

# HERRAMIENTAS DIGITALES Y CIENCIA ABIERTA PARA LA ENSEÑANZA SECUNDARIA

Felipe Bravo Oviedo

SMART Ecosystems – iuFOR

Universidad de Valladolid (campus de Palencia)

IES Jorge Manrique (Palencia), 19 de febrero de 2024

## INDICE

1. Introducción
  2. Ciencia abierta
    - a. ¿Qué es?
    - b. Datos abiertos y enlazados
  3. Anotación de árboles
  4. El Inventario Forestal y el Mapa Forestal Nacional
  5. Casos de uso
    - a. ¿Cuánto carbono fija este bosque
    - b. ¿Cuál es la altura de este árbol si solo puedo medir su diámetro?
- 

## 1. Introducción

En el marco del programa de formación del profesorado el IES Jorge Manrique de Palencia (Consejería de Educación de la Junta de Castilla y León) se desarrolló una serie de seminarios sobre Herramientas digitales aplicadas en los laboratorios del área de ciencias. En este seminario presentaré los conceptos de ciencia y datos abiertos enlazados, dos aplicaciones web que permiten trabajar con los estudiantes y dos casos de uso aplicables en educación secundaria y bachillerato.

En este seminario se presentan ejemplos, ideas y resultados de los siguientes proyectos financiados por la Consejería de Educación (Junta de Castilla y León), Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (Gobierno de España) y la Unión Europea:

- LOD-for.trees
- IMFLEX
- Escalera de Excelencia iuFOR
- Virtual Forests

A continuación, vamos a presentar el concepto de ciencia abierta, un método para anotar árboles siguiendo los principios de los datos abiertos enlazados, una forma de consultar datos sobre el estado de los bosques españoles y portugueses y dos casos de uso en el aula.

## 2. Ciencia abierta

*¿Qué es?*

La UNESCO<sup>1</sup> define la ciencia abierta como *"un movimiento que pretende hacer la ciencia más abierta, accesible, eficiente, democrática y transparente. Impulsada por los avances sin precedentes en nuestro mundo digital, la transición hacia la ciencia abierta permite que la información, los datos y los productos científicos sean más accesibles (**acceso abierto**) y se aprovechen de manera más fiable (**datos abiertos**) con la participación activa de todas las partes interesadas (**apertura a la sociedad**)"* Las negritas son mías y definen los tres aspectos clave que definen a la ciencia abierta que incluyen:

- a. **Promoción de la ciencia ciudadana**<sup>2</sup> facilitando la participación de personas no especializadas y no profesionales de la ciencia tanto en la definición de los objetivos científicos como en la toma y análisis de datos y la difusión de los resultados. La FECYT del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades mantiene el Observatorio de Ciencia Ciudadana en España (<https://ciencia-ciudadana.es/>) Existen diversas plataformas para el desarrollo de proyectos de ciencia ciudadana como por ejemplo *observation* (<https://observation.org/>) o *inaturalist* (<https://www.inaturalist.org/>) con diversidad de características en cuanto a los proyectos que mantienen, al tamaño de la comunidad o al tratamiento de los datos.
- b. **Publicación de los datos científicos** fomentando buenas prácticas para facilitar su análisis independiente y posterior uso para fines independientes de su origen. Para ello contamos con los principios FAIR<sup>3</sup> adoptados por la Unión Europea y, progresivamente, por los países que la componen y que se basa en que los datos deben ser *encontrables, accesibles, interoperables y reutilizables* (del inglés **FAIR** – Findable, Accessible, Interoperable, and Reusable) Estos principios fueron enunciados en 2016 por Wilkinson et al en un artículo en la revista *Scientific data*<sup>4</sup>. En la actualidad existen muchos repositorios en abierto donde se pueden encontrar datos científicos tanto públicos como Zenodo (<https://zenodo.org/>) o privados como Dryad (<https://datadryad.org>) o Pangea (<https://pangaea.de/>) entre otros. También las universidades

---

<sup>1</sup> <https://www.unesco.org/es/articles/que-es-ciencia-abierta-unesco-lanza-consulta-global>

<sup>2</sup> [https://es.wikipedia.org/wiki/Ciencia\\_ciudadana](https://es.wikipedia.org/wiki/Ciencia_ciudadana)

<sup>3</sup> <https://datos.gob.es/es/noticia/principios-fair-buenas-practicas-para-la-gestion-y-administracion-de-datos-cientificos>

<sup>4</sup> <https://www.nature.com/articles/sdata201618>

tienen repositorios de ciencia abierta donde se pueden encontrar datos (ver por ejemplo <https://uvadoc.uva.es/>) y biblioguías para fomentar la gestión de los datos científicos (ver, por ejemplo, <https://biblioguías.uva.es/datos-investigacion>)

- c. **Acceso abierto a los resultados de investigación** que implica la publicación en abierto (bajo alguna de las licencias Creative Commons<sup>5</sup>) de los artículos que muestran los resultados obtenidos por los investigadores. Muchas convocatorias públicas de proyectos de investigación incluyen entre sus requisitos la publicación en abierto de los resultados lo que ha llevado a que muchas editoriales publiquen ya artículos que pueden ser leídos por cualquier persona interesada aunque no tenga suscripciones a las revistas y que las universidades y centros de investigación tenga también sus repositorios<sup>6</sup> e incluso haya agregadores de investigación abierta como RECOLECTA de la FECYT (<https://recolecta.fecyt.es/>)

La ciencia abierta requiere no solo compartir los datos y los resultados (además de implicar a la sociedad) sino que también se publiquen las metodologías como los protocolos de datos y de laboratorio y los procedimientos de análisis incluyendo los programas y algoritmos. Existe un gradiente de reproducibilidad de la ciencia abierta donde compartir los resultados finales representa el mínimo posible y donde compartir, además de lo anterior, los métodos, los datos y los códigos de análisis de forma conectada es la manera de que la reproducibilidad del proceso científico sea máxima.<sup>7</sup>

#### *Dato abiertos enlazados*

Los datos abiertos enlazados<sup>8</sup> (llamados, por su acrónimo en inglés, LOD-Linked Open Data) representan información estructurada en un formato destinado a las máquinas. Por tanto, no es fácil de entender a primera vista la estructura subyacente a esta idea, pero permite disponer de información que puede ser leída por los ordenadores y presentada a los humanos de forma entendible. Más adelante veremos ejemplos, pero de momento conviene saber que esta idea fue propuesta originalmente por el inventor de la web Tim Berners-Lee y que sugirió un sistema de 5 estrellas<sup>9</sup> para mostrar el grado de desarrollo de los datos abiertos (fig 1) desde el primer escalón (1 estrella) donde se publican en la web los datos en cualquier formato pero de forma abierta para que cualquiera lo pueda usar hasta el último escalón (5 estrellas) donde los datos se publican en

---

<sup>5</sup> [https://es.wikipedia.org/wiki/Licencias\\_Creative\\_Commons](https://es.wikipedia.org/wiki/Licencias_Creative_Commons)

<sup>6</sup> Además del ejemplo anterior de la Universidad de Valladolid pueden consultarse fácilmente en internet los de otras universidades y centros de investigación como el CSIC (<https://digital.csic.es/>)

<sup>7</sup> En el trabajo de Francisco Rodríguez-Sánchez *et al* (2016) se muestra el procedimiento de forma detallada: <https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-2.11>

<sup>8</sup> [https://es.wikipedia.org/wiki/Datos\\_enlazados](https://es.wikipedia.org/wiki/Datos_enlazados)

<sup>9</sup> <https://5stardata.info/es/>

abierto en formatos libres estructurados con un enlace permanente (o **URI-Uniform Resource Identifier**) y enlazados para darles contexto.

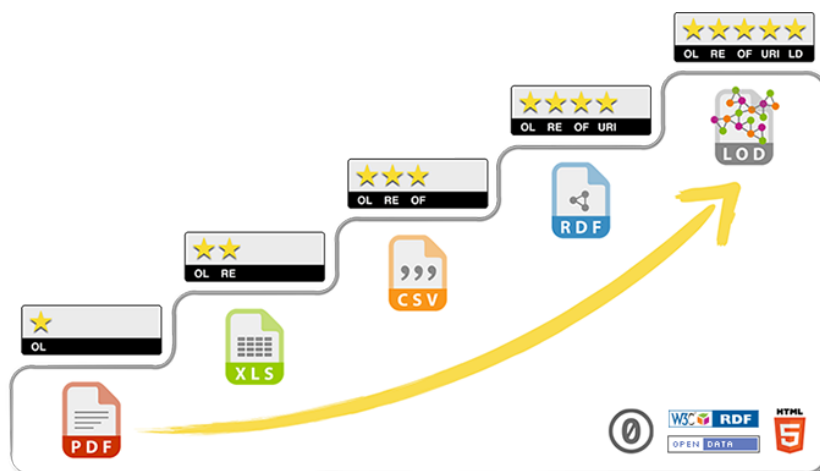


Fig. 1 Escala de 5 estrellas propuesta por Tim Berner-Lee para los datos abiertos enlazados (<https://5stardata.info/images/5-star-steps.png>)

### 3. Anotación de árboles

Mediante la anotación de árboles podemos generar una base de datos de árboles de interés y compartirla de forma fácil con la comunidad interesada. Pero ¿qué es anotar un árbol? En este contexto es aportar datos de árboles, subirlo a una plataforma y compartirlo de forma libre. Lo podemos hacer a través de la aplicación web EducaWood desarrollada por un equipo conjunto del GSIC e iuFOR de la Universidad de Valladolid<sup>10</sup> y que está disponible en esta dirección: <https://educawood.gsic.uva.es> La aplicación funciona tanto en dispositivos móviles (fig. 2) como en el ordenador (fig. 3) y precisa identificarse mediante una cuenta de Google (de la que ya disponga el usuario)

<sup>10</sup> La aplicación EducaWood está desarrollada por un equipo de la Universidad de Valladolid que combina investigadores de GSIC e iuFOR: Guillermo Vega (coordinador), José Miguel Giménez, Miguel Bote, Juan I. Asensio, Irene Ruano y Felipe Bravo.

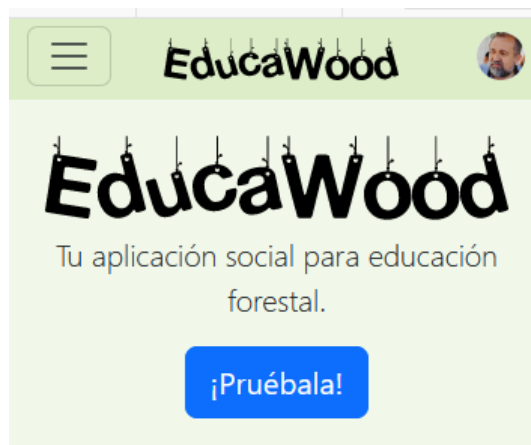


Fig. 2 Aplicación EducaWood (<https://educawood.gsic.uva.es>) tal y como se ve en un dispositivo móvil

## Navega por el mapa. Descubre bosques y árboles singulares.

Con un simple navegador tienes acceso en la punta de tus dedos a datos masivos forestales. Navega por el mapa, vete a sitios remotos o cercanos y encuentra bosques y árboles únicos. EducaWood está optimizado a conciencia para que funcione incluso en dispositivos móviles. Navegadores recomendados: Firefox y Chrome.

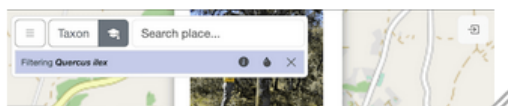


Fig. 3 Aplicación EducaWood (<https://educawood.gsic.uva.es>) tal y como se ve en el ordenador

Una vez dentro de la aplicación nos aparecerá una pantalla (fig. 4) en la que podremos navegar (botones que aparecen abajo a la izquierda), ver los árboles del Inventario Forestal Nacional, superponer las capa de imágenes de satélite (obtenida de las que ofrece en abierto ESRI), hacer una visita guiada para entender el funcionamiento de la aplicación, descargar los datos definiendo el polígono del cuál queremos descargar los datos y centrar la imagen en nuestra localización actual (a partir de la localización del dispositivo que estemos usando). Pulsando en el icono del árbol que podemos ver abajo a la izquierda de la pantalla (fig 5.) y podremos incluir la información requerida del árbol que pretendemos anotar: localización, nombre o apodo, taxón (nombre científico o vulgar), estado del árbol (vivo, en decaimiento, muerto, ...), incluir fotos, medida del diámetro y de la altura y comentarios adicionales. Para anotar el árbol no hace falta añadir toda esta información *in situ* sino que se puede completar más tarde. Para las mediciones de los árboles se puede utilizar un dispositivo sencillo como el dendroflexómetro<sup>11</sup> que es fácil de construir y de usar.

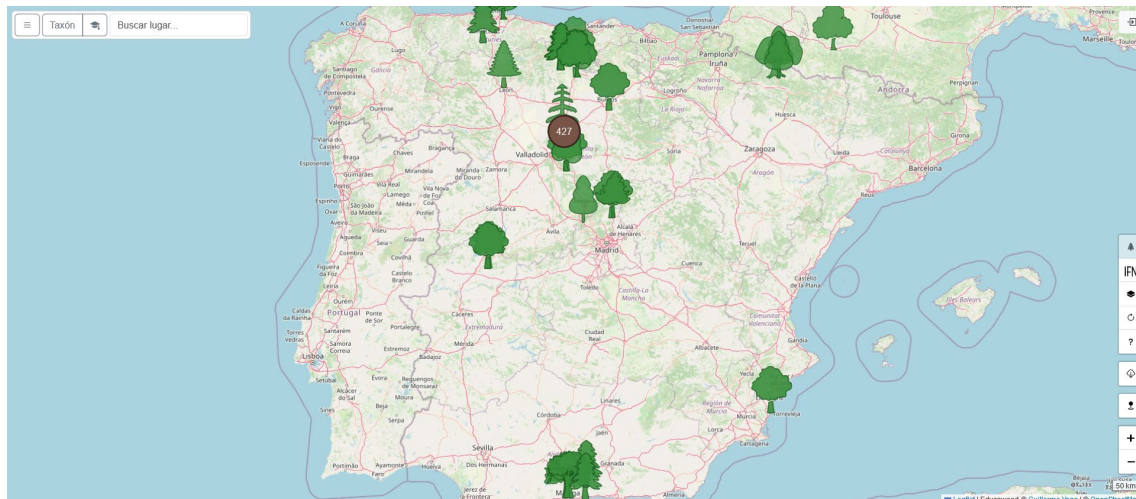


Fig. 4 Pantalla de EducaWood donde se ven a la izquierda los botones que nos permiten navegar en la aplicación (versión ordenador)

<sup>11</sup> El dendroflexómetro es una patente del iuFOR de la Universidad de Valladolid (UVa) por J.A. Reque (UVa) y A. Fernández Manso (Universidad de León) pero puede ser construido fácilmente mediante estas instrucciones <https://dendroflexometro.blogspot.com/>



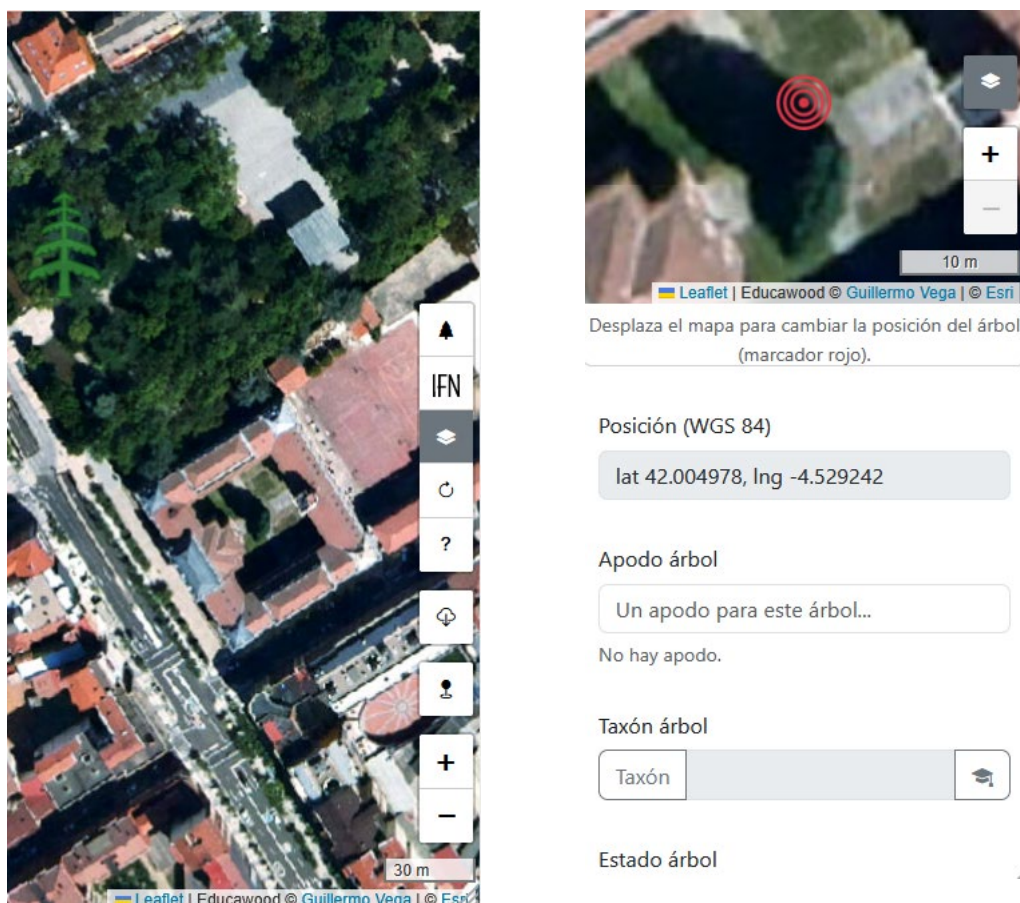


Fig. 5. Pantalla de EducaWood para anotar árboles: inicio de la anotación (izquierda) y datos requeridos (derecha) en la versión de dispositivo móvil (una vez se ha indicado la localización del árbol)

#### 4. El Inventario Forestal y el Mapa Forestal Nacional

El conocimiento del estado de los bosques es fundamental para poder evaluar la capacidad que tienen para generar lo que se denominan servicios ecosistémicos<sup>12</sup> que representan los beneficios que obtienen los seres humanos de los ecosistemas y que se agrupan en servicios de aprovisionamiento (materias primas), de regulación (calidad de las aguas, mitigación del cambio climático ...), culturales (turismo, educación, investigación ...) y de soporte (biodiversidad, calidad del suelo, ciclo de nutrientes ...). La aplicación web ForestExplorer desarrolla por un grupo de investigadores de la Universidad de Valladolid del GSIC y del iuFOR<sup>13</sup>, que está disponible en <https://forestexplorer.gsic.uva.es/>, y que permite acceder a los datos de los inventarios forestales nacionales de España y Portugal y al mapa forestal español (fig. 6)

<sup>12</sup> <https://www.millenniumassessment.org/es/index.html>

<sup>13</sup> La aplicación ForestExplorer está desarrollada por un equipo de la Universidad de Valladolid que combina investigadores de GSIC e iuFOR: Guillermo Vega y Felipe Bravo (coordinadores), José Miguel Giménez, Natalia Crespo, Cristóbal Ordóñez y Aitor Vázquez

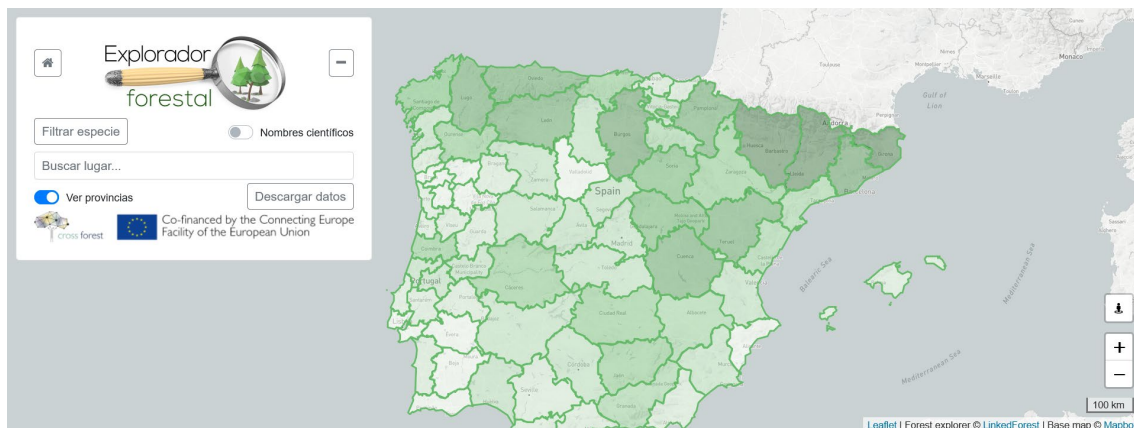


Fig. 6. Pantalla inicial de ForestExplorer desde donde se pueden explorar los datos de los inventarios forestales nacionales y del mapa forestal. La búsqueda puede hacerse por municipios y por especies (tanto por nombre vulgar como por nombre científico)

Las búsquedas en ForestExplorer no requieren identificación del usuario y permiten conocer tanto la abundancia de las especies como las posibles mezclas así como la biomasa presente en los diferentes tipos de bosques.

## 5. Casos de uso

A continuación, se presentan dos casos de uso sencillo con estudiantes de enseñanza secundaria a partir de datos en abierto. En concreto vamos a mostrar en primer lugar cómo podemos cuantificar el carbono que se encuentra en la biomasa arbórea de un bosque y en segundo lugar cómo podemos estudiar la alometría<sup>14</sup> de los árboles y en concreto predecir la altura de un árbol a partir de su diámetro normal.

### a. ¿Cuánto carbono fija este bosque

Para desarrollar este caso vamos a utilizar los datos de una parcela de una hectárea donde se han medido todos los diámetros y alturas de todos los árboles que además se han posicionado mediante estación total. Estos datos están publicados en formato abierto en el repositorio de la Universidad de Valladolid (<https://uvadoc.uva.es/handle/10324/46949>) Aunque el conjunto de datos contiene dos parcelas completas, usaremos en este ejemplo solo las de Valdepoza (Palencia) ya que contamos con la visita virtual desarrollada en el proyecto VirtualForests<sup>15</sup> que nos permite explorar el aula forestal antes de comenzar a trabajar con los datos.

<sup>14</sup> <https://es.wikipedia.org/wiki/Alometr%C3%ADa>

<sup>15</sup> La visita virtual al aula forestal de Valdepoza fue realizada por J. Reque dentro del proyecto VirtualForests y está disponible en este enlace:

<https://www.google.es/maps/place/Marteloscope+UVA/@42.6092809,-4.7721099,17z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0xd4813b49e6ec311:0x5ee0dc50934966d2!8m2!3d42.6092809!4d-4.7721099!16s%2Fg%2F11sgkzyz7b?entry=ttu>



En el repositorio de datos de la UVA podemos ver que este conjunto de datos se presenta en dos ficheros (fig. 7) uno con los datos en formato csv y otro con la descripción de las variables incluidas en formato pdf. El formato csv (*comma separate value*) es un formato de datos abiertos que a diferencia de otros formatos habituales (como xlsx de Excel) es de libre uso y compatible con diferentes programas.

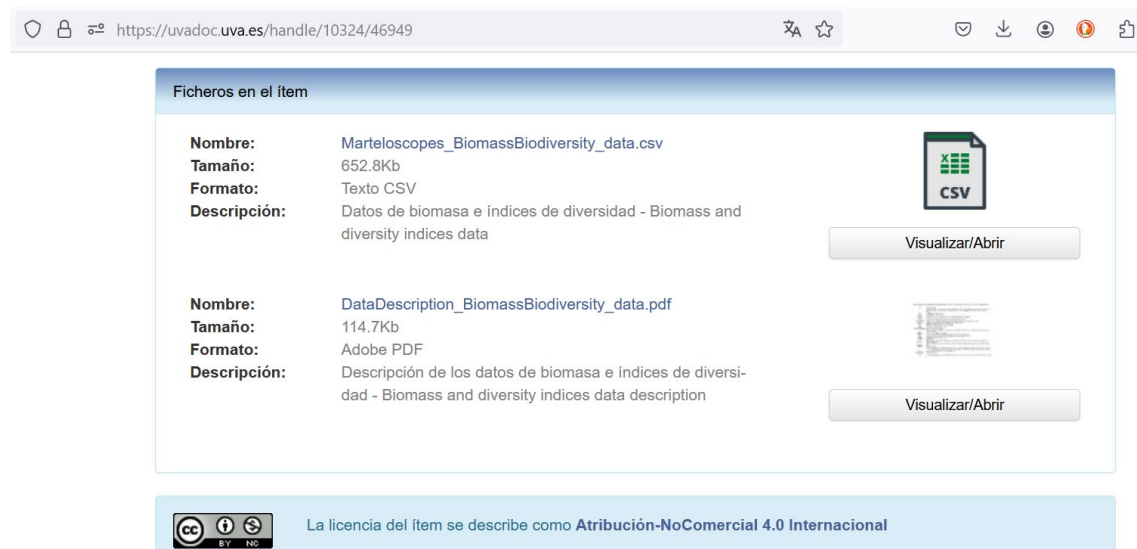


Fig. 7. Ficheros asociados a los datos de las parcelas forestales de Valdepoza (Palencia) y Llano de San Marugán (Valladolid) que incluyen los datos en formato csv y la descripción de las variables incluidas en formato pdf.

En primer vamos a descargar los datos en csv desde el repositorio UVadoc y guardaremos el archivo en nuestra carpeta de trabajo. Si abrimos directamente este archivo en Excel (fig. 8) nos encontraremos con que los datos no aparecen en el formato que esperamos y no podremos usarlos. Por tanto, debemos cambiar de estrategia. En lugar de abrir el archivo vamos a importar los datos (fig. 9) para lo que buscaremos en la lista superior la opción **Datos** y tras seleccionarla veremos arriba a la izquierda el icono denominado **Obtener datos** que al desplegarse permite seleccionar el formato de los datos a importar mediante la secuencia **Datos -> Obtener datos -> De un archivo -> De texto/CSV**. Al seleccionar esta última opción podemos de forma interactiva seleccionar el archivo a importar (que es el que hemos descargado de UVadoc) para después (fig. 10) indicarle el formato que tiene (lo selecciona Excel de forma automática a partir de las primeras observaciones). Al pulsar cargar, ya nos aparecerá el conjunto de datos en Excel listos para poder utilizarlos.

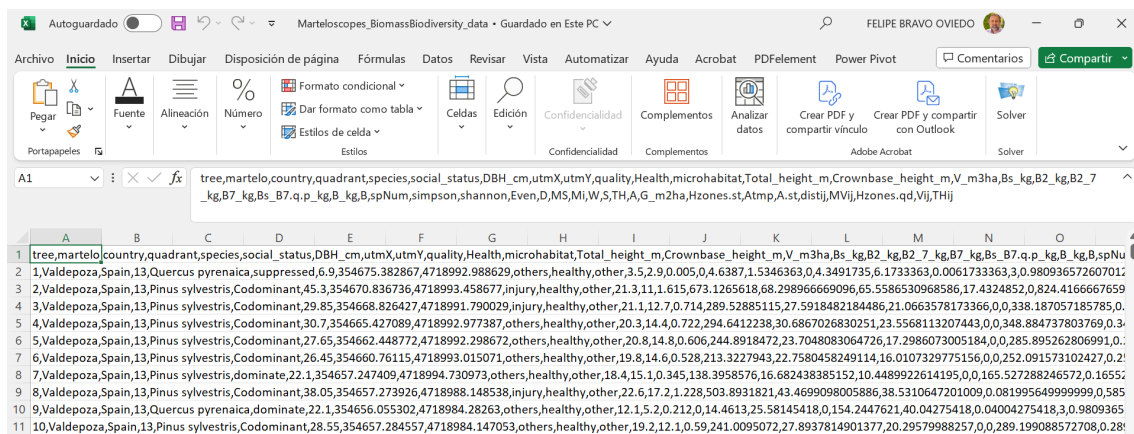
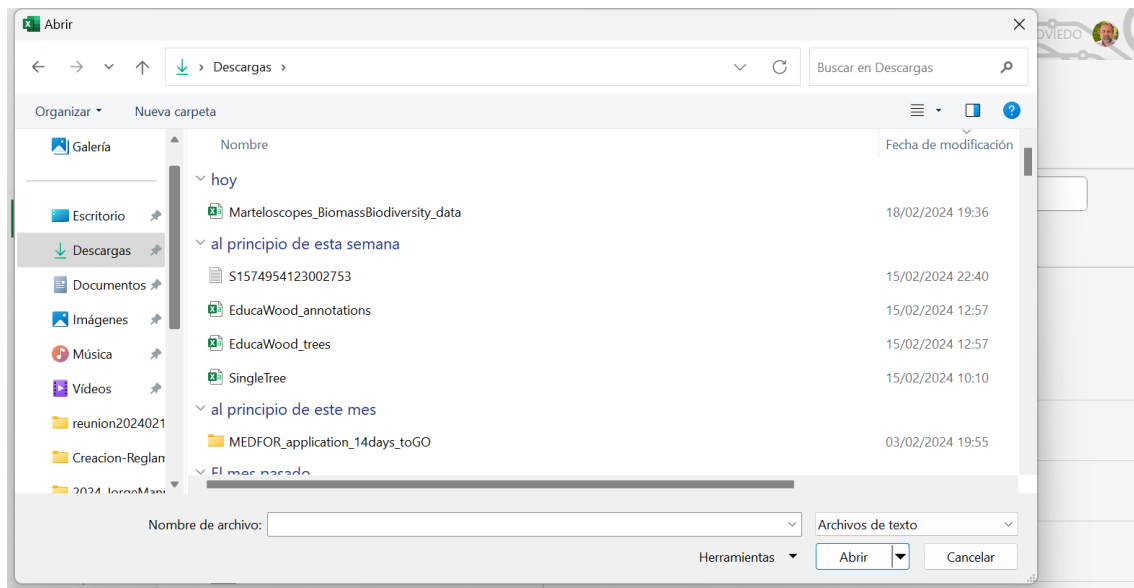


Fig. 8. Opción de abrir directamente en Excel un archivo csv (arriba) y resultado obtenido (abajo)

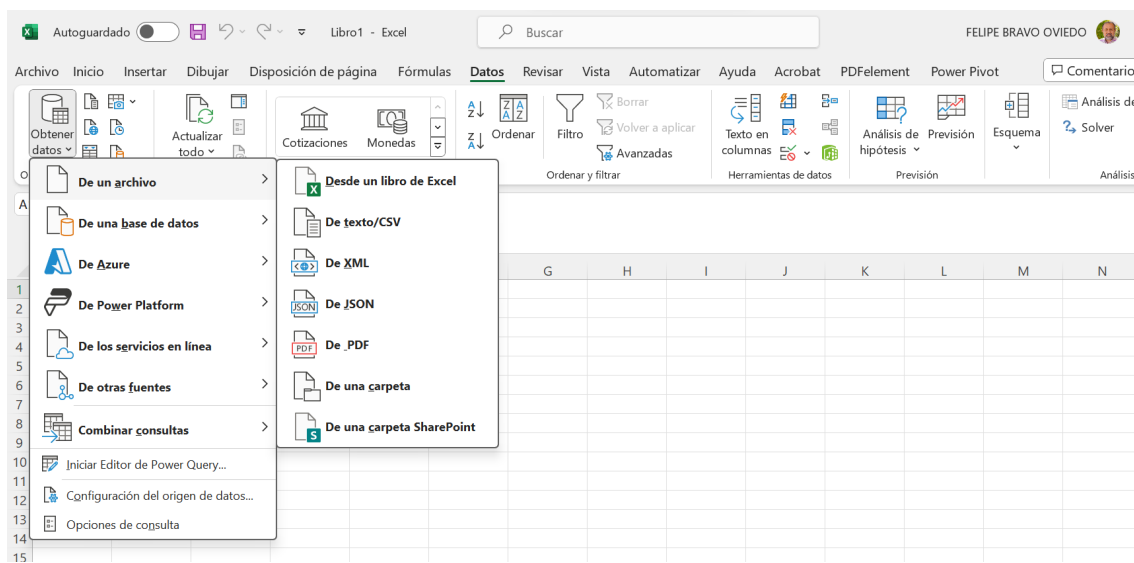


Fig 9. Selección de la opción importar datos mediante la secuencia Datos -> Obtener datos -> De un archivo -> De texto/CSV

tree	martelo	country	quadrant	species	social_status	DBH_cm	utmX	utmY	quality	Health	micro
1	Valdepoza	Spain	13	Quercus pyrenaica	suppressed	69	3,54675E+11	4,71899E+12	others	healthy	other
2	Valdepoza	Spain	13	Pinus sylvestris	Codominant	453	3,54671E+11	4,71899E+12	injury	healthy	other
3	Valdepoza	Spain	13	Pinus sylvestris	Codominant	2985	3,54669E+11	4,71899E+12	injury	healthy	other
4	Valdepoza	Spain	13	Pinus sylvestris	Codominant	307	3,54665E+11	4,71899E+12	others	healthy	other
5	Valdepoza	Spain	13	Pinus sylvestris	Codominant	2765	3,54662E+11	4,71899E+12	others	healthy	other
6	Valdepoza	Spain	13	Pinus sylvestris	Codominant	2645	35466076115	4,71899E+12	others	healthy	other
7	Valdepoza	Spain	13	Pinus sylvestris	dominate	221	3,54657E+11	4,71899E+12	others	healthy	other
8	Valdepoza	Spain	13	Pinus sylvestris	Codominant	3805	3,54657E+11	4,71899E+12	injury	healthy	other
9	Valdepoza	Spain	13	Quercus pyrenaica	dominate	221	3,54656E+11	4,71898E+11	others	healthy	other
10	Valdepoza	Spain	13	Pinus sylvestris	Codominant	2855	3,54657E+11	4,71898E+12	others	healthy	other
11	Valdepoza	Spain	13	Pinus sylvestris	Codominant	355	3,5466E+11	4,71898E+12	injury	healthy	other
12	Valdepoza	Spain	13	Pinus sylvestris	Codominant	422	3,54664E+11	4,71899E+12	injury	healthy	other
13	Valdepoza	Spain	13	Pinus sylvestris	Codominant	3575	3,54667E+11	4,71899E+12	others	healthy	other
14	Valdepoza	Spain	13	Pinus sylvestris	dominant	432	3,54668E+11	4,71898E+12	inclined	healthy	other
15	Valdepoza	Spain	13	Pinus sylvestris	Codominant	3495	3,54671E+11	4,71899E+12	inclined	healthy	other
16	Valdepoza	Spain	13	Quercus pyrenaica	suppressed	575	3,54672E+11	4,71899E+12	others	healthy	other
17	Valdepoza	Spain	13	Quercus pyrenaica	suppressed	655	3,54673E+11	4,71898E+12	others	healthy	other
18	Valdepoza	Spain	13	Quercus pyrenaica	suppressed	615	3,54675E+11	4,71898E+12	others	healthy	other
19	Valdepoza	Spain	13	Quercus pyrenaica	suppressed	645	3,54677E+11	4,71898E+12	others	healthy	other
20	Valdepoza	Spain	13	Quercus pyrenaica	suppressed	695	3,5468E+11	4,71899E+12	others	healthy	other

Fig. 10. Fase final para cargar los datos csv importados a Excel

Ahora debemos depurar los datos para lo que eliminaremos todas la filas que correspondan a la parcela del Llano de San Marugán (es decir cuando en la columna *martelo* aparezca el término **Marugan**) tras lo cual nos deben quedar en la hoja Excel un total de 1178 árboles todos correspondientes a la parcela de Valdepoza y que corresponden a las especies *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra* y *Quercus pyrenaica*.<sup>16</sup>

Para calcular el CO<sub>2</sub> fijado en la biomasa leñosa de los árboles vamos a utilizar la relación que existe entre la biomasa seca de la parte leñosa de un árbol, su contenido en carbono (se considera un valor medio igual al 50% de la biomasa seca<sup>17</sup>) y la relación entre el peso total de la molécula de CO<sub>2</sub> (44) y el átomo de carbono (12), para obtener los kilogramos de CO<sub>2</sub> capturados por cada kilogramo de carbono acumulado en la biomasa seca del árbol (3,67). Por tanto, la ecuación que nos permitirá calcular el CO<sub>2</sub> capturado en el bosque es la siguiente:

$$t \text{ CO}_2 \text{ fijado} = W * 0,5 * 3,67$$

donde W es la biomasa seca de los árboles.

Para calcular la biomasa seca de los árboles recurriremos a las ecuaciones de Ruiz-Peinado et al en 2012 para frondosas<sup>18</sup> y en 2011 para coníferas<sup>19</sup> Las ecuaciones son las siguientes

$$w_{Qp} = 0,0261 * d^2 * h$$

<sup>16</sup> Si este procedimiento da problemas se puede descargar el archivo que está en el repositorio <https://github.com/Felipe-Bravo/HerramientasDigitales-CienciaAbierta-IES/> con el nombre valdepoza.xlsx

<sup>17</sup> Kollmann, F. (1959), Tecnología de la madera y sus aplicaciones, tomo primero. IFIE,

<sup>18</sup> <https://doi.org/10.5424/fs/2112211-02193>

<sup>19</sup> <https://doi.org/10.5424/fs/2011201-11643>

$$w_{Pn} = 0,0403 * d^{1,838} * h^{0,945}$$

$$w_{Ps} = 0,0154 * d^2 * h$$

$w$  (biomasa seca) en kg (del fuste para los pinos y del fuste y las ramas gruesas para el rebollo),  $d$  (diámetro) en cm y  $h$  (altura total) en m. Por simplificar no hemos incluido las ramas gruesas de los pinos, pero las ecuaciones completas pueden encontrarse en los trabajos citados de Ruiz-Peinado et al (2011 y 2012)

Una vez localizadas las ecuaciones de biomasa vamos a pasar a depurar la base de datos que tenemos en Excel para lo que borraremos todas las columnas excepto las que corresponden al árbol (tree), la especie (species), el diámetro (DBH\_cm) y la altura (Total\_height\_m) Para poder ajustar bien los datos dividiremos por 10 las columnas que corresponden al diámetro y a la altura.

A continuación, vamos a generar una nueva columna con la estimación de la biomasa para cada árbol a partir de las tres ecuaciones anteriores. Para ello, en una nueva columna podremos la siguiente instrucción:

```
=SI([@species]="Quercus pyrenaica"; 0,0261*[@DBH_cm]^2*[@Total_height_m];
SI([@species]="Pinus sylvestris"; 0,154*[@DBH_cm]^2*[@Total_height_m];
0,403*[@DBH_cm]^1,838*[@Total_height_m]^0,945))
```

Si los nombres de las variables no funcionan (con el archivo valdepoza.xlsx) deben sustituirse por las celdas correspondientes del primer árbol y luego arrastrar esas fórmula hasta el final de la lista de árboles.

Finalmente, para obtener el valor de toneladas de CO2 acumuladas en la biomasa leñosa de este bosque (en Tn/ha) se debe aplicar la siguiente fórmula en una celda vacía:

```
=SUMA(F2:F1179)/1000
```

b. ¿Cuál es la altura de este árbol si solo puedo medir su diámetro?

Finalmente vamos a estudiar la alometría de los árboles ajustando una regresión lineal para predecir la altura de los árboles a partir de su diámetro normal (es decir medido a 1,3 m sobre la base del árbol). El modelo que vamos a ajustar es el siguiente:

$$h = a_0 * e^{a_1 * d}$$

Para ello, volvemos a abrir el archivo valdepoza.xlsx y hacemos que la columna de los diámetros quede a la derecha de la columna de las alturas (esto lo hacemos porque Excel entiende, por defecto, que la variable independiente (en nuestro caso, el diámetro) está siempre a la derecha de la variable dependiente (en nuestro caso, la altura) El resultado (fig. 11) muestra que el ajuste exponencial es aparentemente adecuado para nuestra base de datos pero si hiciéramos el

análisis de los residuos del modelo veríamos que no es así. Quizá pudiéramos obtener mejores resultados si hacemos el análisis por especies y no con todos los árboles agregados ¿te atreves?

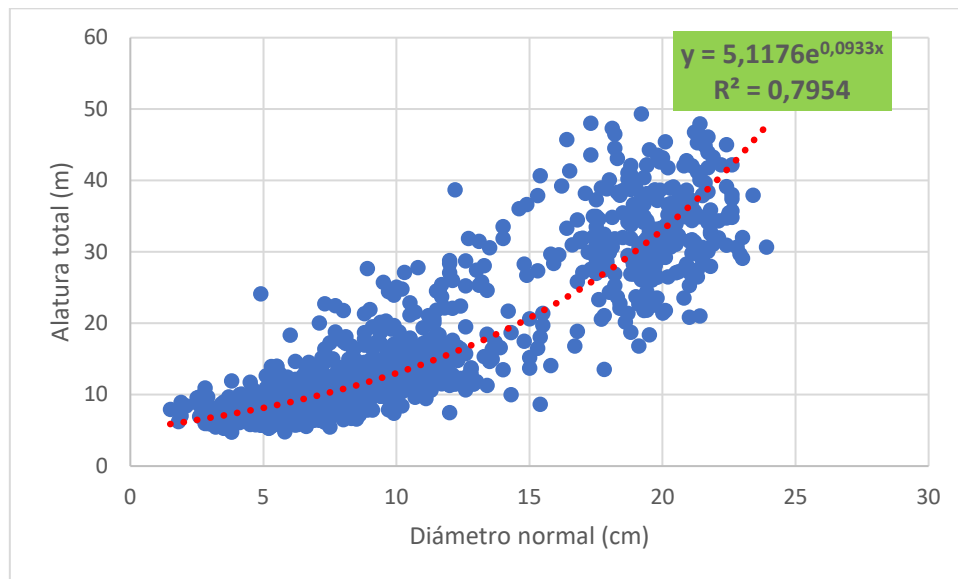


Fig. 11 Línea de tendencia ajustada para la altura total a partir del diámetro normal de los árboles de la base de datos de Valdepoza (Palencia)