



# **ENTREGABLE E-11**

## **Informe de resultados del piloto funcional en arböria**

### **SUBSANACIÓN**

**PROYECTOS EN EL ÁMBITO DE LAS  
TECNOLOGÍAS HABILITADORAS DIGITALES**

<b>Número de expediente:</b>	TSI-100909-2019-62
<b>Programa:</b>	Impulso Tecnologías Habilitadoras Digitales (THD)
<b>Título del proyecto:</b>	TWINFOREST: GEMELO DIGITAL FORESTAL PARA CLASIFICAR USOS DEL SUELO MEDIANTE LA COMBINACIÓN DE VISIÓN ARTIFICIAL, APRENDIZAJE PROFUNDO Y SENSORES REMOTOS
<b>Beneficiario:</b>	FORA FOREST TECHNOLOGIES, S.L.L.

**DOCUMENTO:**  
ENTREGABLE E-10 'INFORME DE RESULTADOS DEL PILOTO FUNCIONAL EN ARBÖRIA' –  
SUBSANACIÓN  
PROYECTO 'TWINFOREST: GEMELO DIGITAL FORESTAL PARA CLASIFICAR USOS DEL  
SUELO MEDIANTE LA COMBINACIÓN DE VISIÓN ARTIFICIAL, APRENDIZAJE PROFUNDO  
Y SENSORES REMOTOS'

**CÓDIGO PROYECTO:**  
TSI-100909-2019-62

**FECHA:**  
16/05/2022



## LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

ACRÓNIMO ABREVIATURA	DESCRIPCIÓN
<b>3D</b>	Tres dimensiones
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>E</b>	Exactitud
<b>ESA</b>	European Space Agency
<b>F1</b>	Precisión global
<b>FN</b>	Falsos Negativos
<b>FP</b>	Falsos Positivos
<b>föra</b>	Fora forest technologies, S.LL
<b>GSV</b>	Google Street View
<b>IGN</b>	Instituto Geográfico Nacional
<b>LiDAR</b>	Light Detection and Ranging
<b>MDAV</b>	Modelo Digital de Altura de Vegetación
<b>p</b>	Precisión
<b>PNOA</b>	Plan Nacional de Ortofotografía Aérea
<b>r</b>	Exhaustividad
<b>TWINFOREST</b>	Gemelo digital forestal para clasificar usos del suelo mediante la combinación de visión artificial, aprendizaje profundo y sensores remotos
<b>VP</b>	Verdaderos Positivos
<b>WMS</b>	Web Map Service

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	3
2.	PLATAFORMA arböria.....	3
3.	FUNCIONAMIENTO .....	4
4.	CARACTERÍSTICAS DEL VISOR.....	4
5.	PASOS PARA REALIZAR EL POSICIONADO DE ÁRBOLES.....	6
6.	PILOTO FUNCIONAL.....	7
7.	RESULTADOS .....	8
8.	CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE MEJORA .....	11

## 1. INTRODUCCIÓN

Como ha quedado reflejado en el entregable EI0-Informe sobre bondad de ajuste y validación de algoritmos, los resultados de los dos métodos desarrollados para la obtención del posicionado de árboles urbanos permiten obtener resultados muy similares.

Así, se ha optado por desarrollar una plataforma que integra la metodología basada en los datos LiDAR del PNOA, en lugar de en las imágenes de Google Street View (GSV). Los datos LiDAR del PNOA son datos abiertos que proporciona el Gobierno de España a través del Instituto Geográfico Nacional (IGN), mientras que las imágenes de GSV son datos propietarios que tienen un coste asociado, además de que solamente funcionan bien en zonas viarias.

En este entregable se presenta la plataforma arböria, en la que se ha desarrollado un piloto funcional para las localidades de Soria y Arganda del Rey (Madrid). arböria no contempla, por el momento, la descarga de imágenes de GSV, aunque no se descarta su integración si las condiciones o el mercado lo demandan.

## 2. PLATAFORMA arböria

La plataforma arböria tiene como objetivo disponer de una herramienta en la que se integren los resultados del proyecto TWINFOREST.

La plataforma es capaz de realizar el posicionado del arbolado detectado de una zona urbana determinada por el usuario, mostrando en el visor los árboles detectados para esa área de interés.



### 3. FUNCIONAMIENTO

La plataforma arböria se encuentra disponible en la dirección de internet <https://visorarboria.fora.es:3100/>

El acceso para la visualización de los resultados es abierto para todo el mundo, mientras que el acceso para la creación o modificación de resultados está restringido para usuarios avanzados.

Para poder entrar como usuario avanzado deberemos acceder con usuario y contraseña.



acceso a arböria

correo electrónico

contraseña

recordarme ☐

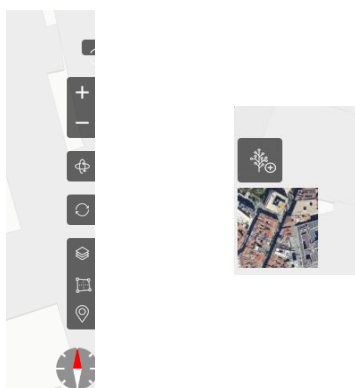
entrar

o ir a inicio  
¿ha olvidado la contraseña?

Una vez validados los datos de acceso, el usuario puede hacer uso de todas las funcionalidades de la aplicación.

### 4. CARACTERÍSTICAS DEL VISOR


El visor de arböria muestra los árboles detectados en un mapa interactivo. Este visor tiene varias funcionalidades que se pueden elegir por medio de menús y botones situados en la plataforma.



Las características principales son las siguientes:

- Modo Mapa / Satélite: En el visor se puede elegir la vista del fondo principal pudiendo elegir entre Mapa u ortofoto.



- Rotar mapa: El mapa se puede rotar con el botón izquierdo del ratón o pulsando el icono  mostrando una imagen 3D con mayor perspectiva de los árboles situados.



- Capas: Se pueden añadir capas WMS a nuestro visor.

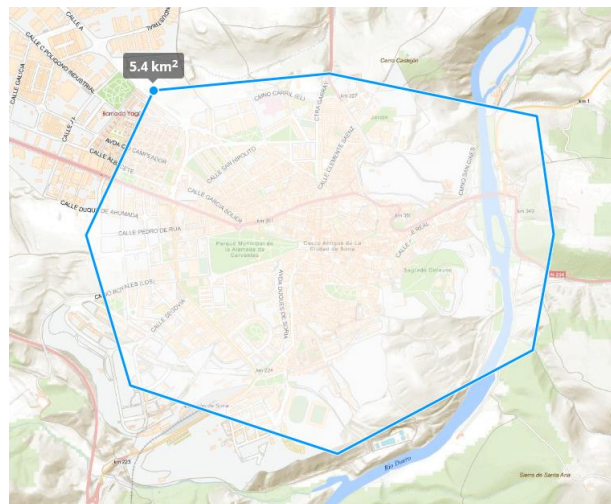


Además, se pueden editar la posición y las características de cada árbol. Al pulsar con el botón derecho del ratón sobre un árbol se muestra una ventana con las siguientes características:



## 5. PASOS PARA REALIZAR EL POSICIONADO DE ÁRBOLES

El primer paso para realizar el posicionado del arbolado de una zona urbana en arböria será seleccionar en el mapa un polígono con el área de interés. También puede importarse un archivo *shapefile* creado por el usuario con el polígono de la zona a estudiar.



Una vez seleccionado, al pulsar en aceptar se desencadenarán todos los procesos para realizar la tarea.



Paralelamente, en segundo plano, se ejecutan las siguientes tareas:

1. Descarga de *rasters* con las Ortofotos del PNOA de máxima actualidad y años anteriores según disponibilidad para la zona de estudio.
2. Descarga y procesado de LiDAR para la obtención del MDAV de la zona de estudio.
3. Recorte de los edificios de las capas anteriores.
4. Ejecución del algoritmo de detección de copas para el conjunto de puntos LiDAR.
5. Para cada punto detectado, se obtiene el zonal estadístico con las medias del valor RGB de las ortofotos descargadas.
6. Aplicación de procesos de *machine learning* para el filtrado de datos.
7. Se cargan los resultados en el visor de la plataforma arböria.

Todas estas tareas pueden tardar varios minutos o incluso horas si la zona es grande en realizarse, así que el sistema enviará un correo electrónico al usuario cuando el proceso haya finalizado.

Se puede mejorar la precisión del sistema editando manualmente parte de los resultados y volviendo a ejecutar el proceso marcando que se dispone de verdad-terreno corregida.

Una vez terminado los procesos anteriores podremos visualizar los resultados obtenidos, además de poder editar los árboles posicionados.

## 6. PILOTO FUNCIONAL

Se ha realizado un piloto funcional de arböria sobre las localidades de Soria y Arganda del Rey (Madrid). Ambas localidades tienen disponibles datos LiDAR y ortoimágenes del PNOA de distintos años. Las fuentes de datos de Arganda del Rey son más actuales y tienen más precisión que las disponibles para Soria, lo que sirve para comparar resultados.

Para la validación de resultados se utilizan bases de datos abiertas con la posición de los árboles de ambas ciudades, obtenidas a través de la Oficina del Dato del Gobierno de España. Estas bases de datos han sido corregidas fotointerpretando manualmente con ayuda de imágenes satelitales del programa Copernicus de la ESA.

Para esta validación se han creado varias zonas circulares de 300 m de radio que utilizaremos como punto de partida de nuestro proceso.

Para las dos ciudades se han elegido tres zonas distintas, una zona residencial de edificios altos, otra de residencial de viviendas unifamiliares y una zona de casco urbano.<sup>1</sup>



PAMPLONA



SORIA

## 7. RESULTADOS

Por un lado, se pretende valorar el grado de automatización del proceso, es decir, si la plataforma arböria cumple con su funcionalidad, será capaz de realizar un posicionado de árboles de manera automática. Por otro lado, se valorará la precisión de los resultados obtenidos.

Referente al primer punto, las fuentes de datos no son uniformes para todas las zonas de España, hay zonas donde hay disponibles datos LiDAR más actuales que en otras y hay zonas con ortoimágenes del PNOA de varios años y otras que solamente tienen la de un año.

El sistema desarrollado obtiene mejores resultados al filtrar los resultados con los datos LiDAR del PNOA de 2017, que han sido con los que se ha entrenado el modelo de *machine learning*.

Todos estos aspectos se deben de tener en cuenta a la hora de configurar el proceso. Es decir, para que funcione con un solo clic, se tendrá que darle un archivo con la configuración con las fuentes WMS disponibles.

Por ejemplo, el proceso para Arganda del Rey es:

```
"PNOA_17": {
  "pre": "17",
  "url":
"crs=EPSG:4326&dpiMode=7&format=image/png&layers=PNOA2017&styles&url=https://www.ign.es/wms/pnoa-historico",
  "crs":25830
},
"PNOA_MA": {
  "pre": "MA",
  "url":
"crs=EPSG:25830&dpiMode=7&format=image/png&layers=OI.OrthoimageCoverage&styles&url=http://www.ign.es/wms-
inspire/pnoa-ma",
  "crs":25830
},
"Google_Satelite": {
  "pre": "GS",
  "url":
"type=xyz&url=https://mt1.google.com/vt/lyrs%3Ds%26x%3D%7Bx%7D%26y%3D%7By%7D%26z%3D%7Bz%7D&zmax=25&zmin=0",
  "crs":3857
}
```

Mientras que para Soria es:

```
"PNOA_17": {
  "pre": "17",
  "url":
"crs=EPSG:4326&dpiMode=7&format=image/png&layers=PNOA2017&styles&url=https://www.ign.es/wms/pnoa-historico",
  "crs":25830
}
```

En el futuro se creará una base de datos con las configuraciones de todas las zonas para que estos valores no deban ser modificados. Esta base de datos se irá actualizando según vayan estando disponibles nuevas fuentes de datos.

Como ya se ha señalado, el proceso de ejecución de todos los pasos puede tardar desde unos minutos a varias horas en función del tamaño de la zona a estudiar.

Los resultados obtenidos para Soria y Arganda del Rey son los siguientes:

SORIA	Ground True	True Pos. (TP)	False Positive (FP)	False Negative (FN)	Precision	Recall	F1
Zona 1	859	289	254	504	53,22%	36,44%	43,26%
zona 2	528	196	392	279	33,33%	41,26%	36,88%
Zona 3	436	221	439	174	33,48%	55,95%	41,90%
<b>Todas las zonas</b>	<b>1.823</b>	<b>706</b>	<b>1.085</b>	<b>957</b>	<b>39,42%</b>	<b>42,45%</b>	<b>40,88%</b>

ARGANDA DEL REY	Ground True	True Pos. (TP)	False Positive (FP)	False Negative (FN)	Precision	Recall	F1
Zona 1	1269	873	742	345	54,06%	71,67%	61,63%
zona 2	1419	614	66	794	90,29%	43,61%	58,81%
Zona 3	1295	913	616	337	59,71%	73,04%	65,71%
<b>Todas las zonas</b>	<b>3.983</b>	<b>2.400</b>	<b>1.424</b>	<b>1.476</b>	<b>62,76%</b>	<b>61,92%</b>	<b>62,34%</b>

Los resultados están expresados en términos de tasa de error relativa. La evaluación de la precisión se ha basado en la evaluación de medidas estadísticas basadas en los datos de Verdaderos Positivos (VP, detección correcta, árboles bien detectados), Falsos Negativos (FN, error de omisión o árboles no detectados), Falsos Positivos (FP, error de comisión o árboles detectados que no son árboles). Con estos datos se han obtenido los siguientes estadísticos: exhaustividad (r), precisión (p), precisión global (F1) y exactitud (E). La exhaustividad nos da una medida de los árboles detectados y está inversamente relacionado con el error de omisión, la precisión implica una medida de los árboles correctamente detectados y está inversamente relacionada con el error de comisión, y el F1 nos permite combinar precisión y exhaustividad en un único valor a través de una modificación de su media. La formulación de los estadísticos se muestra a continuación:

$$r = \frac{VP}{VP + FN}$$

$$p = \frac{VP}{VP + FP}$$

$$F1 = \frac{2 \times r \times p}{r + p}$$

La precisión es una gran medida cuando los datos son simétricos (número parecido de FP y FN), y en donde ambos errores tienen la misma influencia. En nuestro caso los FP tiene menor influencia ya que en la fase de depurado se busca minimizarlos. En el caso en que la influencia sea diferente, es mejor evaluar la F. Por otra parte, la exhaustividad hace referencia a lo seguro que estás de que no perder VP, es decir al número de VP respecto a todos los

árboles reales detectables. Así la exhaustividad es el estadístico más importante cuando no te importa tener más FP a costa de tener menos FN. Ese es nuestro caso antes de la depuración, ya que se busca tener el máximo de ápices y minimizar los FN, aunque todo ello implique tener muchos FP que después tendremos que depurar. Para este trabajo se busca un equilibrio entre los tres estadísticos.

## 8. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE MEJORA

Los resultados para la ciudad de Soria son de inferior calidad que los resultados obtenidos para Arganda del Rey. Esta diferencia se debe en a que la densidad de los datos LiDAR de partida de la ciudad de Soria son de 0.5 punto por m<sup>2</sup> mientras que los datos de Arganda son de 1 punto por m<sup>2</sup>. Además, Arganda del Rey dispone de ortofotos de varios años, mientras que Soria solamente dispone de una.

Con las herramientas de edición de árboles de la plataforma arböria podemos corregir fácilmente la posición de los árboles por medio de foto interpretación de imágenes de satélite y de GSV. También se podría utilizar la aplicación en una plataforma portátil como puede ser un *smartphone* o tableta y editar los árboles a pie de calle.

En el futuro se podrán añadir a la plataforma nuevas funcionalidades, como puede ser el cálculo de CO<sub>2</sub> capturado por los árboles, el cálculo de las distancias de los árboles a edificios o incluso crear una herramienta para llevar el seguimiento del mantenimiento de los árboles.

arböria es una herramienta con alto potencial de crecimiento, que en el futuro cercano aportará a föra un abanico de clientes que hasta ahora no estaban siendo considerados y que ha permitido a la empresa desarrollar su primer producto basado en técnicas de visión computacional gracias al proyecto TWINFOREST.

A continuación, indicamos algunas propuestas de mejora para situar el error por debajo del 15%:

- **Mejorando la calidad de los datos de partida**, en el transcurso de este proyecto se ha puesto de manifiesto que los resultados obtenidos dependen mucho de la calidad de los datos de partida.

En este caso, los datos utilizados son imágenes de Google Street View y nubes de puntos LiDAR del PNOA.

Se ha comprobado que los resultados de ciudades con peores datos LiDAR, como puede ser Soria (1 pto/m<sup>2</sup>) son mucho peores que los de ciudades como Pamplona que tienen datos LiDAR de densidad 15 pto/m<sup>2</sup>. Siguiendo esta lógica se puede pensar que si se utilizan fuentes de datos LiDAR con mayor precisión, el error disminuirá de forma significativa. Lo mismo sucedería si se utilizasen imágenes a pie de calle de otras fuentes. Las imágenes de GSV están tomadas cada 20 m de distancia, si esas imágenes se hicieran cada menos distancia o incluso fueran continuas (videos) se mejorarían los datos. Estos datos permitirían replicar las técnicas de los vehículos autónomos o equipos de *mobile mapping*, que obtienen resultados mucho más precisos.

- **Mejorando los algoritmos utilizados**, hay muchos algoritmos utilizados como pueden ser la triangulación, la detección de ápices, o incluso las técnicas de visión computacional para detectar y segmentar objetos por medio de redes neuronales que están sometidos a procesos de mejora constante. Utilizar estas nuevas técnicas, permitirá mejorar los resultados del proyecto.