lauarroi@gmail.com)

### Proyecto

[Página del proyecto SocialForest](#)UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIARe-ForeST  
research group in forest science  
and technology

&gt; Instrucciones

&gt; 1. Configuración del área de interés

&gt; 2. Capas a visualizar

&gt; 3. Índice de vegetación

&gt; 4. Parámetros expertos

Figura 2. Panel de configuración.

### 4.1.1. Selector de idioma

El selector de idioma se sitúa en la parte superior del panel izquierdo. Permite cambiar el idioma de la interfaz en tiempo real entre español, inglés, portugués y francés.

El cambio de idioma actualiza automáticamente las etiquetas, leyendas, textos explicativos e instrucciones de la aplicación, sin afectar a los cálculos ni a las selecciones realizadas por el usuario.

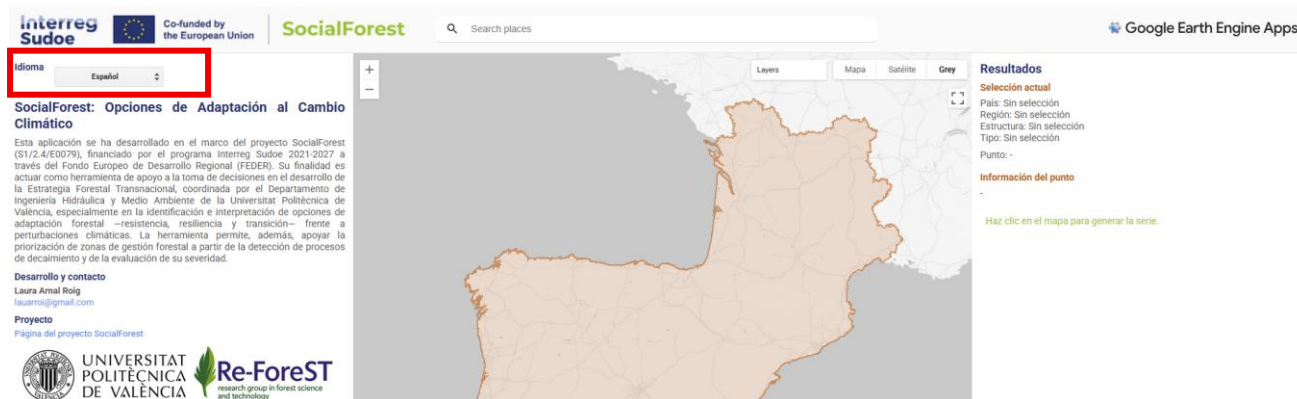


Figura 3. Ubicación del selector de idiomas.

### 4.1.2. Encabezado, información del proyecto y contacto

Bajo el selector de idioma se muestra el encabezado principal de la aplicación, que incluye el título «SocialForest: Opciones de Adaptación al Cambio Climático», una breve descripción de la herramienta y la información de contacto de la persona desarrolladora.

Este bloque también incluye un enlace a la web del proyecto SocialForest, permitiendo al usuario acceder a información complementaria sobre el marco general del proyecto.

#### SocialForest: Opciones de Adaptación al Cambio Climático

Esta aplicación se ha desarrollado en el marco del proyecto SocialForest (S1/2.4/E0079), financiado por el programa Interreg Sudoe 2021-2027 a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). Su finalidad es actuar como herramienta de apoyo a la toma de decisiones en el desarrollo de la Estrategia Forestal Transnacional, coordinada por el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universitat Politècnica de València, especialmente en la identificación e interpretación de opciones de adaptación forestal –resistencia, resiliencia y transición– frente a perturbaciones climáticas. La herramienta permite, además, apoyar la priorización de zonas de gestión forestal a partir de la detección de procesos de decaimiento y de la evaluación de su severidad.

#### Desarrollo y contacto

Laura Arnal Roig  
[lauarroi@gmail.com](mailto:lauarroi@gmail.com)

#### Proyecto

[Página del proyecto SocialForest](#)



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



Re-ForeST  
 research group in forest science and technology

Figura 4. Encabezado, información del proyecto y contacto.

### 4.1.3. Panel de instrucciones

El panel de instrucciones se presenta como una sección desplegable dentro del panel izquierdo. Su objetivo es guiar al usuario en el uso de la aplicación mediante una explicación paso a paso del flujo de trabajo básico.

Las instrucciones describen el orden recomendado de uso: selección del área de interés, elección de la estructura y tipo de formación forestal, selección del índice de vegetación, activación opcional de capas de contexto y ejecución del cálculo de las opciones de adaptación.

Este panel permite consultar la ayuda sin abandonar la aplicación y facilita el uso de la herramienta tanto a usuarios técnicos como a usuarios no familiarizados con Google Earth Engine. Además, al final de la sección se incluye un enlace al presente manual, alojado en Google Drive, que se abre en una nueva pestaña del navegador.

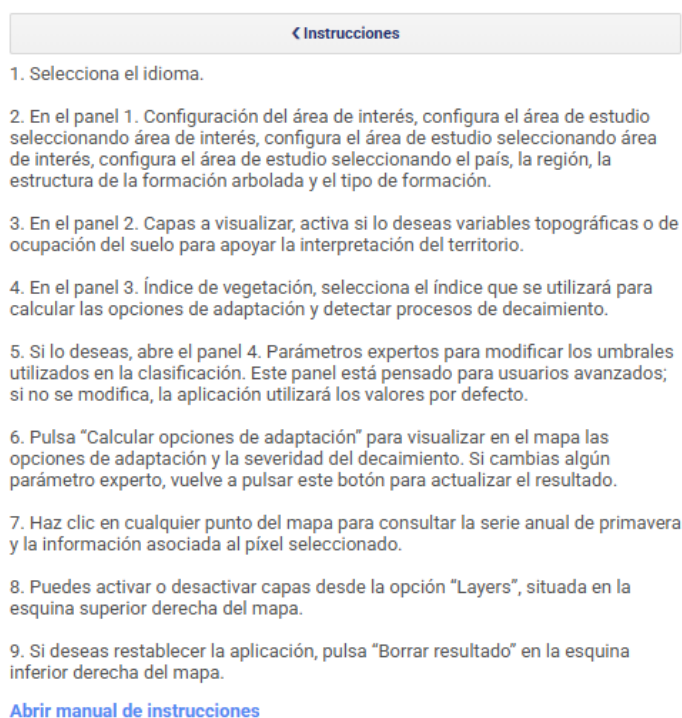


Figura 5. Panel de instrucciones.

#### 4.1.4. Configuración del área de interés

El primer bloque de configuración corresponde a la selección del área de interés. Está compuesto por cuatro selectores organizados de forma jerárquica:

1. País.
2. Región NUTS 2.
3. Estructura de la formación arbolada:
  - Bosque denso, con FCC superior al 50 %.
  - Bosque abierto, con FCC igual o inferior al 50 %.
4. Tipo de formación forestal.

La selección se realiza de forma progresiva, de manera que las opciones disponibles en cada selector dependen de las elecciones realizadas en los niveles anteriores. Esto permite limitar el análisis a las formaciones forestales disponibles para cada región y estructura.



Figura 6. Configuración del área de interés.

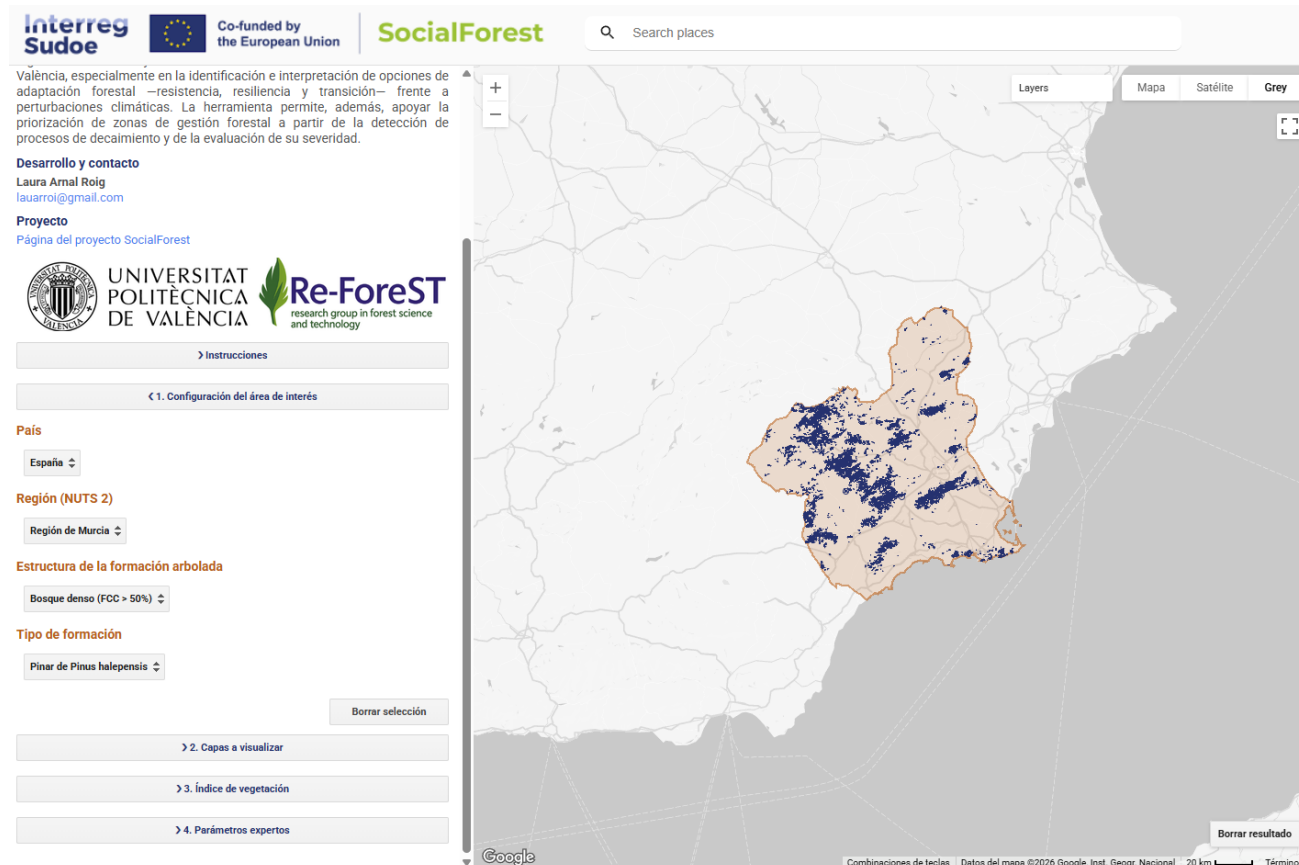


Figura 7. Ejemplo de resultados de la configuración del área de interés.

El botón «Borrar selección» restablece los selectores, elimina las capas de resultados del mapa y permite iniciar una nueva consulta.

### 4.1.5. Capas auxiliares de contexto

El segundo bloque permite activar o desactivar capas auxiliares de visualización. Estas capas proporcionan información adicional para interpretar el territorio, pero no intervienen en el cálculo de las opciones de adaptación.

Las capas disponibles son:

- Elevación, en metros, derivada de NASADEM 30 m.
- Pendiente, en grados, derivada de NASADEM 30 m.
- Orientación, en grados, derivada de NASADEM 30 m.
- Cobertura del suelo, procedente de CORINE Land Cover 2018, con resolución de 100 m y leyenda desplegable adaptada al idioma seleccionado.



Figura 8. Capas a visualizar.

Cuando se activan las capas auxiliares, la aplicación muestra la leyenda correspondiente en la zona inferior del mapa. En el caso de la capa CORINE Land Cover 2018, la leyenda se presenta como una sección desplegable, debido al elevado número de clases de cobertura y uso del suelo que contiene.

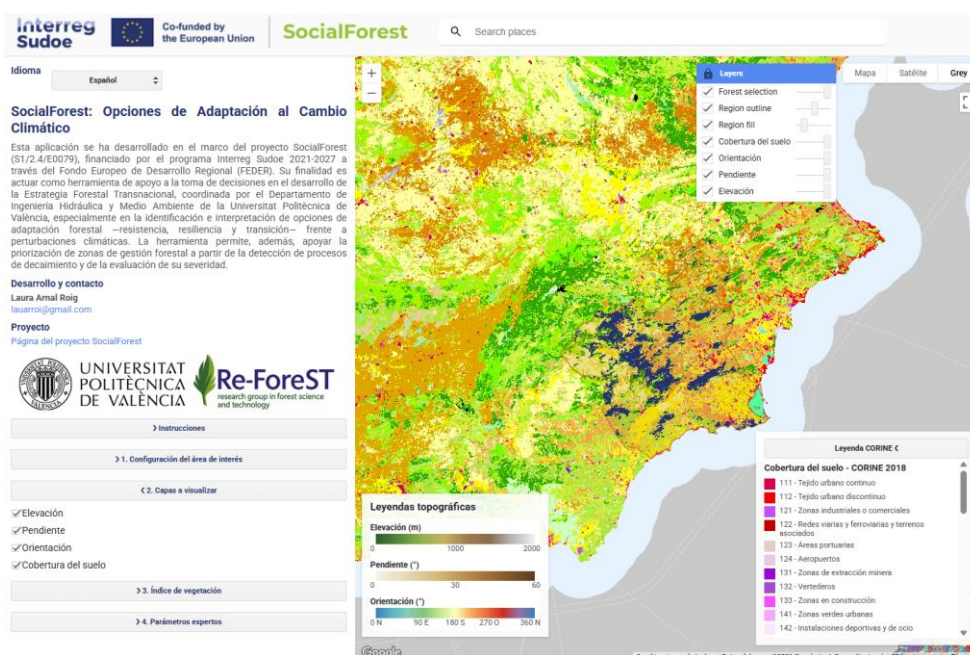


Figura 9. Resultado de activar las capas auxiliares en el panel del visor cartográfico.

### 4.1.6. Selección del índice de vegetación y ejecución del cálculo

El tercer bloque permite seleccionar el índice de vegetación Landsat que se utilizará en el análisis. Los índices disponibles son EVI, NDVI y NBR.

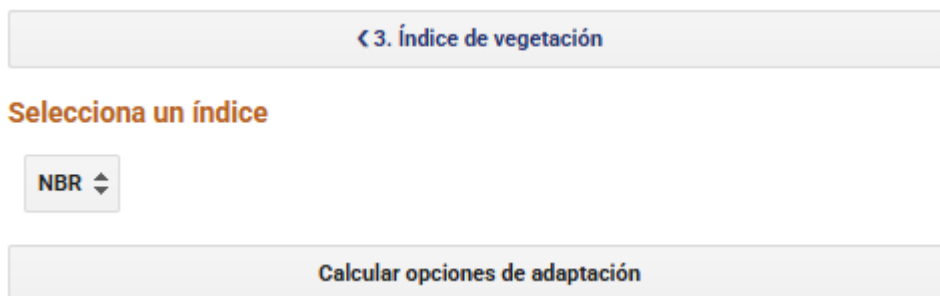


Figura 10. Selección del índice de vegetación.

Una vez definida el área de interés, el tipo de formación forestal y el índice de vegetación, el usuario puede ejecutar el análisis mediante el botón «Calcular opciones de adaptación». Este botón lanza el cálculo de las opciones de adaptación al cambio climático para la combinación seleccionada. Si no se selecciona ningún índice, por defecto se empleará el índice NBR.

Los resultados se visualizan en el mapa para toda el área de interés.

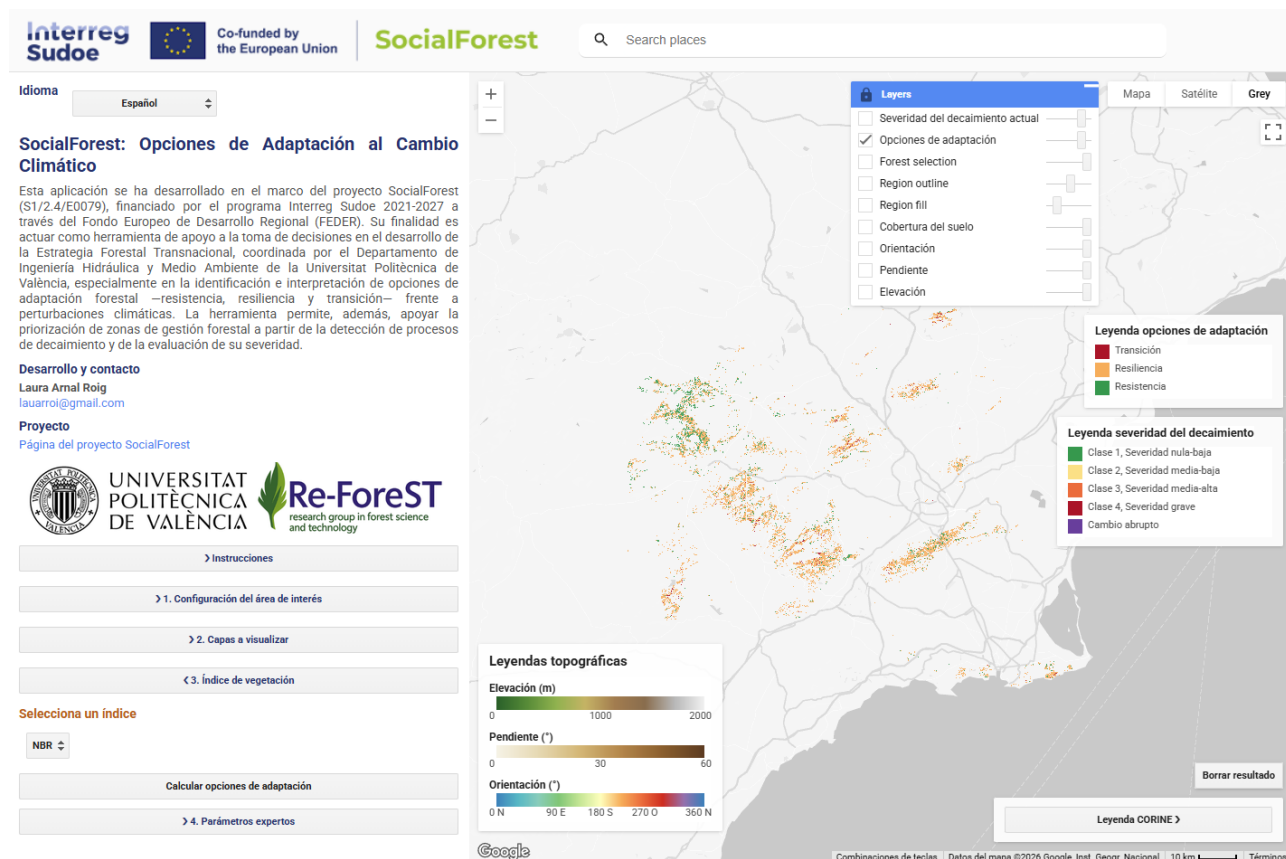


Figura 11. Ejemplo del resultado del cálculo de las opciones de adaptación.

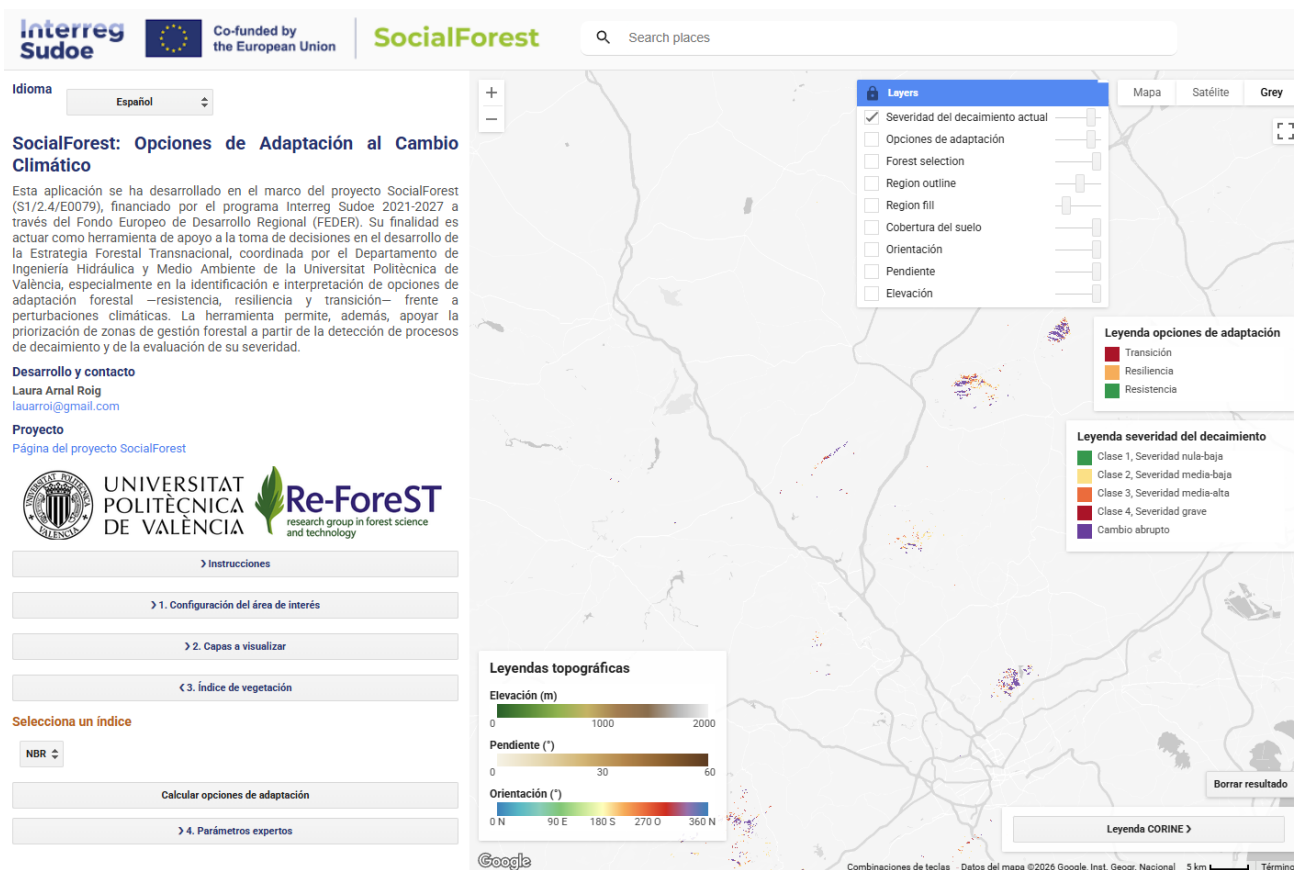


Figura 12. Ejemplo del resultado del zonas con decaimiento actual y su severidad.

#### 4.1.7. Parámetros expertos

El cuarto bloque corresponde a los **parámetros expertos**. Se trata de una sección avanzada que permite modificar los umbrales utilizados en la identificación de procesos de decaimiento y en la clasificación de las opciones de adaptación.

Esta sección está pensada para usuarios técnicos que deseen ajustar los parámetros a condiciones locales específicas, así como para usuarios que quieran explorar la sensibilidad de los resultados frente a diferentes umbrales.

Si el usuario no modifica ningún parámetro, la aplicación aplica automáticamente los valores por defecto definidos en la metodología.

< 4. Parámetros expertos

Estos parámetros modifican únicamente los criterios de clasificación. Las clases de severidad no se redefinen aquí; solo se elige qué clase usar como umbral.

**Detección del decaimiento**

**Umbral pendiente evento brusco**

-0.02000

Si la pendiente a 3 años es menor o igual que este valor, el cambio se considera brusco y se excluye del decaimiento sutil.

**Umbral desviación evento brusco (%)**

-40 %

40

Si la desviación respecto a la mediana de 20 años es menor o igual que este valor, el cambio se considera brusco.

**Umbral pendiente decaimiento sutil**

-0.00100

Un píxel se considera en decaimiento sutil si la pendiente a 3 años es menor que este valor y la desviación es negativa, excluyendo cambios bruscos.

**Transición**

**Transición: umbral pendiente largo plazo**

-0.00010

Pendiente de la tendencia de la mediana de 20 años desde 2004. Si es menor o igual que este valor, favorece transición.

**Transición: umbral pendiente últimos 5 años**

-0.00020

Media de las pendientes recientes. Si es menor o igual que este valor, favorece transición.

**Transición: severidad mínima actual**

Media-alta

Clase mínima de severidad actual requerida para favorecer transición.

**Transición: % mínimo de años con decaimiento**

15 %

15

Porcentaje mínimo de años con decaimiento sutil requerido para favorecer transición.

**Resistencia**

**Resistencia: umbral pendiente largo plazo**

0.00100

Si la pendiente de largo plazo es mayor o igual que este valor, favorece resistencia.

**Resistencia: severidad máxima actual del decaimiento**

Nula-baja

Clase máxima de severidad actual del decaimiento permitida para favorecer resistencia. Se refiere al estado actual del píxel, no al máximo histórico.

**Resistencia: % máximo de años con decaimiento**

0 %

0

Porcentaje máximo de años con decaimiento sutil permitido para favorecer resistencia.

**Resistencia: último evento anterior a**

Para favorecer resistencia, el último inicio de decaimiento debe ser anterior a este año. Si nunca hubo evento, también cumple.

Calcular opciones de adaptación

Figura 13. Parámetros expertos por defecto.

## 4.2. Panel del visor cartográfico

El panel central corresponde al visor cartográfico de la aplicación. El mapa utiliza un estilo gris neutro para facilitar la visualización de las capas temáticas y permite la navegación estándar mediante desplazamiento con el ratón para acercar o alejar la vista, y clic mantenido con arrastre para desplazarse por el territorio.

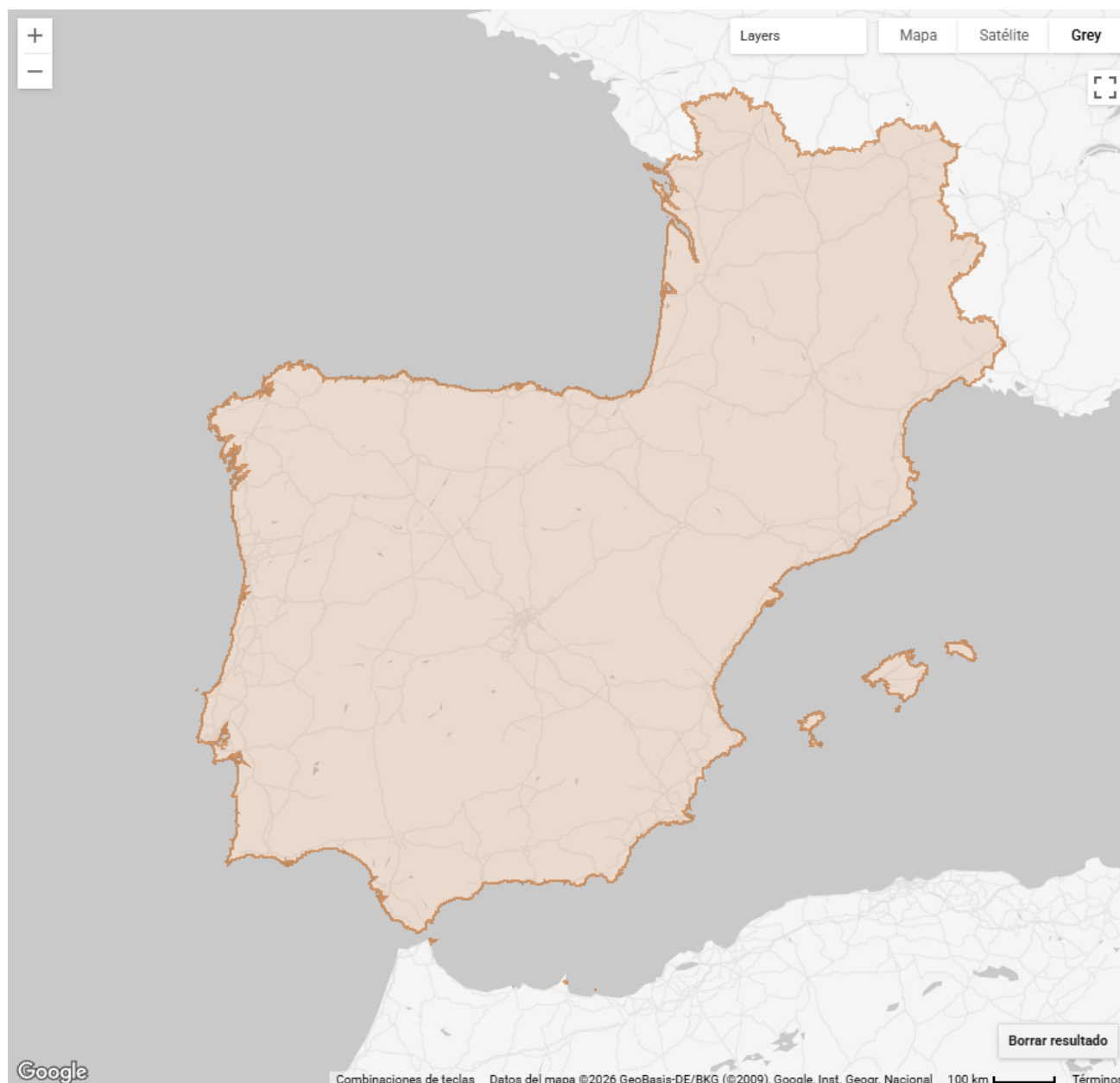


Figura 14. Panel del visor cartográfico por defecto.

Las capas se muestran de forma superpuesta, siguiendo un orden de visualización que permite interpretar los resultados junto con el contexto territorial. En la parte inferior se

sitúan las capas auxiliares opcionales, como elevación, pendiente, orientación o cobertura del suelo CORINE Land Cover 2018. Sobre ellas se representan el contorno y el relleno de la región SUDOE o de la región seleccionada, en color naranja semitransparente, así como los contornos de los polígonos forestales en color azul.

Tras ejecutar el cálculo, se añaden las capas de resultados: la capa de **opciones de adaptación**, representada mediante colores asociados a resistencia, resiliencia y transición, y la capa de **severidad del decaimiento**, representada mediante una escala progresiva de severidad. Esta última aparece desactivada por defecto, pero puede activarse manualmente desde el control de capas. Cuando el usuario hace clic sobre el mapa, se añade además un marcador naranja en el punto seleccionado.

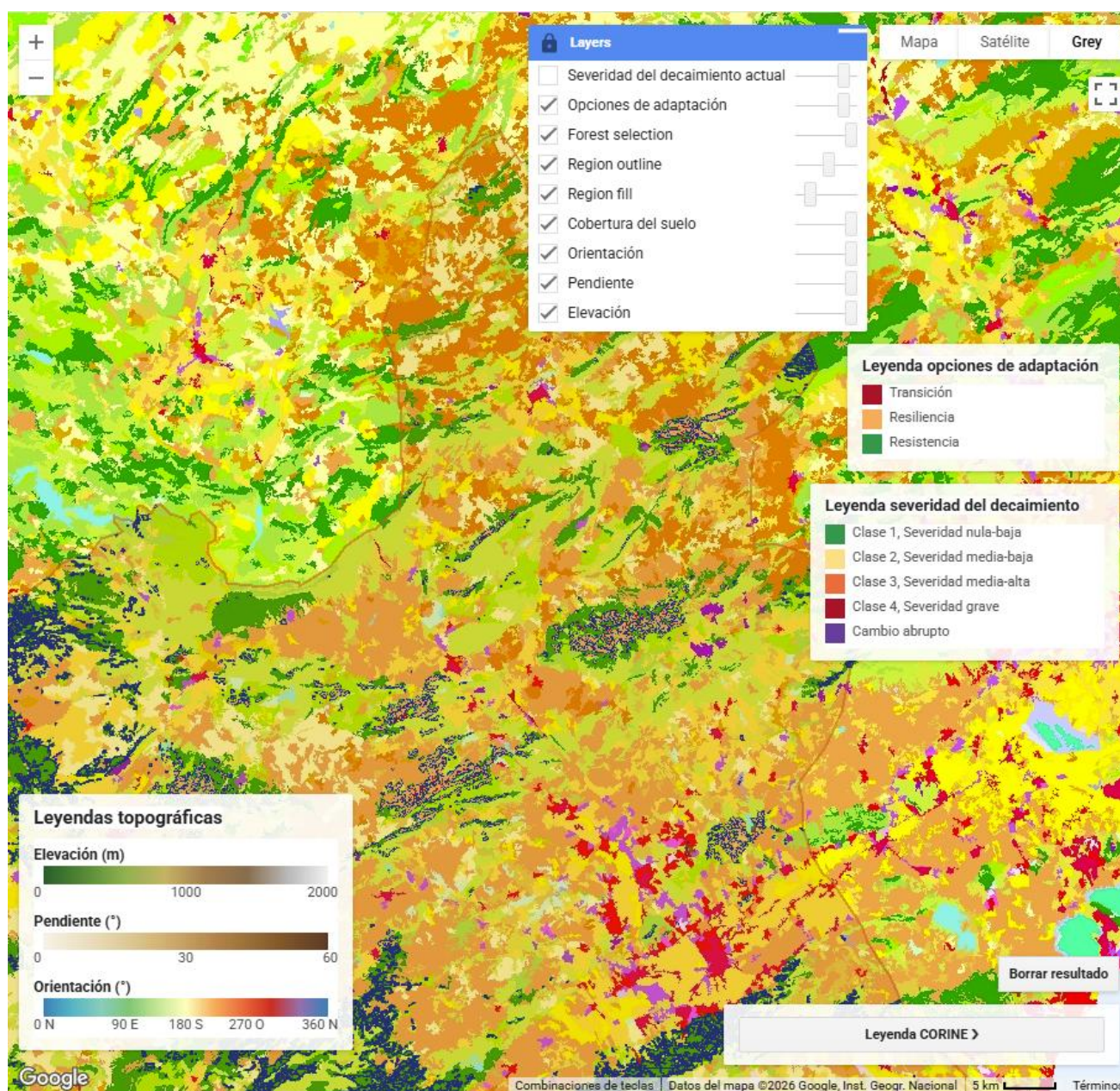


Figura 15. Capas del panel del visor cartográfico.

En la esquina superior derecha del mapa se encuentra el botón “Layers”, que permite activar o desactivar individualmente las capas cargadas. Esta opción resulta útil para ocultar temporalmente aquellas capas que ya no se necesiten visualizar, comparar resultados o mejorar la lectura del mapa cuando hay varias capas superpuestas. Las leyendas de las capas de adaptación y severidad aparecen automáticamente tras el cálculo.

Al hacer clic sobre un punto del mapa, la aplicación coloca un marcador naranja y actualiza la información asociada al píxel seleccionado. Esta acción desencadena el centrado de la vista sobre el punto y la actualización del panel derecho con los resultados correspondientes a ese píxel.

Si el punto seleccionado se encuentra fuera del área de interés o fuera de la formación forestal seleccionada, es posible que no se visualicen resultados asociados a la capa de opciones de adaptación en el mapa. No obstante, la aplicación seguirá mostrando en el panel derecho la información disponible para ese punto, como la serie temporal del índice de vegetación, los atributos topográficos y la clase de cobertura del suelo CORINE, siempre que existan datos para esa localización.

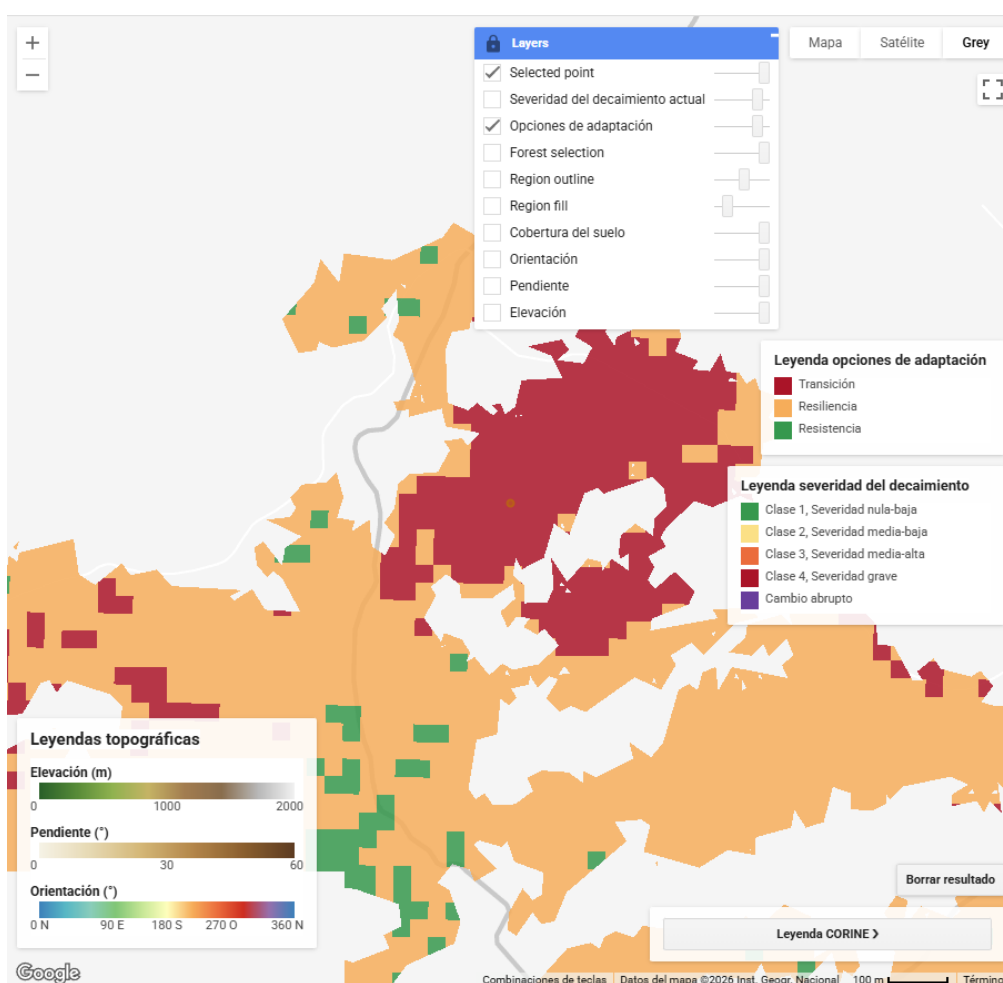


Figura 16. Selección de un punto sobre el visor cartográfico.

El mapa incluye también un botón “Borrar resultado”, situado en la esquina inferior derecha. Este botón permite restablecer la sesión de trabajo.

### 4.3. Panel de resultados

El panel derecho muestra los resultados asociados a la configuración activa y al punto seleccionado en el mapa. Mientras no se haya seleccionado ningún punto, este panel permanece sin resultados específicos de píxel, ya que la información detallada se genera únicamente tras hacer clic sobre una localización concreta del mapa.

En la parte superior se muestra de forma permanente el resumen de la selección actual, incluyendo el país, la región NUTS 2, la estructura forestal y el tipo de formación seleccionada. Esta información permite comprobar en todo momento el contexto territorial y forestal sobre el que se ha ejecutado el análisis.

Una vez seleccionado un punto en el mapa, el panel derecho se actualiza automáticamente con la información asociada al píxel correspondiente. En primer lugar, se muestran las coordenadas del punto y los principales atributos territoriales y ambientales disponibles:

**Tabla 5. Información reflejada en el panel de resultados.**

Campo	Descripción
Elevación	Altitud en metros (NASADEM, 30 m).
Pendiente	Pendiente del terreno en grados (NASADEM derivada).
Orientación	Orientación en grados y dirección cardinal (N, NE, E, SE, S, SO, O, NO).
Cobertura del suelo	Código y nombre de clase CORINE 2018 en el idioma seleccionado.
Opción de adaptación	Transición, resiliencia o resistencia, calculado desde la serie temporal del píxel.
Severidad del decaimiento actual	Clase 1 (Nula-baja), Clase 2 (Media-baja), Clase 3 (Media-alta), Clase 4 (Grave), Cambio brusco, o Sin decaimiento actual.

Además, el panel incorpora una gráfica de la serie temporal anual del índice de vegetación seleccionado, calculada a partir de los compuestos Landsat de primavera desde 1984. Esta gráfica permite analizar la evolución temporal del píxel y comparar los valores observados con los umbrales utilizados para evaluar el decaimiento.

La gráfica incluye las siguientes series y umbrales:

- **Línea azul con puntos:** media anual de primavera del índice seleccionado.

- **Línea verde continua:** mediana móvil de 20 años, utilizada como referencia para la clase 1. Los valores iguales o superiores a este umbral indican ausencia de decaimiento activo.
- **Línea amarilla discontinua:** umbral de clase 2, correspondiente al 90 % de la mediana móvil, equivalente a una disminución del 10 %.
- **Línea roja discontinua:** umbral de clase 3, correspondiente al 80 % de la mediana móvil, equivalente a una disminución del 20 %.
- **Línea morada discontinua:** umbral asociado a cambio brusco.

De este modo, el panel derecho permite interpretar conjuntamente la información espacial, topográfica, de cobertura del suelo, de severidad del decaimiento y de evolución temporal del índice de vegetación para el punto seleccionado

### Resultados

#### Selección actual

País: Sin selección  
Región: Sin selección  
Estructura: Sin selección  
Tipo: Sin selección  
Punto: -

#### Información del punto

-

[Haz clic en el mapa para generar la serie.](#)

Figura 17. Panel de resultados al iniciar la aplicación.

### Resultados

#### Selección actual

País: España  
Región: Región de Murcia  
Estructura: Bosque denso (FCC > 50%)  
Tipo: Pinar de Pinus halepensis  
Punto: lon = -1.584314, lat = 37.858787

#### Información del punto

Elevación: 1160.0 m  
Pendiente: 11.6°  
Orientación: 224.6° (SO)  
Cobertura del suelo: 312 - Bosque de coníferas  
Opción de adaptación: Transición  
Severidad del decaimiento actual: Cambio abrupto

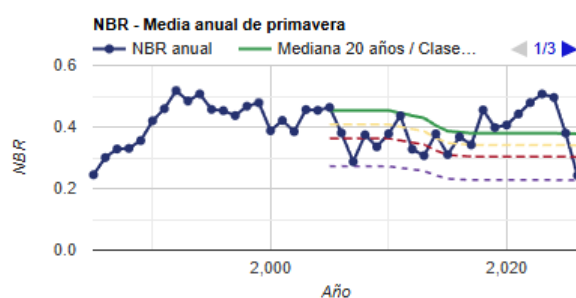


Figura 18. Panel de resultados al seleccionar un punto sobre el visor cartográfico.

Al abrir el gráfico en una ventana independiente, se habilitan opciones adicionales de exportación. Desde esta vista, el usuario puede descargar los datos de la serie temporal en formato CSV, así como exportar la gráfica en formato SVG o PNG para su uso en informes, presentaciones u otros documentos. Metodología

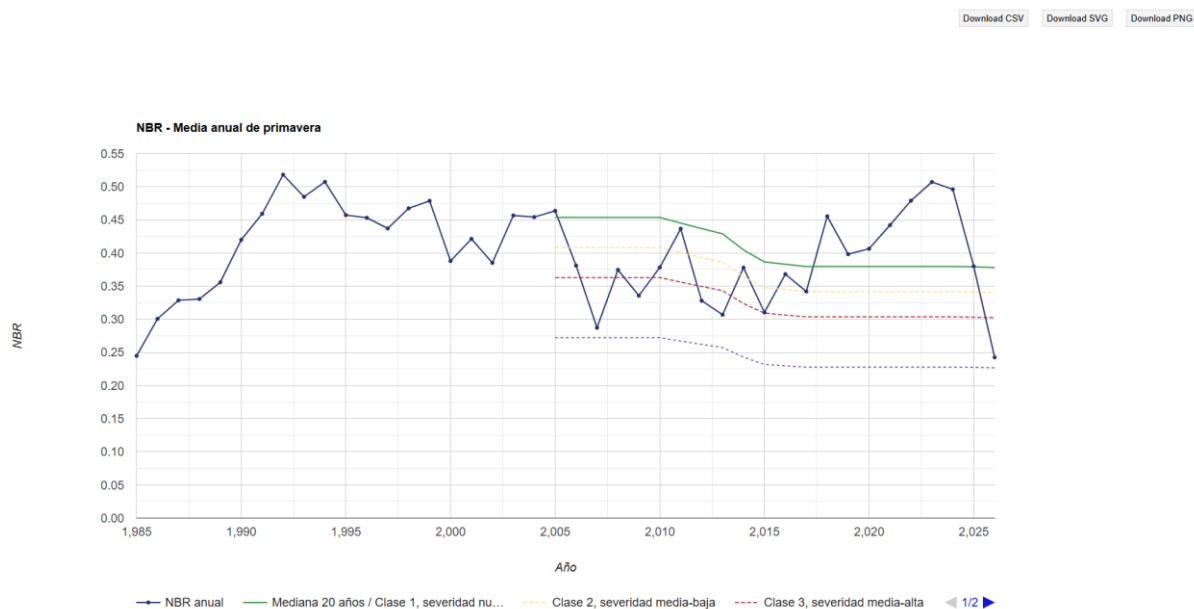


Figura 19. Gráfico de la serie temporal abierto en una ventana nueva.

## 5. Metodología

La aplicación clasifica cada píxel forestal en una de las tres opciones de adaptación al cambio climático –resistencia, resiliencia o transición– a partir de la evolución temporal de índices de vegetación Landsat durante el periodo de primavera.

El análisis se basa en la comparación entre el valor anual del índice seleccionado y una línea de referencia dinámica calculada mediante la mediana móvil de 20 años. A partir de esta comparación se identifican procesos de decaimiento, se evalúa su severidad actual y se asigna la opción de adaptación correspondiente.

### 5.1. Ámbito temporal

La aplicación utiliza datos Landsat de primavera, correspondientes a los meses de marzo, abril y mayo, desde 1984 hasta el último año disponible.

Para cada año se calcula un valor medio anual de primavera del índice seleccionado. Sin embargo, la detección del decaimiento y la clasificación de las opciones de adaptación se realizan a partir de 2004, ya que se requiere disponer de una serie previa de 20 años para calcular la mediana móvil utilizada como línea de base.

El año final del análisis se determina dinámicamente en función de la fecha de ejecución de la aplicación. Si la fecha actual es posterior al 1 de marzo, se utiliza el año en curso; en caso contrario, se utiliza el año anterior.

## 5.2. Media anual de primavera y línea de base

Para cada píxel y año se calcula la media anual de primavera del índice de vegetación seleccionado, utilizando los compuestos Landsat de 8 días disponibles entre marzo y mayo.

A continuación, se calcula una mediana móvil de 20 años, utilizando el valor del año actual y los 19 años anteriores. Esta mediana actúa como línea de base dinámica y permite comparar el estado actual de la vegetación con su comportamiento reciente a largo plazo.

El uso de la mediana, en lugar de la media, aporta mayor robustez frente a valores extremos o anomalías puntuales de la serie temporal.

La aplicación calcula también una **pendiente a 3 años**, definida como el cambio entre el valor del año actual y el valor registrado dos años antes, dividido entre dos:

$$\text{Pendiente (3a)} = (\text{Valor}_t - \text{Valor}_{t-2}) / 2$$

Esta pendiente permite detectar cambios recientes en la trayectoria del índice de vegetación.

## 5.3. Desviación respecto a la mediana móvil

Para cada píxel y año se calcula la desviación porcentual del índice de vegetación respecto a la mediana móvil de 20 años:

$$\text{Desviación (\%)} = (\text{Valor} - \text{Mediana}_{20}) / \text{Mediana}_{20} \times 100$$

Los valores negativos indican que el índice de vegetación se encuentra por debajo de su línea de base reciente. Cuanto más negativa es la desviación, mayor es la pérdida relativa de vigor o actividad de la vegetación respecto a su comportamiento esperado.

## 5.4. Identificación del decaimiento y severidad actual

La aplicación distingue entre **cambio brusco** y **decaimiento sutil**.

Un píxel-año se clasifica como **cambio brusco** cuando se cumple al menos una de las siguientes condiciones:

- Pendiente a 3 años  $\leq -0,02$ .
- Desviación respecto a la mediana móvil  $\leq -40 \%$ .

Un píxel-año se clasifica como **decaimiento sutil** cuando se cumplen simultáneamente las siguientes condiciones:

- Pendiente a 3 años  $< -0,001$ .
- Desviación respecto a la mediana móvil  $< 0 \%$ .
- No se ha detectado cambio brusco en ese año.

La **severidad del decaimiento actual** se evalúa sobre el último año disponible de la serie temporal, siguiendo el enfoque metodológico del proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO. La severidad se asigna en función de la desviación respecto a la mediana móvil de 20 años y de la posible detección de cambio brusco.

**Tabla 6. Clases de severidad del decaimiento.**

Clase	Condición	Color en el mapa
Clase 1 - Nula-baja	No se detecta decaimiento sutil ni cambio brusco en el último año disponible.	No representado
Clase 2 - Media-baja	Decaimiento actual con desviación entre $0 \%$ y $-10 \%$ .	Amarillo #fee08b
Clase 3 - Media-alta	Decaimiento actual con desviación entre $-10 \%$ y $-20 \%$ .	Naranja #f46d43
Clase 4 - Grave	Decaimiento actual con desviación inferior a $-20 \%$ .	Rojo #b2182b
Cambio brusco	Cambio brusco detectado en el último año disponible.	Morado #6a3d9a

## 5.5. Clasificación de las opciones de adaptación

La clasificación de las opciones de adaptación se realiza píxel a píxel a partir de tres componentes principales:

- La tendencia a largo plazo, obtenida mediante una regresión lineal sobre los valores de la mediana móvil de 20 años desde 2004.
- La tendencia reciente, calculada como la media de las pendientes a 3 años durante los últimos 5 años.
- El historial de decaimiento del píxel, incluyendo la severidad actual, el porcentaje de años con decaimiento y la presencia o ausencia de eventos recientes.

La clasificación es jerárquica. En primer lugar, se evalúa si el píxel cumple las condiciones de transición. Si no las cumple, se evalúa si corresponde a resistencia. Los píxeles que no cumplen ninguna de estas dos condiciones se clasifican por defecto como resiliencia.

### 5.5.1. Transición

La opción **transición** identifica píxeles con una trayectoria negativa sostenida y señales actuales o recurrentes de decaimiento. Se asigna cuando se cumplen todas las condiciones siguientes:

- Pendiente a largo plazo  $\leq -0,0001$ .
- Tendencia reciente  $\leq -0,00020$ .
- Severidad actual igual o superior a clase 3, o porcentaje de años con decaimiento  $\geq 15$  %.

### 5.5.2. Resistencia

La opción **resistencia** identifica píxeles con una trayectoria estable o positiva, ausencia de decaimiento relevante y baja severidad actual. Se asigna únicamente si el píxel no ha sido clasificado previamente como transición y cumple todas las condiciones siguientes:

- Pendiente a largo plazo  $\geq 0,001$ .
- Porcentaje de años con decaimiento sutil  $\leq 0$  %.
- Severidad actual  $\leq$  clase 1.
- Último evento anterior a 2004 o ausencia de eventos de decaimiento.
- Ausencia de cambio brusco en el año actual.

### 5.5.3. Resiliencia

La opción resiliencia se asigna a los píxeles que no cumplen las condiciones de transición ni las de resistencia.

Esta categoría representa situaciones intermedias, en las que puede existir historial de perturbación o episodios de decaimiento, pero sin una trayectoria negativa sostenida suficientemente marcada como para clasificarse como transición. También incluye áreas con capacidad potencial de recuperación tras episodios de estrés.

## 6. Flujo de trabajo

El uso de la aplicación sigue un flujo secuencial, desde la selección del ámbito de análisis hasta la consulta de resultados por píxel:

1. **Seleccionar el idioma de visualización** de la interfaz.
2. En el **Panel 1 – Área de interés**, seleccionar:
  - país;
  - región NUTS 2;

- estructura de la formación arbolada;
  - tipo de formación forestal.
3. De forma opcional, en el **Panel 2 – Capas a visualizar**, activar las capas auxiliares de contexto, como elevación, pendiente, orientación o cobertura del suelo CORINE Land Cover 2018.
  4. En el **Panel 3 – Índice de vegetación**, seleccionar el índice que se utilizará en el análisis: EVI, NDVI o NBR.
  5. De forma opcional, abrir el **Panel 4 – Parámetros expertos** para revisar o ajustar los umbrales metodológicos utilizados en el cálculo.
  6. Pulsar el botón **«Calcular opciones de adaptación»**. Una vez finalizado el cálculo, el mapa se actualizará automáticamente con las capas de resultados.
  7. Hacer clic sobre cualquier punto del mapa para consultar la serie temporal del índice de vegetación y la información asociada al píxel seleccionado en el panel derecho.
  8. Utilizar el botón **“Layers”**, situado en la esquina superior derecha del mapa, para activar o desactivar individualmente las capas cargadas.
  9. Si se modifican los parámetros expertos, volver a pulsar **«Calcular opciones de adaptación»** para actualizar los resultados.
  10. Para reiniciar la consulta, utilizar el botón **«Borrar resultado»** o **«Borrar selección»**, según se quiera limpiar únicamente los resultados o restablecer también la configuración seleccionada.

## 7. Referencias y créditos

### 7.1. Proyecto

Proyecto SocialForest (S1/2.4/E0079). Programa Interreg Sudoe 2021-2027 / FEDER. Web: <https://interreg-sudoe.eu/proyecto-interreg/socialforest/>

### 7.2. Desarrollo de la aplicación

Laura Arnal Roig. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universitat Politècnica de València. [lauarroi@gmail.com](mailto:lauarroi@gmail.com)

### 7.3. Autores de los mapas forestales

Virginia García Millán, Antonio Manuel Burgueño Romero, José Francisco Aldana Montes. Khaos Research - Universidad de Málaga.

## 7.4. Fuentes de datos

Tabla 7. Fuentes de información empleadas para el desarrollo de la aplicación.

Fuente de datos	Proveedor / referencia	Uso en la aplicación
Compuestos Landsat EVI, NDVI y NBR	U.S. Geological Survey / Landsat Collection 2 Tier 1 Level 2 8-Day, vía Google Earth Engine	Cálculo de las series temporales de índices de vegetación y clasificación de las opciones de adaptación.
NASADEM: NASA 30 m Digital Elevation Model	NASA JPL. (2020). <i>NASADEM Merged DEM Global 1 arc second V001</i> [Conjunto de datos]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. <a href="https://doi.org/10.5067/MEaSURES/NASADEM/NASADEM_HGT.001">https://doi.org/10.5067/MEaSURES/NASADEM/NASADEM_HGT.001</a>	Obtención de variables topográficas: elevación, pendiente y orientación.
CORINE Land Cover 2018	Copernicus Land Monitoring Service European Environment Agency. (2019). CORINE Land Cover 2018 (raster 100 m), Europe, 6-yearly-Version 2020_20u1, May 2020 (Versión 20.01) [GeoTIFF]. European Environment Agency. <a href="https://doi.org/10.2909/960998C1-1870-4E82-8051-6485205EBBAC">https://doi.org/10.2909/960998C1-1870-4E82-8051-6485205EBBAC</a>	Información de cobertura y uso del suelo como contexto interpretativo.
Límites administrativos NUTS 2021	Territorial units for statistics (NUTS)–GISCO - Eurostat. <a href="https://ec.europa.eu/eurostat/web/gisco/geodata/statistical-units/territorial-units-statistics">https://ec.europa.eu/eurostat/web/gisco/geodata/statistical-units/territorial-units-statistics</a>	Delimitación territorial de países y regiones NUTS 2 disponibles en la aplicación.
Mapas forestales de distribución de especies	Universidad de Málaga. Referencia: Burgueño et al., <i>Journal of Big Data</i> , 10, 91 (2023). <a href="https://doi.org/10.1186/s40537-023-00770-z">https://doi.org/10.1186/s40537-023-00770-z</a>	Delimitación de las formaciones forestales disponibles para el análisis.
Metodología de clases de severidad	Proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO (LIFE20 CCA/ES/001809). <a href="https://lifeadaptaleppo.agrestaweb.org/methodology2">https://lifeadaptaleppo.agrestaweb.org/methodology2</a>	Definición e interpretación de las clases de severidad del decaimiento.

**Aviso**

Las clasificaciones producidas por esta herramienta tienen carácter de información de apoyo a la decisión. Deben interpretarse junto con el conocimiento de campo y otros indicadores de salud forestal.