



2025 | **16-20**
GIJÓN | **JUNIO**

9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-1759

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025.**
ISBN: **978-84-941695-7-1**

Organiza





AppPopuli+: Aplicación web para la identificación y reporte en tiempo real de daños en choperas mediante ciencia ciudadana e inteligencia artificial

SÁNCHEZ SAN JOSÉ, J. (1), GONZÁLEZ GONZÁLEZ, R. (1), ARÉVALO GONZALEZ, R. (2), BENÍTEZ ANDRADES, J. A. (3), CASTEDO DORADO, F. (2), ÁLVAREZ CUEVAS, C. (4), GARNICA, J. (5) y ÁLVAREZ TABOADA, F. (2)

(1) Universidad de León, Campus of Vegazana s/n (León)

(2) Dracones Research Group, Universidad de León, Campus de Ponferrada (León)

(3) SALBIS Research Group, Department of Electric, Systems and Automatics Engineering, Universidad de León, Campus of Vegazana s/n (León)

(4) Garnica Valencia de Don Juan, Valencia de Don Juan (León)

(5) Bosques y Ríos, Valencia de Don Juan (León)

Resumen

AppPopuli+ es una aplicación web gratuita (disponible en <https://test.apppopuli.es/>) que permite reportar on-line daños en choperas e identificar (con un teléfono móvil) la plaga o enfermedad que los causa. Las características de esta aplicación son: (i) identificación en tiempo real de la plaga o enfermedad causante del daño, basada en imágenes y algoritmos de inteligencia artificial; (ii) un sistema intuitivo y fácil de usar, dirigido tanto a usuarios especializados como no especializados; (iii) compatibilidad con entornos web y móviles; (iv) información complementaria integrada para mejorar las habilidades y el conocimiento sobre la detección de plagas/patógenos; (v) ubicación y datos enviados por los usuarios; y (vi) diferentes perfiles de usuario (empresas vs. ciudadanos comunes). Actualmente, la base de datos cuenta con 29 plagas/enfermedades. Para la identificación en tiempo real se utilizaron más de 1,500 fotografías de daños o agentes dañinos para entrenar los modelos, obtenidas tanto de reportes anteriores de usuarios como de las bases de datos de empresas forestales y administraciones. Entre todos los modelos probados, finalmente se eligió la red preentrenada InceptionResNetV2, logrando una precisión del 82% (con un 70% de datos usados para entrenamiento y 30% para validación). Esta aplicación contribuye a la producción sostenible de madera y promueve la gestión temprana de plagas y enfermedades.

Palabras clave

Plagas forestales, enfermedades forestales, deep learning, redes neuronales convolucionales, sanidad forestal

1. Introducción

La detección y el seguimiento de plagas y enfermedades forestales es esencial para garantizar la sostenibilidad y conservación de los ecosistemas forestales. Diversos países han implementado programas y tecnologías avanzadas para mejorar la detección y el control de plagas y enfermedades forestales. A escala mundial, los sistemas de alerta temprana, como el Early Warning System (EWS) en los Estados Unidos, el Tree Health Action Plan (THAP) en el Reino Unido y el futuro



Tree Health Early Warning System (THEWS) en Europa (LAUSCH et al., 2018), destacan como estrategias clave para detectar, monitorear y mitigar las amenazas a los ecosistemas forestales. Estos sistemas integran tecnologías modernas con la colaboración de especialistas y la participación ciudadana, maximizando su eficacia al combinar diferentes fuentes de información y estrategias de respuesta.

A escala europea, y con implantación en España, existe la Red Europea de Daños de Nivel I, que monitoriza la salud y vitalidad de los bosques a través de con 7.500 puntos de control distribuidos en toda Europa en una cuadrícula de 16 x 16 km. Establecida en 1986, evalúa anualmente parámetros como la pérdida de follaje del arbolado (defoliación), la determinación de agentes causantes de daños en los árboles, el nivel de fructificación, etc. En España esta Red cuenta con 620 puntos de muestreo y permite estudiar impactos del cambio climático, la gestión sostenible y la biodiversidad forestal (MITECO, 2020). Para paliar algunas de las limitaciones de la Red de Nivel I, como la no evaluación de factores como calidad del aire, ciclos de nutrientes o clima, se puso en marcha en 1990 el Sistema Pan-europeo para el Seguimiento Intensivo y Continuo de los Ecosistemas Forestales (Red de Nivel II), que consta de parcelas intensivas en ecosistemas forestales representativos, incluyendo análisis detallados del clima, suelo y composición química del agua y que hasta 2008 contaba con 54 parcelas en España reducidas a 14 en 2009. Su mayor debilidad es la cobertura territorial limitada por la cantidad reducida de parcelas y su alta dependencia de recursos especializados y financiamiento (MITECO, 2022).

La carencia de información a nivel local y la aparición de nuevas amenazas para la sanidad de los montes han ido sensibilizando a las administraciones de diferentes Comunidades Autónomas españolas, que han empezado a desarrollar sus propias redes de evaluación y seguimiento de daños. Estas redes autonómicas siguen la metodología europea, incorporando además aquellas observaciones que cada administración ha considerado interesantes para la gestión de sus montes,

Todas estas redes presentan como inconveniente la imposibilidad de detectar daños en zonas fuera de las parcelas de seguimiento y la dependencia de fondos públicos para su mantenimiento, derivado del elevado coste de la toma de datos. Además, fuera de esas parcelas de la Red Europea y de las Redes autonómicas, no existe un protocolo que permita sistematizar la toma de datos de la presencia de organismos dañinos y de sus daños y su almacenamiento y posterior análisis por parte de las empresas, los pequeños propietarios o la administración forestal.

En los últimos años, el desarrollo de aplicaciones móviles ha revolucionado la manera en que se aborda el seguimiento de plagas y enfermedades. Estas herramientas permiten a los usuarios, tanto especialistas como ciudadanos comunes, informar de daños en árboles mediante fotografías y datos georreferenciados (DE GROOT et al., 2023). Ejemplos destacados incluyen aplicaciones como "Invazivke" (disponible en <https://www.invazivke.si/>), que busca la detección temprana de especies invasoras por parte de los usuarios, y "ObserveTree" (disponible en <https://www.observeatree.org.uk/>), diseñada para fomentar la ciencia ciudadana en el monitoreo de la salud forestal (CROWN y GROOT, 2020). En esta misma línea, proyectos como iNaturalist



(<https://www.inaturalist.org/>), Pl@ntNet (<https://identify.plantnet.org/es>) y BiodiversidadVirtual (<https://www.biodiversidadvirtual.org/>) han demostrado que la ciencia ciudadana puede proporcionar información adecuada para los investigadores y gestores. En España, iniciativas como AlertaForestal (CREAF, s.f.) o DecaimientoEncinar (CSIC, s.f.) recopilan información sobre fenómenos que afectan la salud de los bosques a través de reportes de ciudadanos, aumentando así la cobertura y precisión del seguimiento. Además de aumentar la cantidad de datos disponibles, estas iniciativas también fomentan la educación y sensibilización ambiental en la población general (DE GROOT et al., 2023).

En este contexto, el uso de algoritmos de inteligencia artificial (IA), especialmente el aprendizaje profundo, se ha vuelto cada vez más frecuente en la clasificación de imágenes para identificar plagas y enfermedades forestales. Los modelos de aprendizaje profundo, como las Redes Neuronales Convolucionales (CNNs), han mostrado un gran potencial en la clasificación de plagas y enfermedades forestales. Por ejemplo, MOHSIN et al. (2022) emplearon varias redes neuronales profundas, incluyendo VGG19, ResNet50 y DenseNet121, para clasificar especies de insectos a partir fotografías, obteniendo precisiones entre 46% y 95% destacando DenseNet121 sobre otros modelos. De manera similar, KHAN et al. (2024) utilizaron un modelo basado en CNN para detectar enfermedades en cultivos leñosos, alcanzando una precisión del 96,1%. Los algoritmos Support Vector Machines (SVM) y K-Nearest Neighbors (KNN) se emplean menos habitualmente por proporcionar resultados menos precisos en este campo (KASINATHAN et al., 2020).

Las plantaciones de chopo (*Populus* spp.) representan un recurso clave para la producción de madera en países europeos como Francia, España e Italia, con más de 500.000 ha de choperas productivas en Europa (FAO, 2012). Sin embargo, en estos países no existe ningún protocolo estandarizado de toma de datos de daños o una base de datos que los propietarios o las empresas forestales puedan consultar para informarse del grado de afección de una plaga/enfermedad en plantaciones de chopo. Estas carencias, junto a la ausencia de un sistema de identificación automática de daños y agentes causantes en choperas supone una amenaza a toda la cadena de valor de la populicultura por los siguientes motivos: (1) falta de información: sin una base de registros de daños completa y actualizada, es difícil evaluar con precisión el alcance y la gravedad de los problemas de plagas y enfermedades en las plantaciones, (2) gestión ineficiente: sin un control y un seguimiento adecuados, los brotes epidémicos de plagas y enfermedades pueden generalizarse y ser más difíciles de controlar, lo que da como resultado menores crecimientos de los árboles, mayores costes de producción y menores ganancias para los productores, (3) falta de datos para la investigación: la falta de datos sobre brotes epidémicos de plagas y enfermedades en las choperas puede dificultar la investigación y el desarrollo de nuevas estrategias de gestión sanitaria, así como la comprensión de los impactos del cambio climático en la dinámica de plagas y enfermedades en estos sistemas y (4) dificultad para analizar la dinámica de los problemas sanitarios: sin una base de datos completa y actualizada con datos de campo masivos, es más difícil plantear las estrategias de gestión y realizar las mejoras necesarias.



Por ello, la aplicación web que aquí se presenta (AppPopuli+) se plantea como una solución innovadora para abordar estas necesidades, combinando ciencia ciudadana e inteligencia artificial para la identificación y reporte en tiempo real de daños en choperas. Diseñada para ser accesible tanto a especialistas como a ciudadanos comunes, esta aplicación web facilita la detección temprana de plagas y enfermedades, promoviendo la gestión sostenible de las plantaciones forestales y el control eficaz de amenazas fitosanitarias. Este trabajo describe las características y funcionalidades de AppPopuli+, así como los resultados obtenidos durante su desarrollo y pruebas iniciales.

2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo fue desarrollar una aplicación gratuita que permita enviar, en tiempo real, alertas sobre el estado sanitario de plantaciones/masas naturales de chopo (*Populus* spp.) a partir de los síntomas observados en campo, además de identificar, en base a las fotografías subidas por el usuario, la plaga o enfermedad causante del daño.

3. Metodología

Este trabajo se estructuró en las fases siguientes:

1. Diseño de los contenidos y funcionalidades de la aplicación

Los contenidos y funcionalidades que debe incluir la aplicación se establecieron considerando la retroalimentación de dos empresas mentoras del sector del chopo (Bosques y Ríos y Garnica) y de la administración forestal. Los principales requisitos que plantearon estos supervisores fueron: (i) Envío de informes con datos del problema sanitario (entre otros: ubicación geográfica del daño, fecha en que se identificó el daño, etc.), (ii) Información de contacto del usuario, (iii) Sección de ayuda al usuario, (iv) Almacenamiento de la información de los informes en una base de datos, (v) Envío de imágenes del daño y respuesta de la aplicación con la identificación más probable del daño.

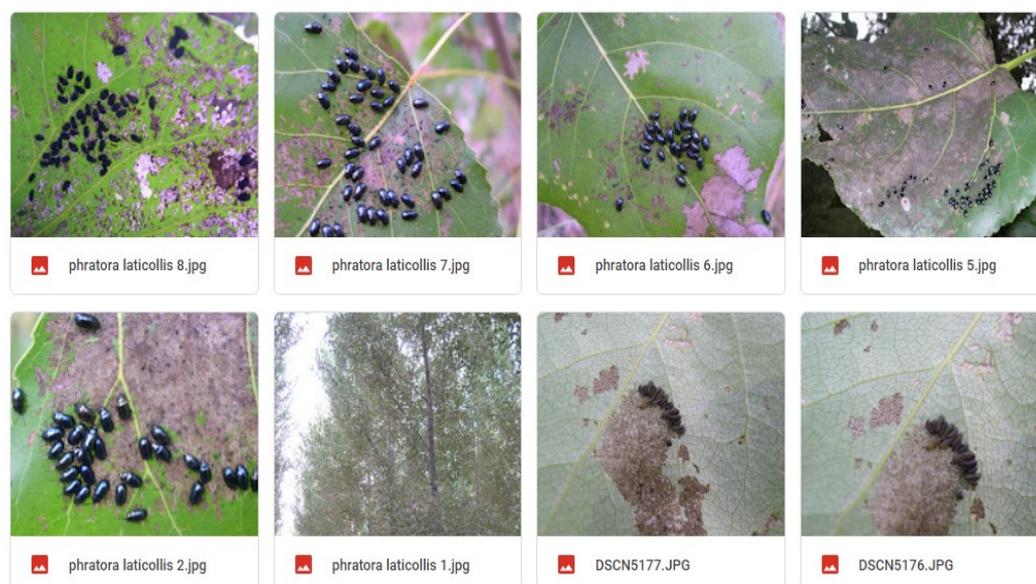
2. Diseño de prototipo de la aplicación y de la base de datos.

En esta fase se identificaron los datos que deben ser almacenados y las relaciones que pueden existir entre ellos. Dada la información que se necesita almacenar fueron necesarias las siguientes tablas: una para los reportes de daños, una para los usuarios (datos de contacto, para luego ingresar con esos datos), una para el listado de plagas y enfermedades (los datos están disponibles en la sección de ayuda), otra para los síntomas enumerados (la información está disponible en la sección de ayuda), y otra con las imágenes de daños de la base de datos. La aplicación está enfocada (pero no limitada) para su uso a través de dispositivos móviles, lo cual se tuvo en cuenta a la hora de diseñar la interfaz, garantizando una experiencia de usuario satisfactoria sin importar el dispositivo desde el que se acceda y el tamaño de la pantalla de este.

3. Toma de datos: captura y clasificación de las imágenes con los síntomas de daños por plagas/enfermedades para la base de datos de entrenamiento del

modelo de clasificación.

Se emplearon tres fuentes distintas para generar la base de datos de entrenamiento. En primer lugar, las fotografías de daños de las bases de datos propias de las empresas colaboradoras (Garnica y Bosques y Ríos), que se clasificaron manualmente de acuerdo con sus síntomas para asignarlas al agente causante (Figura 1). En segundo lugar, las fotografías tomadas en campo en dos parcelas multiclonales de la red proporcionada por la empresa Bosques y Ríos, una representativa de parcelas jóvenes (“VDJ2019”) y otra de parcelas adultas (“Villasabariago2012”), localizadas en la provincia de León. Cada una de las fotografías se asignó a una plaga/enfermedad, en caso de detectarse un daño o más en el árbol. Por último, se emplearon fotografías de insectos disponibles en internet para completar la muestra de algunas clases. En total se utilizaron 1.500 imágenes de 29 plagas/enfermedades.



*Figura 1. Ejemplo de imágenes de la base de datos empleadas para entrenar y validar el modelo de identificación de plagas/enfermedades. En este ejemplo, todas ellas relativas al crisomélido defoliador *Phratora laticollis*.*

4. Desarrollo de los modelos de inteligencia artificial para la clasificación de imágenes nuevas. Entrenamiento y validación.

El entrenamiento y validación de modelos de aprendizaje automático supervisado se realizó con el objetivo de clasificar imágenes en 29 categorías de plagas y enfermedades. La Figura 2 muestra el número de elementos por clase (plaga/enfermedad) empleados, incluyendo la clase “sano” (es decir, sin daño aparente).

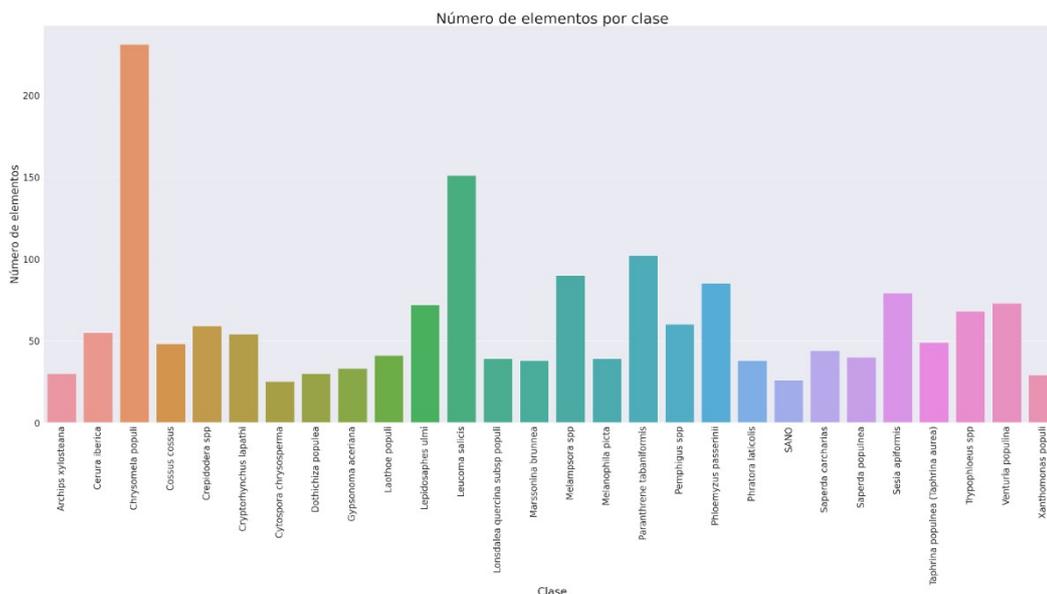


Figura 2. Número de elementos por clase (plaga/enfermedad) empleados para entrenar/validar el modelo.

Para elaborar el modelo de clasificación se probaron las siguientes redes/modelos: MobileNetV3Large, ViT (Vision Transformer) - vit_b16, VGG19, EfficientNetB7, (v) InceptionResNetV2 y VGG16 Preentrenado. Además se testaron variaciones en los siguientes parámetros: (i) modificaciones en la tasa de aprendizaje, para encontrar la que mejor ayudara al modelo a converger de manera rápida y estable, (ii) tamaño del lote (tamaños más pequeños para reducir la memoria y más grandes para mejorar el rendimiento) para encontrar el equilibrio adecuado, (iii) diferentes combinaciones de aumento de datos, para mejorar la capacidad del modelo de generalizar, reduciendo el riesgo de sobreajuste, y (iv) regularización L2, para prevenir el sobreajuste, ajustando la penalización de los pesos en las capas densas.

Se realizó una separación de los datos en un 70% para entrenamiento y un 30% para validación. Además, se emplearon técnicas de regularización para evitar overfitting o underfitting que puedan provocar problemas de precisión en los modelos obtenidos. Como indicador de la capacidad predictiva del modelo se empleó la exactitud global en la clasificación del daño presente en las fotografías empleando estos algoritmos.

- Integración en la aplicación web “AppPopuli+” del sistema de clasificación de imágenes según la plaga/enfermedad presente.

Una vez entrenados y validados los modelos, el modelo que resultó seleccionado se integró en la aplicación web AppPopuli+. Esta aplicación permite clasificar las imágenes de los daños/agentes causantes tomadas por el usuario en la chopera una vez subidas a la aplicación, asignándole la probabilidad de que se trate de una determinada plaga/enfermedad de forma automática. Además, la aplicación permite enviar un informe de daños rellenado de manera individual por el usuario a través de un formulario que debe cumplimentar con información relativa a la chopera dañada como, por ejemplo, la localización geográfica, severidad del daño,



etc.; de manera que estos datos son almacenados en una base de datos. Por otro lado, la aplicación cuenta con un apartado de “Explorar” que muestra, mediante una tabla, algunos de los datos de los informes enviados por los usuarios junto con su posición marcada en un mapamundi.

6. Validación del uso de la herramienta por parte de usuarios expertos y no expertos

La fase final de validación de AppPopuli+ se realizó mediante su uso por parte de un panel de usuarios expertos y un panel de usuarios no expertos, en gabinete y en campo. Los paneles realizaron una evaluación de la aplicación web empleando como indicadores de referencia las siguientes métricas: (i) usabilidad (facilidad de aprendizaje, consistencia, recuperabilidad, retención en el tiempo, flexibilidad), (ii) confiabilidad (frecuencia y severidad de los fallos), (iii) funcionalidad (adecuación, seguridad, cumplimiento). La evaluación se realizó empleando escalas de valores para cada criterio de calidad. Además, se solicitó una valoración de su satisfacción general y de cuánto pagaría por su uso.

4. Resultados

5. Apariencia, contenidos y funcionalidades de la aplicación

El acceso a la aplicación es a través del enlace siguiente: <http://test.apppopuli.es>. Se dispone de una versión en español y otra en inglés (para su uso en otras regiones de Europa, fundamentalmente Italia y Francia). La interfaz dispone de un menú de acceso/registro y otro para identificar e informar de los daños (Figura 3), además de una sección de ayuda con información sobre todas las plagas y enfermedades incluídas en la aplicación y sus síntomas. Asimismo, existe una sección para ver los informes públicos ya subidos a la aplicación por otros usuarios.

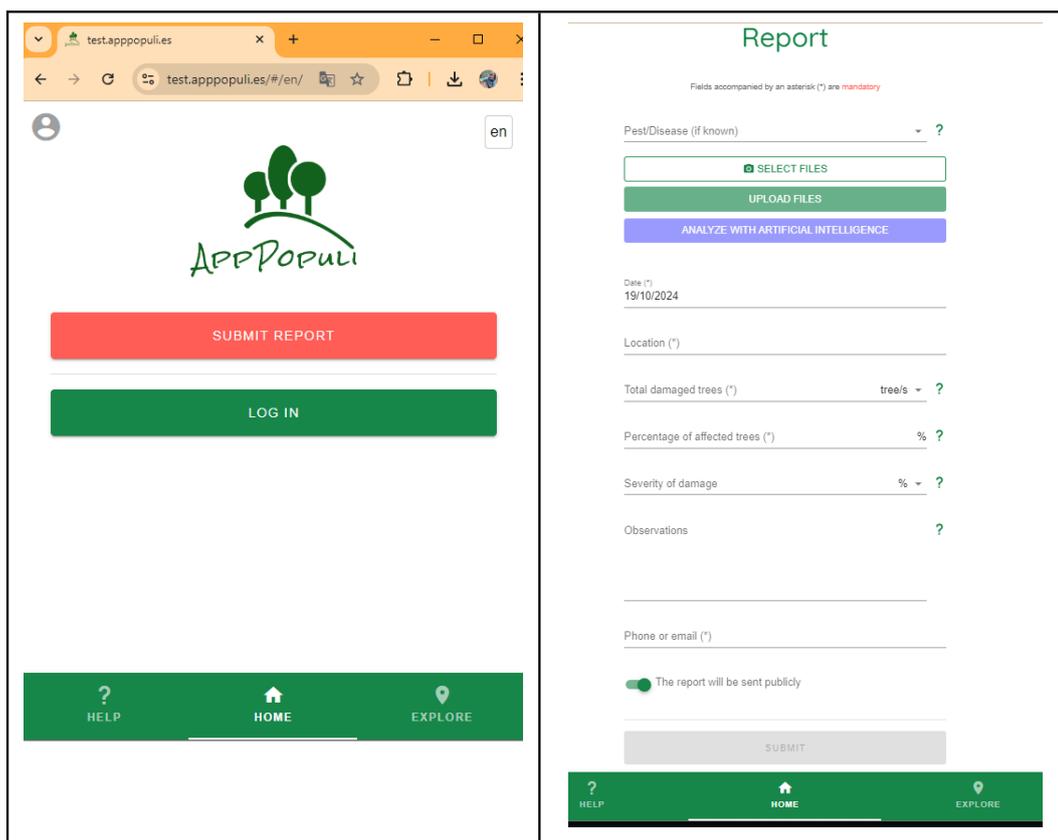


Figura 3. Interfaz de entrada de la aplicación (izda.) y menú para identificar e informar de los daños (dcha.).

La Tabla 1 muestra el contenido de la aplicación, indicando, para cada ítem, si es obligatorio introducir/seleccionar un valor o no.

Tabla 1. Contenido de AppPopuli+

| Item |
|---|
| Localización geográfica (automática o manual) (OBLIGATORIO) |
| Posibilidad de que si se hace zoom para ver en detalle, se cargue por defecto la ortofoto de la zona |
| Fecha (por defecto el día actual y posibilidad de selección en calendario manualmente) (OBLIGATORIO) |
| Fotografías (cámara o galería) (si no se tiene certeza sobre el daño) (OPCIONAL) |
| Identificación del daño (si se conoce) (desplegable con opciones, opción "Otro" en la que se pueda escribir texto libre, y opción "No sé") (OBLIGATORIO) |
| Campo "Observaciones" (OPCIONAL) |
| Extensión del daño: desplegable de escala (escala interpretada: 1 árbol, 2-10 árboles, 10-100 árboles, >100 árboles) (OBLIGATORIO) |
| Severidad del daño: desplegable de escala (escala interpretada: 0-25 (si afecta entre el 0 y el 25% del árbol -de la copa o del tronco, según el daño observado); 25-75, (si afecta a 25-75%); >75 (si afecta más del 75%) (OPCIONAL) |
| Información de contacto del que proporciona la alerta (e-mail) (OBLIGATORIO) |
| Posibilidad de que el informe de daños sea visible en la App: sólo para los usuarios que dan permiso y para las observaciones que se han supervisado |
| Posibilidad de que el usuario pueda elegir si es público o no el informe que sube. |
| Mapa con observaciones en la App: sólo para los casos en los que los usuarios dan permiso y se han supervisado |
| Dos opciones a la hora de informar los daños: <ul style="list-style-type: none"> - Opción "Subir Informe" - Opción "Identificar daño y subir informe" De este modo, en todos los casos se tiene el informe de daños, y además, si alguien lo necesita, tiene la identificación automática de su daño. |

| |
|---|
| Para la opción "Identificar daño y subir informe", si el usuario no está seguro de la identificación usando el algoritmo de la App, tiene la posibilidad de realizar una "Clasificación manual" |
| Apartado de ayuda. Vídeos: cómo usar app y cómo hacer fotos, cómo completar campos |
| Apartado de ayuda. Texto resumen: cómo usar app y cómo hacer fotos, cómo completar campos |
| Apartado de ayuda. Información plagas y enfermedades: fichas para cada enfermedad/plaga y desplegables |

2. Ajuste y validación de los modelos de inteligencia artificial para la clasificación de imágenes nuevas.

El modelo final utilizado fue InceptionResNetV2, con optimizaciones específicas para una mejor eficiencia computacional y precisión, obteniéndose una exactitud global del 82%. Esta red se basa en la combinación de las arquitecturas Inception y ResNet, aprovechando las capas residuales y las convoluciones más eficientes para extraer características de las imágenes de manera más efectiva (PENG et al., 2022). Este modelo fue seleccionado tras una evaluación exhaustiva de diferentes arquitecturas testadas, y se considera el que proporciona los mejores resultados en términos de precisión en la tarea de clasificación de enfermedades a partir de imágenes.

En cuanto a los otros modelos probados, MobileNetV3Large, optimizado para dispositivos con recursos limitados, mostró un rendimiento aceptable pero no alcanzó la precisión del modelo final, mientras que ViT (Vision Transformer) - vit_b16, a pesar de su arquitectura basada en transformers, que ha sido exitosa en varias tareas, no alcanzó el nivel de precisión requerido para esta tarea específica. En cuanto a VGG19, este sufrió de una mayor complejidad computacional y no ofreció resultados más exactos que el modelo final. Por su parte, EfficientNetB7y VGG16 Preentrenado no obtuvieron un mejor desempeño que la arquitectura final.

Los parámetros finales utilizados fueron los siguientes:

- Tasa de Aprendizaje: 0,001, ajustada mediante el optimizador Adam, lo que ayudó a mejorar la convergencia del modelo y evitar el sobreajuste.
- Tamaño del Lote (Batch Size): 32, para equilibrar el uso de la memoria y la eficiencia en el entrenamiento.
- Función de Pérdida: categorical_crossentropy.
- Regularización: L2 en la capa densa intermedia (con un valor de 0,01) para prevenir el sobreajuste.
- Preprocesamiento de imágenes:
 - Aumento de datos (Data Augmentation) para mejorar la generalización del modelo, aplicando transformaciones como rotación, desplazamientos, aumento de brillo, y otros efectos aleatorios.
 - Re-escalado de las imágenes: factor de 1/255 para normalizarlas.
- Arquitectura:
 - Se utilizó el modelo base InceptionResNetV2, preentrenado con pesos de ImageNet y sin la capa superior (include_top=False), permitiendo personalizar la capa de salida para la clasificación multiclase de enfermedades.
 - Se congelaron las primeras 600 capas de la red base para evitar que se volvieran a entrenar durante el ajuste fino, lo que permitió que el modelo aproveche las



características previamente aprendidas en ImageNet.

- Se agregó una capa de GlobalAveragePooling2D para reducir las dimensiones de las características extraídas, seguida de una capa densa de 254 unidades con activación ReLU. La capa final de salida fue una capa densa con activación Softmax para clasificar entre los grupos deseados.

3. Integración en la aplicación web “AppPopuli+”

Una vez validado el modelo con la red InceptionResNetV2, se integró en la aplicación web “AppPopuli+”, a la que se puede acceder a través de <https://test.apppopuli.es>. La aplicación permite clasificar las imágenes de los daños/agentes causantes tomadas por el usuario en la chopera una vez subidas a la aplicación, asignándole, de forma automática, la probabilidad de que se trate de una determinada plaga/enfermedad. Además, permite enviar un informe de daños rellenado de manera individual por el usuario a través de un formulario que debe cumplimentar con información relativa a la chopera dañada como, por ejemplo, la localización geográfica, la severidad del daño, etc. (ver Tabla 1); de manera que estos datos son almacenados en una base de datos. Por otro lado, la aplicación cuenta con un apartado “Explorar”, que muestra, mediante una tabla, algunos de los datos de los informes enviados por los usuarios junto con su posición marcada en un mapamundi. Dispone asimismo de un formulario para enviar feedback sobre su uso.

4. Validación del uso de la herramienta por parte de usuarios expertos y no expertos

Respecto a la usabilidad y confiabilidad se obtuvieron valores próximos a 4,9 (escala de 1 a 5, de menor a mayor usabilidad), y en cuanto a funcionalidad valores de 4 en esa misma escala. La satisfacción general obtuvo un valor medio de 9,4 en una escala de 0 a 10 (de menos a más). Por último, los usuarios no expertos valoraron el pago por uso de este sistema de identificación de daños vía web en 2 € por uso; cifra que sirve de referencia para el desarrollo del plan de negocio y estimar de forma más fiable las previsiones a corto/medio plazo.

5. Informes y uso

Desde su lanzamiento en julio de 2023, la aplicación ha registrado un incremento constante en el número de usuarios y reportes enviados. La colaboración con empresas y administraciones ha permitido ampliar la base de datos y mejorar el alcance de la aplicación. De forma pública hay 60 informes (reportes), de los cuales un 88% son en España, 7% en Italia, 2% en Lituania, 1% en Francia y 2% sin registro de la ubicación. Respecto a las plagas/enfermedades de los informes, en el 63% de los casos se desconocía la plaga/enfermedad, y la especie plaga más reportada fue *Phloeomyzus passerinii* (pulgón lanífero) (8 %) (Figura 4). En cuanto a la severidad de los daños, la mayoría de los informes (47%) (Figura 5) se refieren a chopos con una afección del daño entre el 0-25% (del árbol total, de la copa o del tronco, según la naturaleza del daño), mientras que sólo el 13% se refiere a daños muy severos (más del 75% del árbol, copa o tronco afectado)

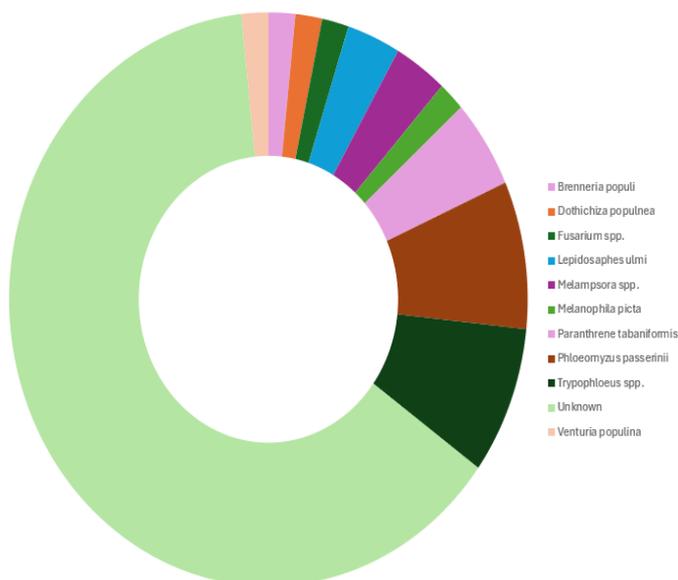


Figura 4. Frecuencia de las especies causantes de plagas/enfermedades en los informes subidos a AppPopuli+.

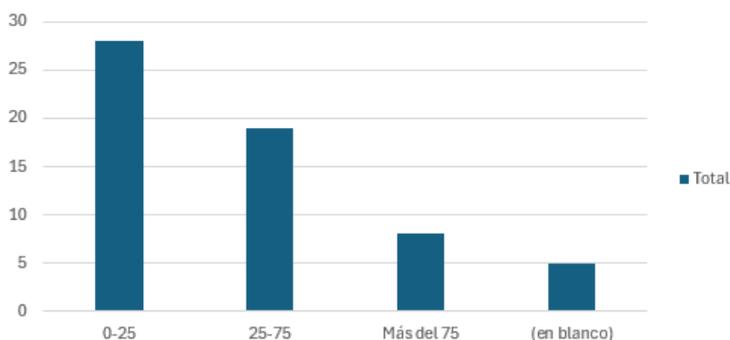


Figura 5. Severidad (% del árbol total, de la copa o del tronco afectado, según la naturaleza del daño) de las plagas/enfermedades en los informes subidos a AppPopuli+

5. Discusión

La red InceptionResNetV2 alcanzó una precisión del 82% en la identificación de plagas y enfermedades. Este resultado demuestra la eficacia de las redes neuronales profundas para el análisis de imágenes en aplicaciones forestales, y se alinea con resultados de trabajos previos, como KASINATHAN et al. (2020), que con modelo CNN logró una tasa de clasificación del 91,5% y 90% para diferentes clases de insectos, o NANNI et al. (2022), que utilizando arquitecturas ResNet50 y DenseNet201 alcanzaron precisiones del 95,52% en identificación de plagas en imágenes. Además, las CNNs se han demostrado efectivas (exactitudes del 74,7%) en entornos complejos y pueden integrarse en sistemas en tiempo real, como aplicaciones para la detección de plagas en sistemas móviles como Raspberri Pi (KHALID et al., 2023).



En este trabajo se identificaron limitaciones en clases con menor representación de datos (e.g. *Dothichiza populea*), lo que resalta la importancia de aumentar la base de datos de imágenes para mejorar la capacidad discriminadora de los modelos. Para mejorar el reconocimiento de imágenes de grano fino, se podrían emplear modelos avanzados como Graph-Related High-Order Neural Network (GHA-Net), que mejoran la agregación de características y utiliza un módulo de convolución gráfica para analizar representaciones correlacionadas con gráficos, lo que lleva a una mayor precisión y eficiencia en la identificación de plagas y enfermedades de las plantas (KONG et al., 2022). Aunque el modelo final fue seleccionado tras un exhaustivo proceso de experimentación, existen otras alternativas y configuraciones que podrían haber tenido un impacto positivo en los resultados, como redes de mayor profundidad (e.g. ResNet152), otras versiones de Inception (variantes como InceptionV3 o InceptionV4) o modelos basados en transformers más grandes (e.g. ViT-Large o Swin Transformer).

Aunque los avances han sido continuos durante la última década, persisten desafíos en la utilización efectiva de los datos de las imágenes usadas en la calibración y la escalabilidad de los modelos de predicción. Por ello los siguientes pasos en ese campo deberían centrarse en mejorar la robustez de los modelos de IA contra el sobreajuste, mejorar las técnicas de extracción de características y desarrollar soluciones escalables para aplicaciones a gran escala (ZHAO et al., 2020).

En cuanto a la participación ciudadana, esta aplicación la promueve mediante: (i) el acceso abierto, puesto que está disponible de forma gratuita, (ii) la facilidad de uso, ya que la interfaz está diseñada para usuarios especializados y no especializados, y (iii) la información educativa, al incluir incluyen guías visuales y descripciones detalladas para ayudar en la identificación. Además, la realización de dos jornadas de difusión, en Valencia de Don Juan (León) y en Navarra, con populicatures, técnicos de empresas y de la administración y público en general entre los asistentes, ha ayudado a su difusión y a aumentar la cantidad y calidad de los datos capturados. En este ámbito, si bien la ciencia ciudadana puede aumentar significativamente el alcance de la detección y seguimiento de plagas y enfermedades, su punto débil es el riesgo en el sesgo de datos y la precisión (Baker et al., 2018).

Una vez analizados los resultados de exactitud y el uso de la herramienta por parte de usuarios expertos y no expertos, se deduce que la App tiene como ventajas y como aspectos novedosos respecto a otros sistemas de seguimiento e identificación de daños los siguientes: (i) empleo de la inteligencia artificial para la identificación de plagas y enfermedades a partir de fotos tomadas con la cámara/teléfono del usuario, (ii) disminución de costes, puesto que en muchos casos no será necesario enviar la muestra a un laboratorio para diagnosticar el causante del daño, (iii) es aplicable a escala regional y a grandes extensiones sin incrementar los costes de procesamiento ni de almacenamiento de la información, (iv) permite que un usuario no experto en sanidad forestal obtenga, a través de la aplicación, información clara e inmediata del estado sanitario de su chopera, y (v) no existe ninguna herramienta equivalente o similar en el sector de la



populicultura ni en España ni en el resto de Europa.

6. Conclusiones

La aplicación web AppPopuli+ representa un avance significativo en la integración de ciencia ciudadana e inteligencia artificial para la identificación y gestión de plagas y enfermedades en choperas. Con una precisión del 82% en la clasificación de las especies causantes del daño, la aplicación demuestra la efectividad de los algoritmos de aprendizaje profundo (deep learning) para abordar la identificación de agentes dañinos. El diseño intuitivo, accesibilidad y enfoque inclusivo para usuarios expertos y no expertos de la aplicación fomentan la participación ciudadana, incrementando la cobertura y calidad de los datos recopilados. A futuro, se planea expandir la base de datos, incorporar más funcionalidades y fomentar el uso generalizado de la herramienta.

7. Agradecimientos

Financiado parcialmente por el Ministerio de Universidades, Real Decreto 1059/2021, de 30 de noviembre, por el que se regula la concesión directa de diversas subvenciones a las universidades participantes en el proyecto “Universidades Europeas” de la Comisión Europea” y “European Education and Culture Executive Agency, Project: 101124439 — EURECA-PRO 2.0 — ERASMUS-EDU-2023-EUR-UNIV

8. Bibliografía

BAKER, E.; JEGER, M.; MUMFORD, J.; BROWN, N.; 2018. Enhancing Plant Biosecurity with Citizen Science Monitoring: Comparing Methodologies Using Reports of Acute Oak Decline. *J. Geogr. Syst.* 21, 111–131.

CREAF; s.f. AlertaForestal. Disponible en: <https://www.alertaforestal.com/es/>. Accedido 14/01/2025.

CSIC; s.f. Red de Observación de decaimiento del encinar. Disponible en: <https://decaimientoencinar.wixsite.com/decaimientoencinar>. Accedido 14/01/2025.

CROW, P.; GROOT, M.; 2020. Using Citizen Science to Monitor the Spread of Tree Pests and Diseases: Outcomes of Two Projects in Slovenia and the UK. *Manag. Biol. Invasions.* 11, 4.

DE GROOT, M.; POCOCK, M.J.O.; BONTE, J.; BREMANN, U.; HOVORKA, T.; MACEK, P.; MÜLLER, J.; STERGIU, P.; TURCSA, P.; WERNER, L.A.; ZIEMBLIKI, M.; 2023. Citizen Science and Monitoring Forest Pests: A Beneficial Alliance? *Curr. Forestry Rep.* 9, 15–32.

FAO.; 2012. Improving lives with poplars and willows. Synthesis of Country Progress Reports. En: 24th Session of the International Poplar Commission, Dehradun, India, 30 Oct-2 Nov 2012. Working Paper IPC/12. Forest Assessment,



Management and Conservation Division, FAO, Rome.

KHALID, S.; OQAIBI, H.; AQIB, M.; HAFEEZ, Y.; 2023. Small Pests Detection in Field Crops Using Deep Learning Object Detection. Sustainability. 15, 6815.

KHAN, K.; ALJAEDI, A.; ISHTIAQ, M.; IMAM, H.; BASSFAR, Z.; JAMAL, S.; 2024. Disease Detection in Grape Cultivation Using Strategically Placed Cameras and Machine Learning Algorithms with a Focus on Powdery Mildew and Blotches. IEEE Access, 12, 139505–139523.

KASINATHAN, T.; SINGARAJU, D.; UYYALA, S.; 2020. Insect Classification and Detection in Field Crops Using Modern Machine Learning Techniques. Inf. Process. Agric. 8, 446-457.

KONG, J.; YANG, C.; XIAO, Y.; LIN, S.; K., ; ZHU, Q.; 2022. A Graph-Related High-Order Neural Network Architecture via Feature Aggregation Enhancement for Identification Application of Diseases and Pests. Comput. Intell. Neurosci. 391491, 16 pp.

LAUSCH, A.; BORG, E.; BUMBERGER, J.; DIETRICH, P.; HEURICH, M.; HUTH, A.; JUNG, A.; KLENKE, R.; KNAPP, S.; MOLLENHAUER, H.; PAASCHE, H.; PAULHEIM, H.; PAUSE, M.; SCHWEITZER, C.; SCHMULIUS, C.; SETTELE, J.; SKIDMORE, A.K.; WEGMANN, M.; ZACHARIAS, S.; KIRSTEN, T.; SCHAEPMAN, M.E.; 2018. Understanding Forest Health with Remote Sensing, Part III: Requirements for a Scalable Multi-Source Forest Health Monitoring Network Based on Data Science Approaches. Remote Sens. 10, 1120.

MITECO.; 2020. La Red Europea de Daños en los Bosques, Nivel I. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/redes-europeas-seguimiento-bosques/red_nivel_1_danos.html. Accedido 14/01/2025

MITECO.; 2022. Red europea de seguimiento intensivo y continuo de los ecosistemas forestales. Red de nivel II. Memoria – 2022. Dirección General de Biodiversidad, Bosques y Desertificación. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/ES-00-Memoria-22-Dist.pdf>. Accedido 14/01/2024.

MOHSIN, M.; RAMISA, S.; SAAD, M.; RABBANI, S.; TAMKIN, S.; ASHRAF, F.; REZA, M.; 2022. Classifying Insect Pests from Image Data Using Deep Learning. En: 15th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI), pp. 1–6.

NANNI, L.; MANFE, A.; MAGUOLO, G.; LUMINI, A.; BRAHNAM, S.; 2022. High Performing Ensemble of Convolutional Neural Networks for Insect Pest Image



Detection. Ecol. Inform. 67, 101515.

PENG, C.; LIU, Y.; YUAN, X.; CHEN, Q.; 2022. Research of Image Recognition Method Based on Enhanced Inception-ResNet-V2. *Multimed. Tools Appl.* 81(1), 34345–34365.

ZHAO, Z.; YANG, M.; YANG, L.; YUAN, Q.; CHI, X.; LIU, W.; 2020. Predicting the Spread of Forest Diseases and Pests. *IEEE Access*, 8, 199803–199812.