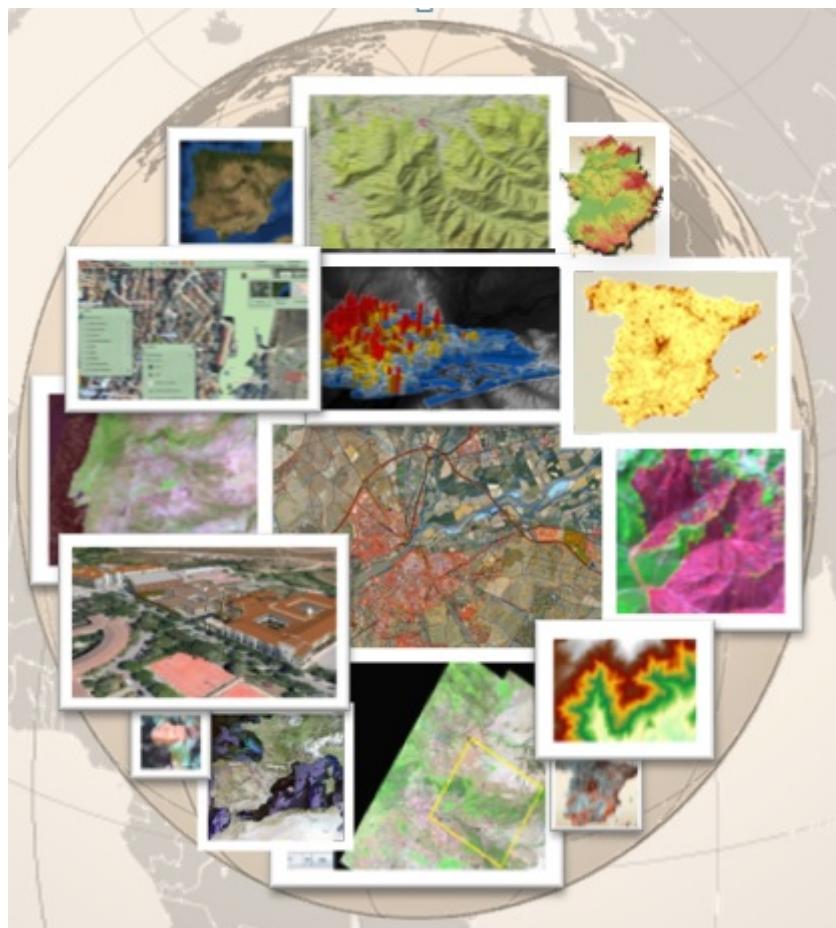


Máster en Tecnologías de la Información Geográfica: SIG y Teledetección



SIG y Teledetección

Tema 5.2 Tratamiento y aplicaciones de datos LiDAR

Dra. Elia Quirós Rosado

Contenido

1.	Introducción	2
1.1	Atributos del punto LiDAR	3
2.	Descarga de datos LiDAR.....	4
3.	Software.....	5
3.1	Software comercial	5
3.2	Software libre.....	7
4.	Trabajar con datos LiDAR.....	8
4.1	Descarga archivos LiDAR del CNIG.....	8
4.2	Trabajar con datos LiDAR en Arcgis	12
4.2.1	Estadísticas de los datos LiDAR	14
4.2.2	Analizar puntos LiDAR contra el primer retorno, terreno desnudo o cualquier tipo de filtro deseado.....	16
4.2.3	Crear MDE y MDS.....	16
4.2.4	Manipular los valores de código de clasificación de puntos LiDAR para corregir los errores de clasificación.	21
4.2.5	Analizar datos LiDAR mediante códigos de clasificación.....	22
5.	Cálculo del potencial solar.....	24
5.1	cálculo del potencial solar con ArcGis	25
6.	Bibliografía.....	27

1. Introducción

LiDAR (Light Detection And Ranging) es una tecnología de detección remota relativamente nueva que nos permite adquirir muestras de punto muy densas de entidades en 3D. Es una técnica de teledetección que utiliza la luz de láser para obtener una muestra densa de la superficie de la tierra con mediciones de x, y, z.

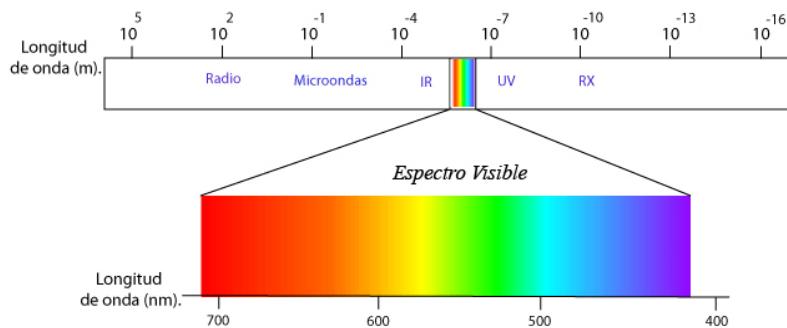
LiDAR es un sensor óptico activo que transmite rayos láser hacia un objetivo mientras se mueve a través de rutas de topografía específicas. El reflejo del láser del objetivo lo detectan y analizan los receptores en el sensor LiDAR. Estos receptores registran el tiempo preciso desde que el pulso láser dejó el sistema hasta cuando regresó para calcular la distancia límite entre el sensor y el objetivo. Combinado con la información posicional (GPS e INS), estas medidas de distancia se transforman en medidas de puntos tridimensionales reales del objetivo reflector en el espacio del objeto.

$$\text{Distancia} = \frac{\text{Velocidad de la luz} \times \text{tiempo transcurrido}}{2}$$

Con el valor de dicha distancia, unido al dato de la posición absoluta del emisor y el ángulo de apuntamiento del sistema láser, se pueden calcular las coordenadas x, y, z de la posición de un objeto.

La longitud de onda utilizada para el láser que constituye el sistema LiDAR puede variar entre luz infrarroja, ultravioleta, visible, según el objetivo al que vaya dirigido: investigación atmosférica y meteorológica, topografía, ...

La mayoría de los sistemas LiDAR usados en mediciones de distancias cortas y medias, de altimetría, utilizan una longitud de onda de 1.064 nm (infrarrojo cercano). Cuando se intenta medir la profundidad oceánica, batimetría, se emplean láseres con longitud de onda de 532 nm (láser verde).



La tecnología de LiDAR ha evolucionado para convertirse en una fuente común de datos geográficos en SIG. Estas grandes colecciones de puntos del mundo real, por lo general, se almacenan en los archivos LAS. Cada punto LiDAR puede tener atributos adicionales como intensidad, códigos de clase y los valores de color RGB, que se pueden utilizar dentro de ArcGIS.

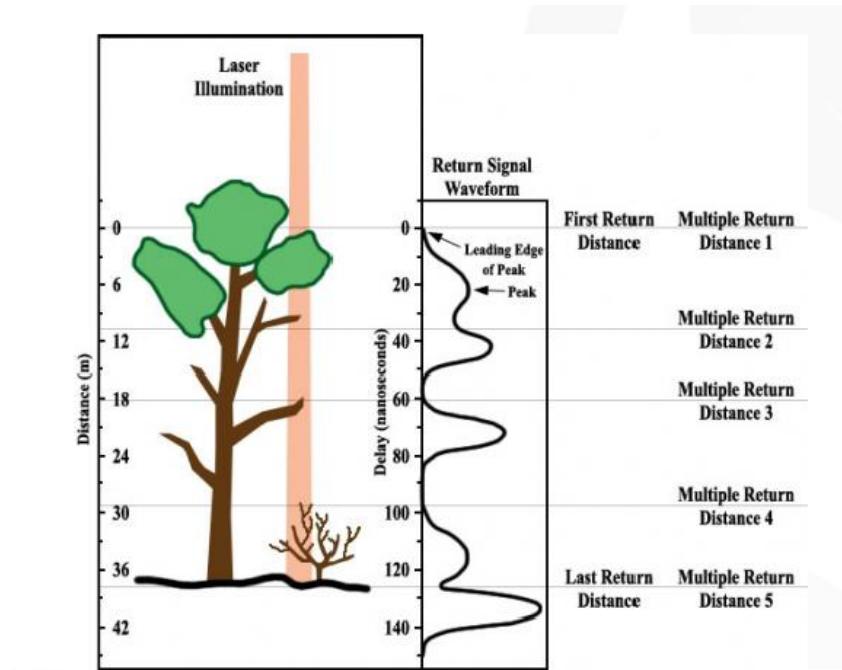
Los pulsos láser emitidos desde un sistema LiDAR se reflejan desde objetos sobre y por encima de la superficie del suelo: vegetación, edificios, puentes y así sucesivamente. Un pulso láser emitido puede regresar al sensor LiDAR como uno o muchas devoluciones.

Cualquier pulso láser emitido que encuentre varias superficies de reflejo a medida que viaja hacia el suelo se divide en tantas devoluciones como superficies reflectoras existen.

El primer pulso láser devuelto es el más importante y se asociará con la entidad más grande en el panorama como una copa de árbol o la parte superior de un edificio. La primera devolución también puede representar el suelo, en cuyo caso el sistema LiDAR solo detectará un regreso.

Varias devoluciones pueden detectar las elevaciones de varios objetos dentro de la huella láser de un pulso láser saliente. Las devoluciones intermedias, en general, se utilizan para la estructura de la vegetación, y la última devolución para los modelos de terreno de suelo desnudo.

La última devolución no siempre será de una devolución del suelo. Por ejemplo, considere un caso en donde un pulso golpee una rama gruesa en su camino hacia el suelo y el pulso no llega en realidad al suelo. En este caso, la última devolución no es desde el suelo, pero sino desde la rama que reflejó el pulso láser completo.



1.1 Atributos del punto LiDAR

La información adicional se almacena junto con cada valor posicional x, y, z.

Intensidad	La fortaleza de la devolución del pulso láser que generó el punto LiDAR.
Número de devolución	Un pulso láser emitido puede tener muchas devoluciones, dependiendo de las entidades en las que se refleja y las capacidades del escáner láser que se utiliza para recopilar los datos. La primera devolución se etiquetará como devolución número uno, la segunda como devolución número dos, etc.

Clasificación de puntos	Cada punto LiDAR que es postprocesado, puede tener una clasificación que define el tipo de objeto que reflejó el pulso láser. Los puntos LiDAR se pueden clasificar en varias categorías que incluyen suelo o terreno desnudo, parte superior de cubierta forestal y agua. Las diversas clases se definen mediante códigos numéricos de enteros en el archivo LAS.
Borde de la línea de vuelo	Los puntos se simbolizarán en base a un valor de 0 o 1. A los puntos etiquetados en el borde de la línea de vuelo se les proporcionará un valor de 1 y a todos los otros puntos se les proporcionará un valor de 0.
Color	Los datos LiDAR se pueden atribuir con bandas RGB (rojas, verdes y azules) o Infrarrojo. Esta atribución con frecuencia viene de las imágenes recopiladas al mismo tiempo que la topografía LiDAR.
Tiempo del GPS	La fecha de registro del GPS en la que se emitió el punto láser desde el avión.
Ángulo de escaneo	El ángulo de escaneo es un valor en grados entre -90 y +90. A 0 grados, el pulso láser está directamente debajo del avión en nadir. A -90 grados, el pulso láser está en el lado izquierdo del avión, mientras que a +90, el pulso láser está a la derecha del avión en la dirección de la luz. La mayoría de sistemas LiDAR actualmente tienen menos de ±30 grados.
Dirección de escaneo	La dirección de escaneo es la dirección en la que estaba viajando el espejo de escaneo en el momento del pulso láser de salida. Un valor de 1 es una dirección de escaneo positiva, y un valor de 0 es una dirección de escaneo negativa. Un valor positivo indica que el escáner se está moviendo del lado izquierdo al lado derecho de la dirección de vuelo en pista y un valor negativo es el opuesto

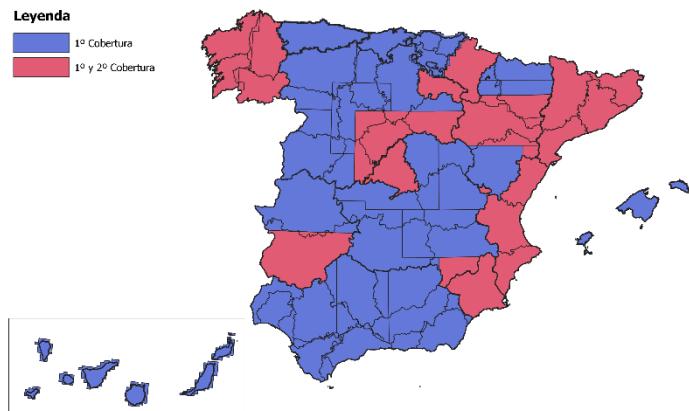
2. Descarga de datos LiDAR

En España, concretamente el Instituto Geográfico Nacional (IGN), a través del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), proporciona cobertura ortofotogramétrica de todo el territorio español.

El plan pone a disposición libre ficheros digitales con información altimétrica de la nube de puntos LiDAR, distribuidos en ficheros de 2x2 km de extensión. El formato de descarga es un archivo LAZ (formato de compresión de ficheros LAS), en la información auxiliar se ofrece una herramienta de descompresión y visualización de ficheros LAZ y LAS. Las nubes de puntos han sido capturadas mediante vuelos con sensor LiDAR con una densidad de 0,5 puntos/m², y posteriormente clasificadas de manera automática y coloreadas mediante RGB obtenido a partir de ortofotos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) con tamaño de pixel de 25 o 50 cm. Sistema geodésico de referencia ETRS89 en la Península, Islas Baleares, Ceuta y Melilla, y REGCAN95 en las Islas Canarias (ambos sistemas compatibles con WGS84) y proyección UTM en el huso correspondiente a cada fichero. Respecto a las cotas, se refieren a alturas ortométricas.

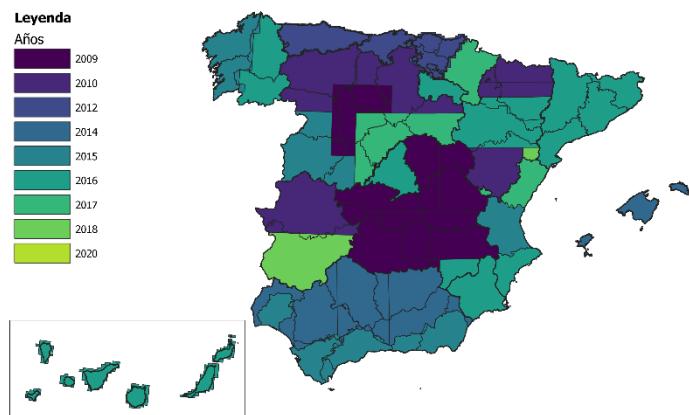
COBERTURAS PUBLICADAS

Leyenda
 1º Cobertura
 1º y 2º Cobertura



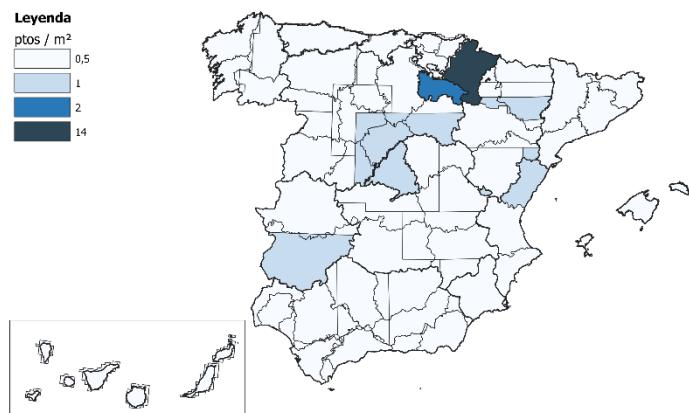
MÁXIMA ACTUALIDAD PUBLICADA

Leyenda
Años
 2009
 2010
 2012
 2014
 2015
 2016
 2017
 2018
 2020



MÁXIMA ACTUALIDAD PUBLICADA

Leyenda
ptos / m²
 0,5
 1
 2
 14



3. Software

3.1 Software comercial

Quick Terrain Modeler/Quick Terrain Reader

Se trata del primer paquete de software para visualización de terreno y nubes de puntos 3D. Está enfocado a aplicaciones de defensa y civiles.

www.appliedimagery.com

VrLiDAR

Es el resultado del desarrollo de software durante 25 años en la industria del mapeado con aplicaciones relacionadas con fotogrametría aérea.

www.cardinalsystems.net

Merrick's Mars

Es una empresa especializada en energía, seguridad, ciencias e infraestructura de mercado. Facilita servicios de tecnología geoespacial, entre otras áreas.

www.merrick.com

Bentley Pointools

Se trata de software para trabajar con nubes de puntos.

www.pointools.com

LP360

Esta herramienta consiste en una extensión de ArcGIS para visualizar y analizar datos LiDAR.

www.qcoherent.com

LiDAR Analyst

Una aplicación que proporciona sofisticadas herramientas para la realización y visualización de mapas para profesionales geoespaciales.

www.vls-inc.com

TerraScan

Es una solución mundialmente utilizada para procesar datos e imágenes de LiDAR aéreo y móvil. Cada paquete está enfocado a los requerimientos de una tarea específica, incluyendo la calibración de los datos, la clasificación de puntos y el procesamiento de la imagen.

www.terrasaki.fi

VG4D SmartLiDAR

Es una completa solución diseñada para identificar colecciones de datos expedidos en campo. Rectifica datos a las coordenadas reales para asegurar su precisión. Emplea este conjunto de datos para extraer información a través de un flujo de trabajo simplificado.

<http://www.virtualgeomatics.com>

3.2 Software libre

BCAL LiDAR Tools

Herramientas para procesado, análisis y visualización de datos LiDAR. Están escritos en lenguaje de programación IDL y están pensados para usarse como extensión dentro del paquete de software para teledetección de ENVI.

<http://bcal.boisestate.edu>

FugroViewer

Se trata de un software diseñado para usar con LiDAR y otros conjuntos de datos raster y vector, incluyendo datos de fuentes fotogramétricas e IFSAR.

<http://www.fugroviewer.com>

MCC-LiDAR

Consiste en una aplicación en C++ para procesar datos LiDAR en medios forestales. Clasifica puntos en terreno o no-terreno empleando el algoritmo de clasificación multiescalar de curvatura (“Curvature Classification”).

<http://sourceforge.net/projects/mccLiDAR>

GRASS GIS

Incluye un paquete de herramientas relacionadas con el procesado de datos LiDAR, aunque en la actualidad no soporta nubes de puntos en formato LAS.

<http://grass.osgeo.org>

SAGA GIS

Se trata de diversas herramientas para manipular nubes de puntos, así como un conjunto de métodos como interpolación. También cuenta con un filtro para identificación de suelo adaptado de Vosselman (2001).

<http://www.saga-gis.org>

DielmoOpenLiDAR

Permite el acceso, visualización, análisis y control de calidad de datos LiDAR originales, pudiendo visualizar a la vez grandes volúmenes de datos LiDAR originales (formato LAS y BIN) superpuestos con otros datos geográficos.

<http://www.dielmo.com>

FUSION / LDV

Es un paquete informático para conversión, análisis y visualización de datos LiDAR. Permite realizar modelos de terreno y de superficie de vegetación en 3D y fusión de datos LiDAR con imaginería tradicional en 2D. Extrae métricas de los datos LiDAR brutos.

<http://forsys.cfr.washington.edu/fusion/fusionlatest.html>

LASTools

Es una colección de herramientas en línea de comandos para clasificar, convertir, filtrar, rasterizar, triangular, crear contornos o poligonizar, entre otras cosas, datos LiDAR. Todas las herramientas pueden ser utilizadas vía GUI (interfaz gráfica de usuario en sus siglas en inglés) y están disponibles en el toolbox de ArcGIS en las versiones 9.3, 10.0, y 10.1 de ESRI.

<http://lastools.org>

rGEDI

Un paquete R para la visualización y el procesamiento de datos GEDI

<https://cran.r-project.org/web/packages/rGEDI/vignettes/tutorial.html>

4. Trabajar con datos LiDAR

4.1 Descarga archivos LiDAR del CNIG

Un archivo LAS es un formato binario estándar de la industria para almacenar datos LiDAR aéreos. Un Dataset LAS almacena referencia a uno o más archivos LAS en el disco permitiendo examinar archivos LAS, en su formato original, rápida y fácilmente, proporcionando estadísticas detalladas y cobertura del área de los datos LiDAR incluidos en los archivos LAS.

Un Dataset LAS también puede almacenar referencias a clases de entidades que contienen restricciones de superficie. Las restricciones de superficie son las líneas de corte, polígonos de agua, límites de áreas o cualquier otra restricción de superficie que se va a aplicar al Dataset LAS.

The screenshot shows the homepage of the Centro de Descargas (CNIG) website. At the top, there are links for the Spanish Government, Ministry of Science and Innovation, and the National Geographic Information Center. The main navigation bar includes 'Productos', 'Buscar', 'Licencias de uso', 'Preguntas frecuentes', 'Ayuda', and 'Novedades'. Below the navigation, there are several categories of data represented by icons:

- Mapas en formato imagen**: Includes a thumbnail of a map grid.
- Información geográfica de referencia**: Includes a thumbnail of a map with a coordinate grid.
- Fotogramas y ortofotos de vuelos**: Includes a thumbnail of an airplane icon.
- Mapas vectoriales y Bases Cartográficas y Topográficas**: Includes a thumbnail of a map with a grid.
- Información geográfica temática**: Includes a thumbnail of a globe icon.
- Documentación geográfica antigua**: Includes a thumbnail of a globe icon.
- Mapas impresos escaneados**: Includes a thumbnail of a printed map.
- Modelos Digitales de Elevaciones**: This category is highlighted with a red border around its thumbnail.
- Rutas**: Includes a thumbnail of a smartphone icon.

At the bottom of the page, there are links for 'Aviso legal | Mapa web' and the address: 'Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) NIF: ES Q2817024I C/ General Ibáñez de Ibero, 3. 28003 - Madrid - España.'

The screenshot shows the 'Centro de Descargas' website interface. At the top, there are links for 'Productos', 'Buscar', 'Licencias de uso', 'Preguntas frecuentes', 'Ayuda', and 'Novedades'. The main content area is titled 'MODELOS DIGITALES DE ELEVACIONES' and displays two side-by-side maps labeled 'LIDAR 1ª COBERTURA' and 'LIDAR 2ª COBERTURA'. Each map has a detailed description, projection information (SGR: ETRS89 for Peninsula, Balearic Islands, Ceuta, Melilla; RGCGM95 for Canary Islands), and download options ('Ver +', 'Metadatos', 'Información auxiliar', 'Por listado', 'Por mapa'). To the right, there is a third map titled 'Mapa LIDAR' with similar descriptive text and download links.

Se nos abrirá un visor de esta forma:

The screenshot shows the search interface of the 'Centro de Descargas' website. On the left, there is a sidebar with various search filters: 'Búsqueda en visor', 'Búsqueda por listado', 'Resultados', and 'Cesta de descargas: 0'. Below these are sections for 'SELECCIÓN DE PRODUCTOS' and 'Selección de productos', which list categories like 'Mapas en formato imagen', 'Mapas vectoriales y Bases Cartográficas y Topográficas', 'Mapas impresos escaneados', 'Información geográfica de referencia', 'Información geográfica temática', and 'Modelos Digitales de Elevaciones'. A large map of Spain is displayed in the center, showing coastlines and major cities. A red rectangle highlights a specific area in the central part of the country.

De tal forma, que buscaremos nuestra área de trabajo dentro de la ciudad de Cáceres.

The screenshot shows the search interface of the 'Centro de Descargas' website, focusing on the city of Cáceres. The map shows the city's urban layout, roads, and surrounding areas. A red rectangle highlights a specific area within the city limits. The interface includes search filters on the left and a legend at the bottom for 'Selección de productos' and 'Selección de capas'.

Al terminar de diseñar la ventana nos aparecerá los ficheros LiDAR que contiene el área seleccionada.

Seleccionaremos sólo las hojas que tengan un coloreado normal (existe también la posibilidad del coloreado con infrarrojo)

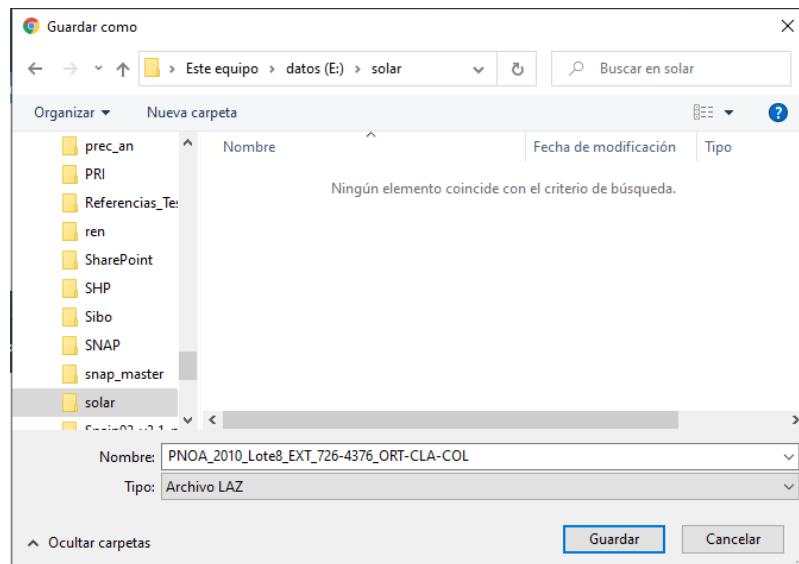
Nombre	Formato	Tamaño (MB)	Fecha	Localizar	Descargar
Coloreado (RGB) 2010 - PNOA_2010_LOTE8_EXT_726-4376-ORT-CLA-COL.LAZ	Laz	20.19	2009 - 2011		Agregar

Los vamos añadiendo a la cesta de descargas.

Una vez seleccionados, vamos a la cesta de descargas para comenzar a descargarlos

En la cesta de descargas le daremos a iniciar la descarga:

Después de aceptar las condiciones de uso y de si se desea, rellenar la encuesta, se procederá a descargar el fichero.

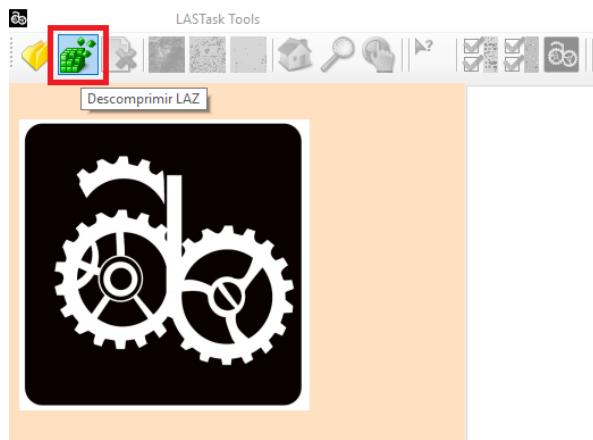


Si observamos detenidamente, el archivo descargado no tiene extensión LAS, sino LAZ, que es un tipo de archivo comprimido. Para poder descomprimirlo tenemos que descargarnos del campus virtual la herramienta adecuada para ello:

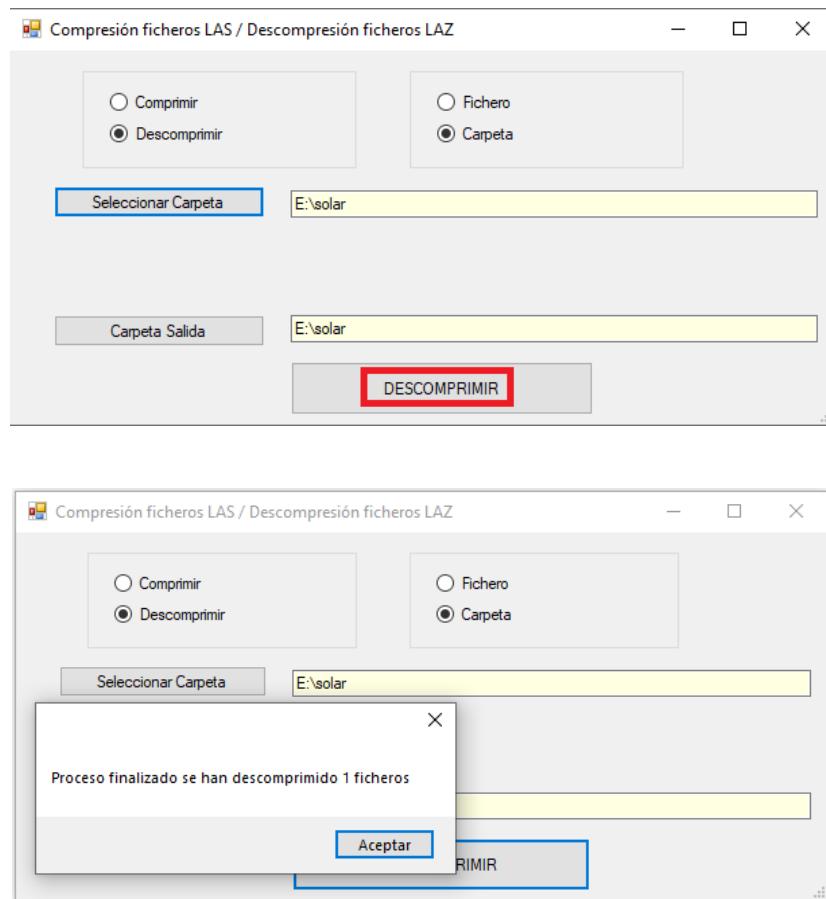
Procederemos entonces a instalar el programa LASTaskTools, siguiendo las instrucciones:

Este equipo > Datos (G:) > lidar > Software				
	Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
2.2.2	program files	02/02/2015 13:12	Carpeta de archivos	
2.2.2	0x0409	23/03/2010 15:44	Opciones de confi...	22 KB
2.2.2 Cra	AyudaLASTaskTools	26/01/2015 12:33	Documento Adob...	4.893 KB
IG	InstalaciónLASTaskTools	13/01/2015 8:43	Documento Adob...	415 KB
	LASTask Tools	27/01/2015 16:56	Paquete de Windo...	993 KB
	setup	27/01/2015 16:56	Aplicación	1.188 KB
	Setup	27/01/2015 16:56	Opciones de confi...	5 KB

Una vez instalado el programa procederemos a descomprimir el archivo LiDAR:



Le indicaremos la carpeta en la que tenemos el archivo LAZ



4.2 Trabajar con datos LiDAR en Arcgis

En primer lugar, crearemos un LAS Dataset con el fichero LAS que hemos descargado.

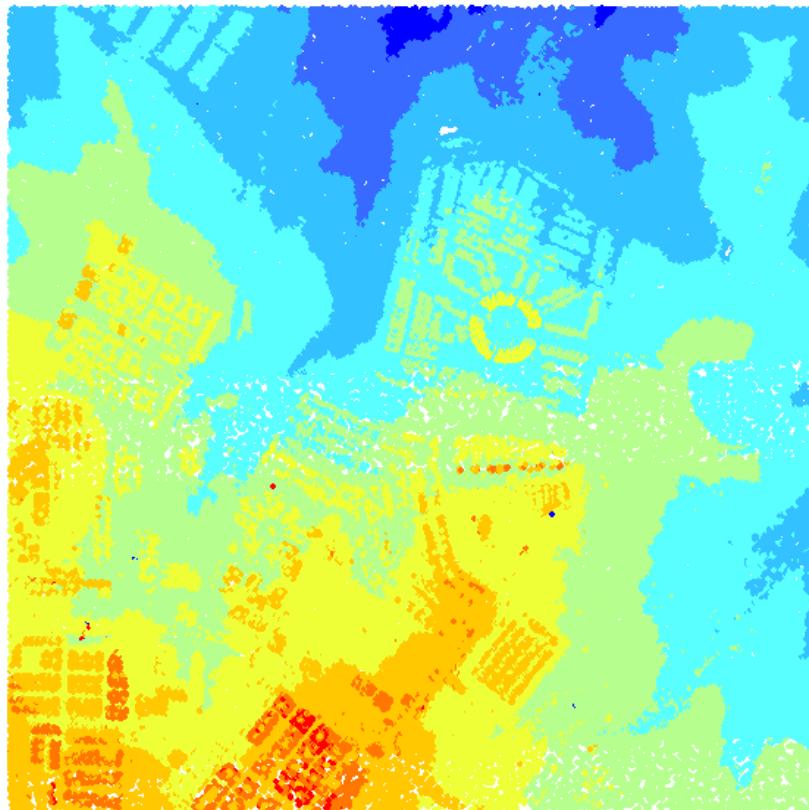
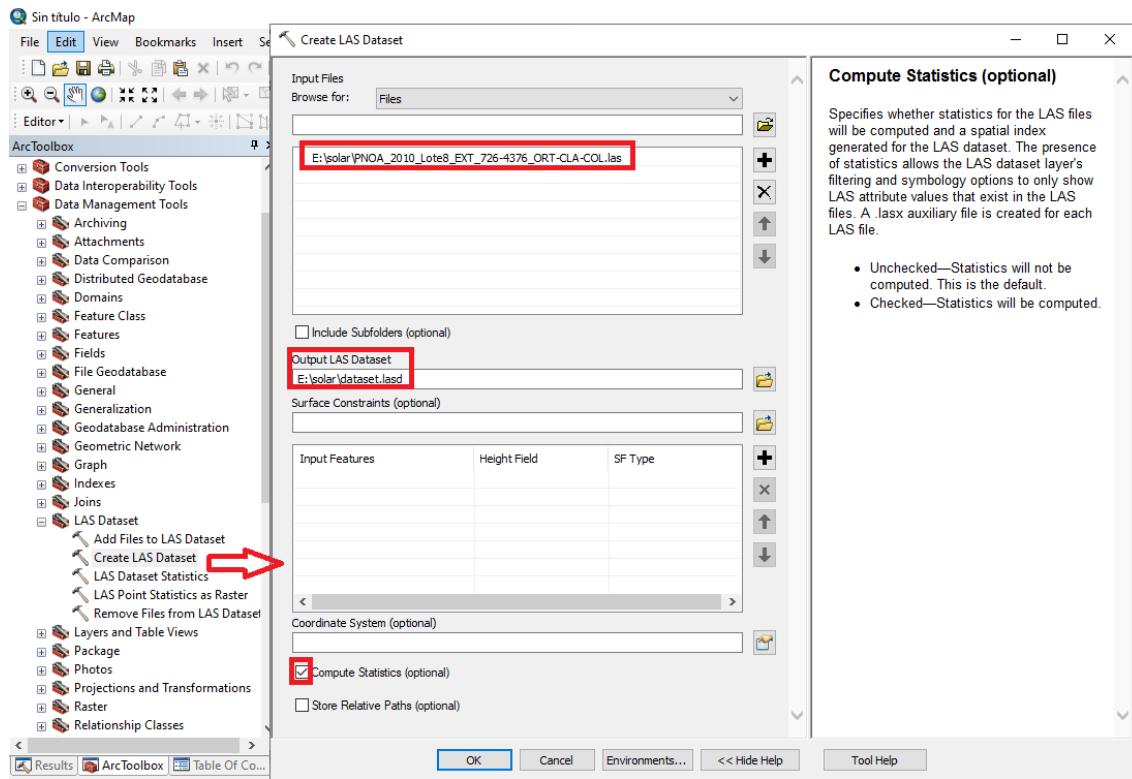
El Dataset LAS proporciona un rápido acceso a grandes volúmenes de LiDAR y datos de superficie sin necesidad de conversión de datos o importar. Esto hace que sea más fácil trabajar con varios archivos LAS que abarquen toda el área de estudio.

El soporte para Datasets LAS en ArcMap y el geoprocесamiento es principalmente para LiDAR aéreo. Para un mejor rendimiento, el equipo debe tener acceso directo a los datos en la unidad interna local, no a través de la red o de unidades externas más lentas.

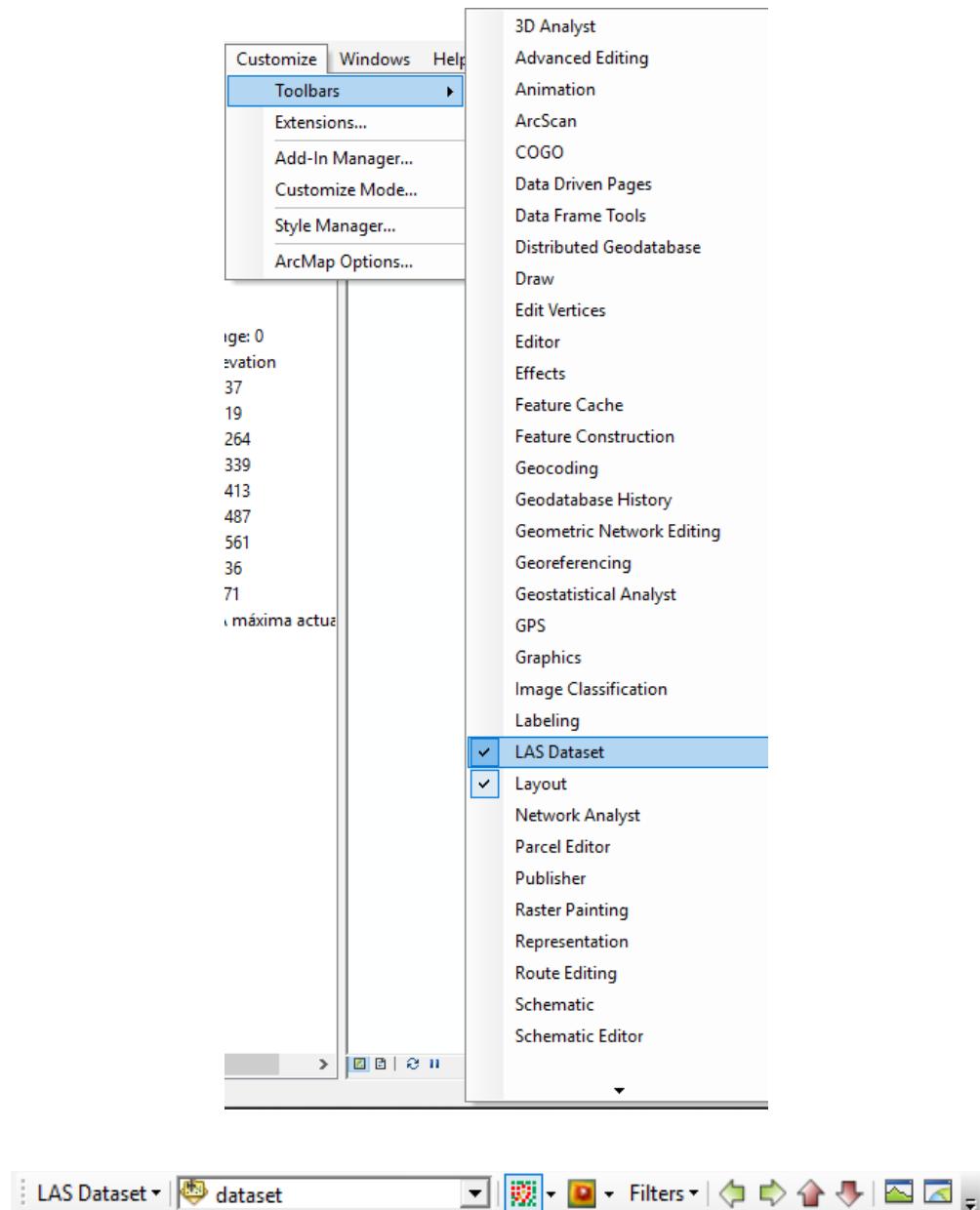
Se recomienda que los datos LAS se lean en un sistema de coordenadas proyectadas, por ejemplo, UTM. Los datos LAS que se capturan en coordenadas geográficas se pueden visualizar, pero es posible que alguna funcionalidad falle o no sea óptima.

En el disco se crean hasta cuatro tipos de archivos que están asociados con un Dataset LAS:

- Archivo de Dataset LAS (*.lasd*): Solo almacena la referencia a los archivos LAS y las restricciones de superficie. Las restricciones de la superficie son las entidades de la superficie almacenadas en los shapefiles o clases de entidades de geodatabase como variaciones de pendiente específicas de la superficie, perímetros de lagos, calas, orillas de ríos, ...
- Archivo auxiliar LAS (*.lasx*): cuando se calculan las estadísticas en un Dataset LAS.
- Archivo de proyección (*.prj*): un archivo de proyección define el sistema de coordenadas de un archivo LAS.
- Archivo LAS optimizado (*.zlas*): son archivos comprimidos que se pueden usar directamente en ArcGIS 10.2.1 y posterior a través del Dataset LAS.



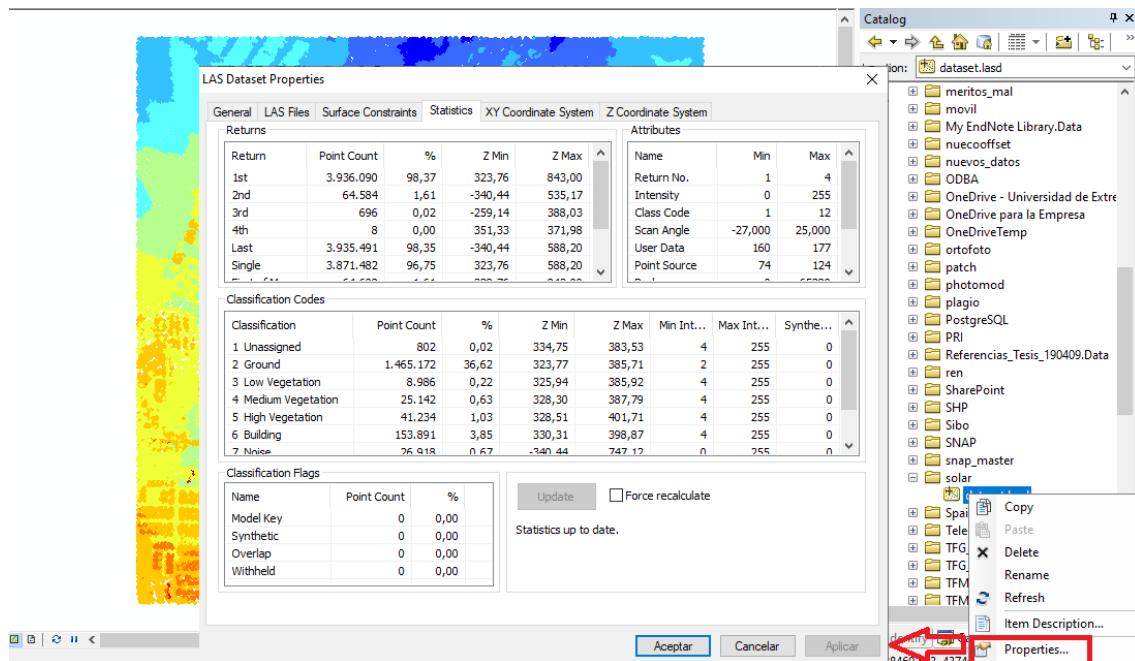
Abriremos entonces la ventana de herramientas del LAS dataset:



Podremos entonces hacer algunas operaciones.

4.2.1 Estadísticas de los datos LiDAR

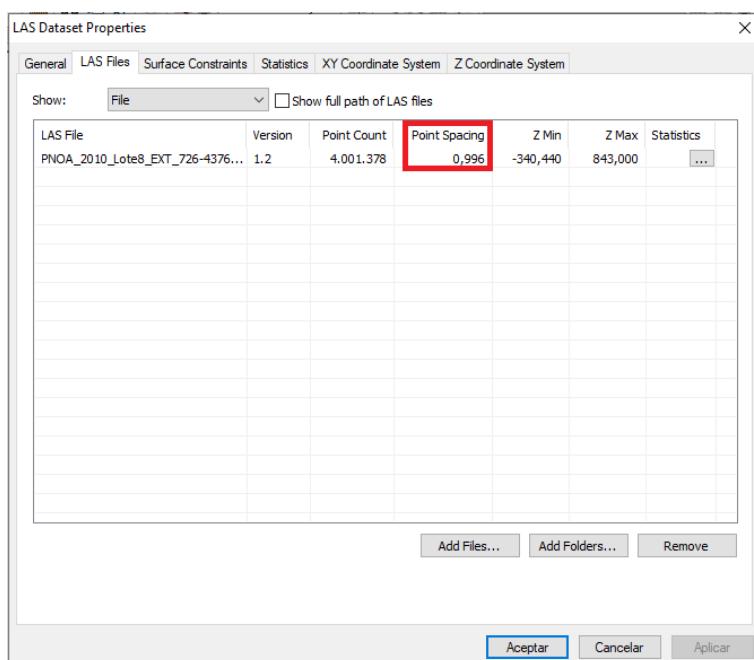
Con el fin de tener mayor conocimiento de los ficheros LiDAR con los que vamos a trabajar, conviene realizar un análisis estadístico y así ver la casuística de nuestra zona de trabajo.



Veremos entonces el número que puntos que hay clasificados y de qué clase, el número de retornos, etc...



Una densidad de puntos superior significa valores inferiores para el espaciado de puntos.



4.2.2 Analizar puntos LiDAR contra el primer retorno, terreno desnudo o cualquier tipo de filtro deseado.

Un pulso LiDAR se puede reflejar desde una o muchas entidades y, por lo tanto, devolver más de un pulso láser. Puede usar estas devoluciones de pulso láser separadas para mostrar los datos LiDAR a los que hace referencia el Dataset LAS. Los filtros son más comunes terreno y No terreno.

Seleccionar de cualquiera de los siguientes filtros LiDAR predefinidos:

Filtro de superficie o de punto	Descripción
Todo/ all	Todos los puntos LiDAR para visualizar el Dataset LAS.
Terreno/ ground	Sólo los puntos LiDAR se marca como puntos de suelo para visualizar el Dataset LAS.
No terreno/ not ground	Todos los puntos LiDAR que no se marcan como puntos de terreno para visualizar el Dataset LAS.
Primera devolución/ first return	Sólo puntos LiDAR de primer retorno para visualizar el Dataset LAS.

4.2.3 Crear MDE y MDS.

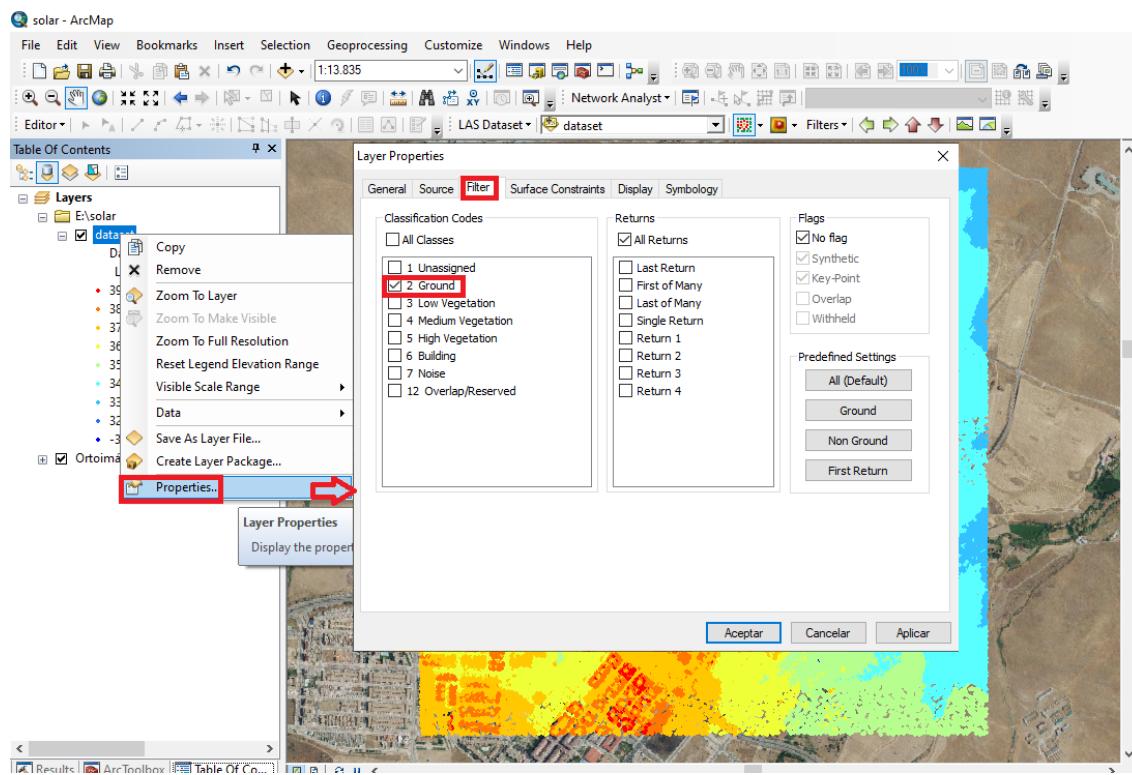
Los modelos digitales del terreno son un conjunto de datos numéricos que describe la distribución espacial de una característica del territorio, sea esta la que sea.

Se pueden realizar muchos tipos de MDT, pero en nuestro caso, procede distinguir entre los siguientes modelos:

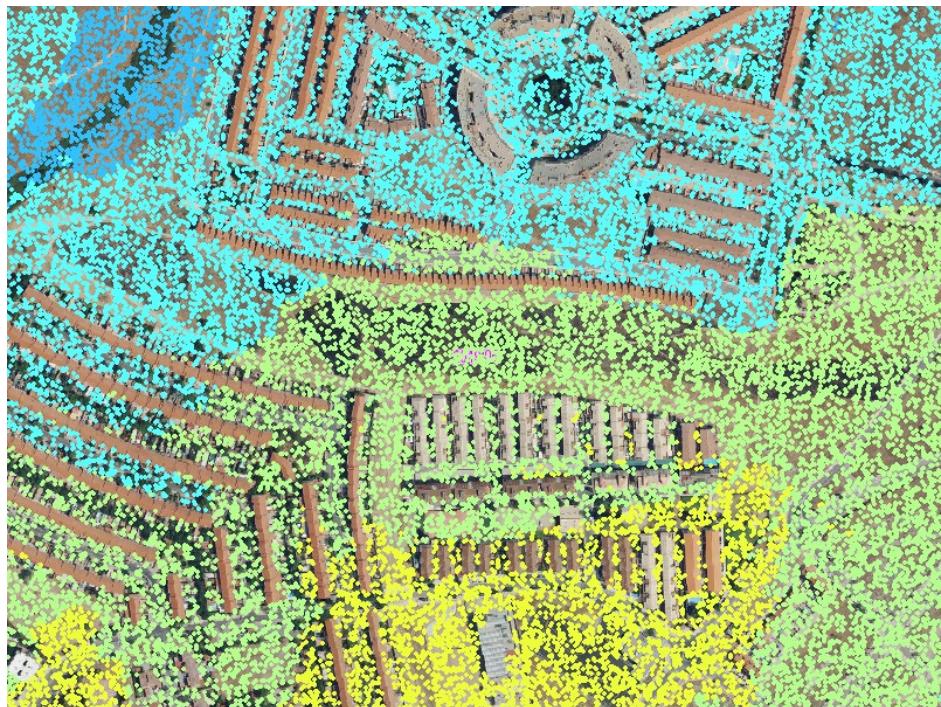
- **MDE**, Modelo digital de Elevaciones: Estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno.
- **MDS**, Modelo digital de Superficie: Incluye las altitudes de los elementos elevados de la superficie, tales como edificios, árboles...

A partir del Dataset LAS, podemos crear ambas estructuras de datos. Para ello, lo primero será configurar la capa con el conjunto de propiedades de filtro adecuado, como entrada para la herramienta Dataset LAS a ráster.

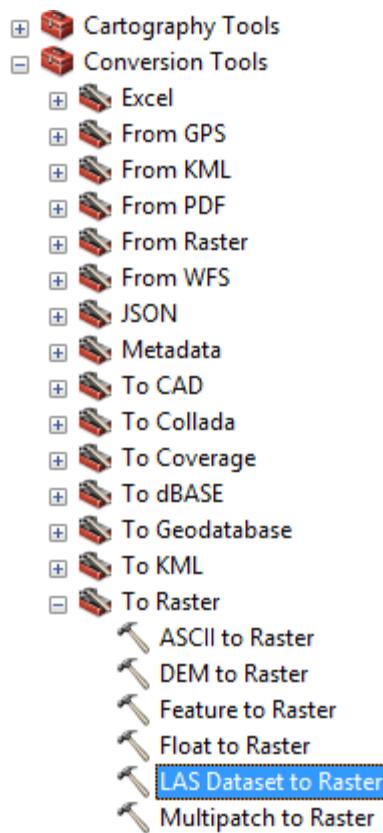
Para crear el **MDE** filtraremos únicamente los puntos del terreno y crearemos un ráster a partir del LAS Dataset.



De esa manera se mostrarán sólo los puntos del suelo (caso contrario al que teníamos anteriormente en la visualización)



Ahora entonces procederemos a la generación del MDE.



Si observamos con detenimiento, se pueden elegir dos métodos de interpolación:

- La técnica de **BINNING** proporciona un método de asignación para determinar cada celda de salida usando los puntos contenidos en su extensión, junto con un método de relleno de vacíos para determinar el valor de las celdas que no contienen ningún punto LAS. Se suele considerar que, dado que una nube de puntos LiDAR es tan densa, esta metodología *binning* es más que suficiente, ganándole el terreno a los métodos de interpolación clásicos, que, con dicha densidad de puntos, consumirían mucho tiempo de cálculo.

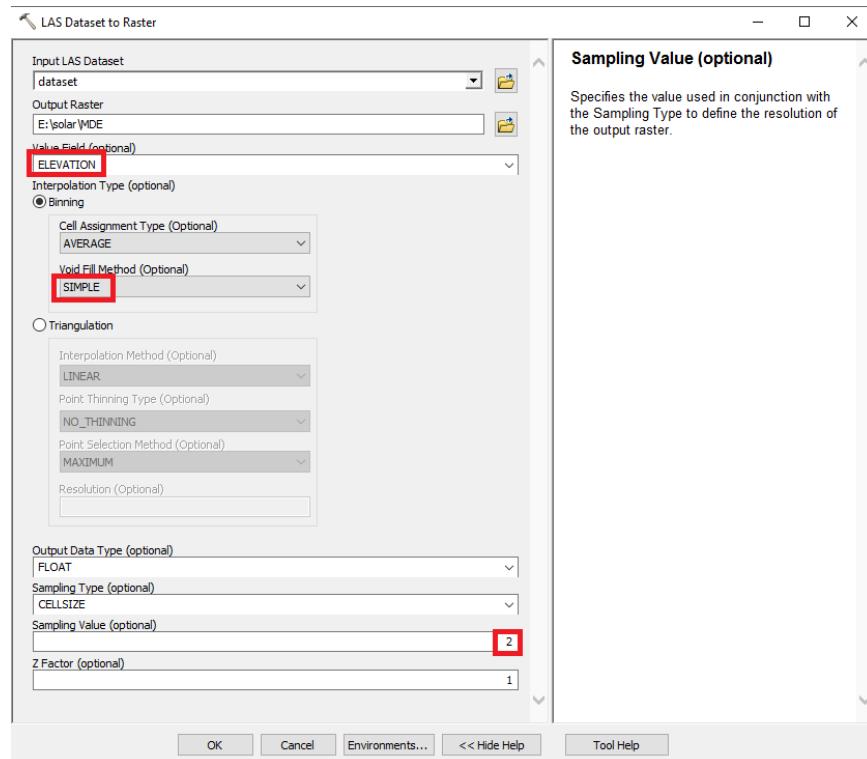
Métodos de asignación de celdas

- **AVERAGE:** asigna el valor promedio de todos los puntos dentro de la celda. Esta es la opción predeterminada.
- **MINIMUM:** asigna el valor mínimo de los puntos que se encuentran dentro de la celda.
- **MAXIMUM:** asigna el valor máximo de los puntos que se encuentran dentro de la celda.
- **IDW:** utiliza la interpolación ponderada por distancia inversa para determinar el valor de la celda.
- **NEAREST:** utiliza la asignación de vecino más cercano para determinar el valor de celda.

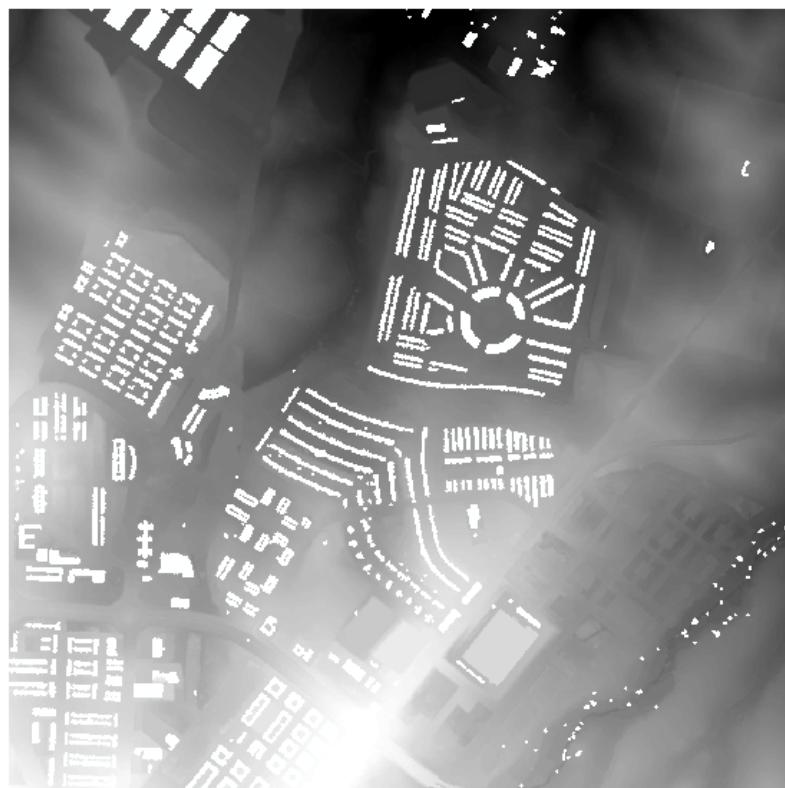
Métodos de relleno de vacíos

- **NONE:** se asigna NoData a la celda.
- **SIMPLE:** calcula el promedio de los valores de los datos de las celdas que rodean a la celda para eliminar pequeños vacíos.
- **LINEAR:** realiza la triangulación en las áreas vacías y utiliza la interpolación lineal en el valor de triangulación para determinar el valor de celda. Esta es la opción predeterminada.
- **NATURAL_NEIGHBOR:** utiliza la interpolación de vecinos naturales para determinar el valor de celda.

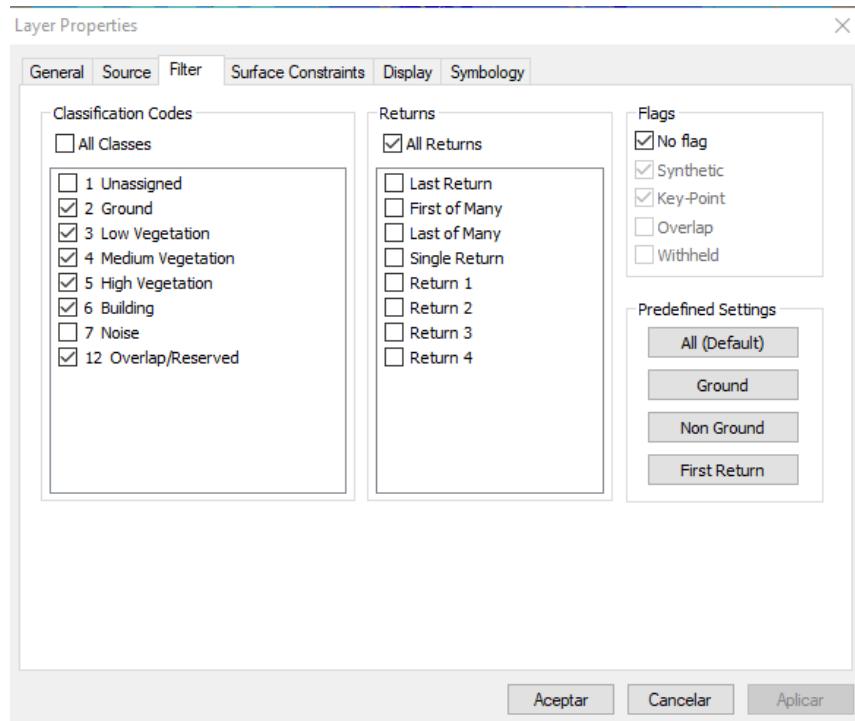
- Los métodos de interpolación por triangulación (TRIANGULATION) derivan valores de celdas usando un método basado en TIN.



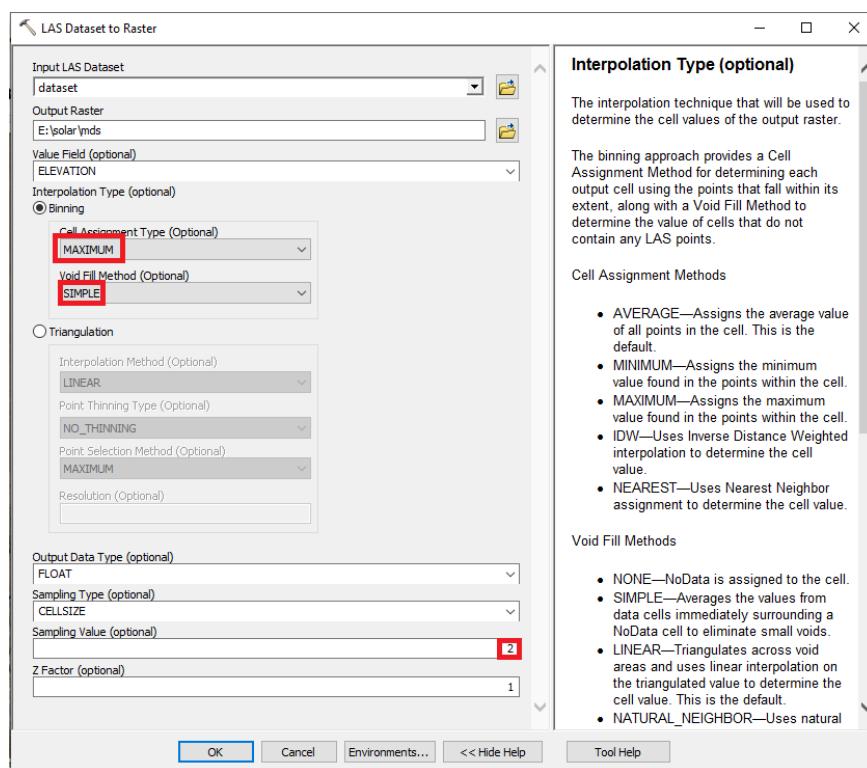
Se nos generará un MDE con el siguiente aspecto:



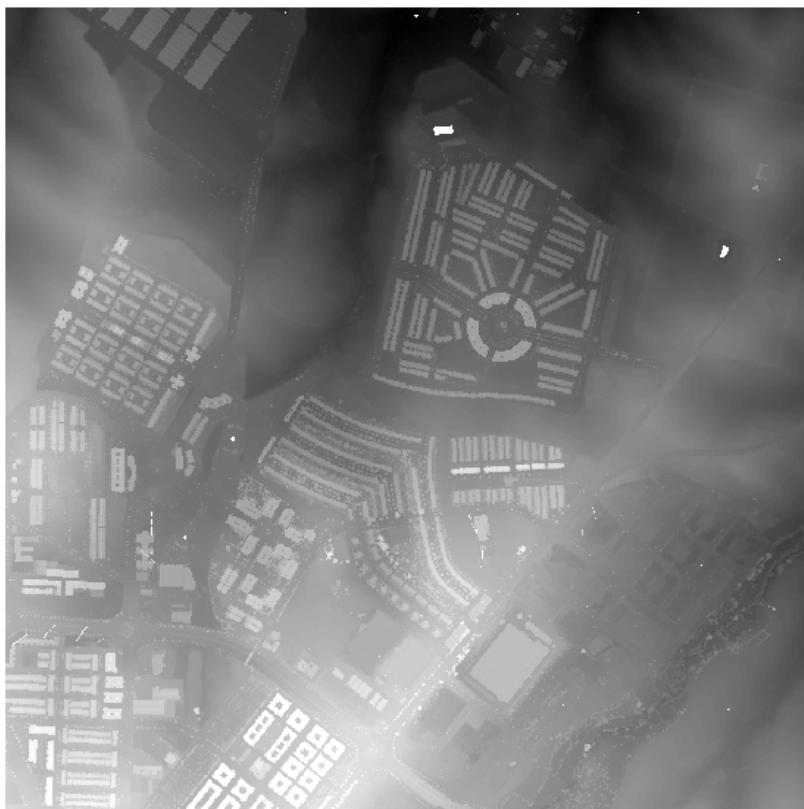
Para crear el **MDS** de la zona filtraremos todos los puntos menos el ruido y los puntos sin asignación.



Y ahora al generar el ráster, elegiremos el valor máximo para la asignación de la cota de cada celda.



De este modo, se ha creado un MDS de 2 m de resolución espacial.



4.2.4 Manipular los valores de código de clasificación de puntos LiDAR para corregir los errores de clasificación.

Los puntos LiDAR almacenados en los archivos LAS por lo general se clasifican en diferentes categorías usando las herramientas de clasificación especializadas fuera de ArcGIS. El código de clasificación asignado a cada punto se escribe en el archivo LAS y, en la mayoría de los casos, se adhiere a la norma descrita por la Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección ASPRS ([British American Society for Photogrammetry & Remote Sensing](#)). Cuando se realizan clasificaciones automatizadas en datos LiDAR, por lo general no se clasifican todos los puntos correctamente, sino que suele alcanzarse una precisión de aproximadamente el 90% de los puntos. Para garantizar que el 100% de los puntos LiDAR se clasifiquen correctamente, se necesitan una clasificación y una limpieza de datos manual.

Cada punto LiDAR puede tener una clasificación asignada que define el tipo de objeto que reflejó el pulso láser. Los puntos LiDAR se pueden clasificar en varias categorías que incluyen suelo o terreno desnudo, parte superior de cubierta forestal y agua. Las diversas clases se definen mediante códigos numéricos de enteros en el archivo LAS.

Los códigos de clasificación los definió la ASPRS para los formatos LAS 1.1, 1.2, 1.3 y 1.4. ArcGIS admite todas las versiones de LAS. La versión de LAS 1.4, que es la versión más reciente del formato LAS, incorpora la clasificación de puntos adicional y la información que se describe a continuación.

Valor de clasificación	Significado
0	Nunca clasificado
1	No asignado

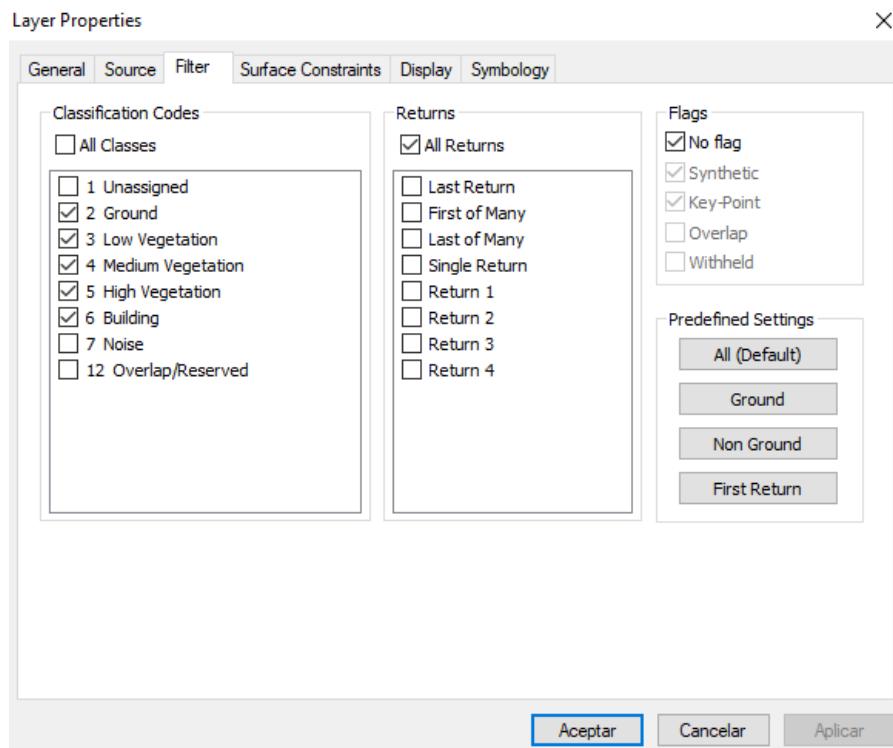
2	Base (o Terreno)
3	Vegetación baja
4	Vegetación media
5	Vegetación alta
6	Edificio
7	Punto bajo
8	Reservado*
9	Aqua
10	Ferrocarril
11	Superficie de la carretera
12	Reservado*
13	Protector de cable (señal)
14	Conductor de cable (fase)
15	Torre de transmisión
16	Conejero de la estructura de cables (aislante)
17	Plataforma del puente
18	Ruido alto
19-63	Reservado
64-255	Definido por el usuario

4.2.5 Analizar datos LiDAR mediante códigos de clasificación.

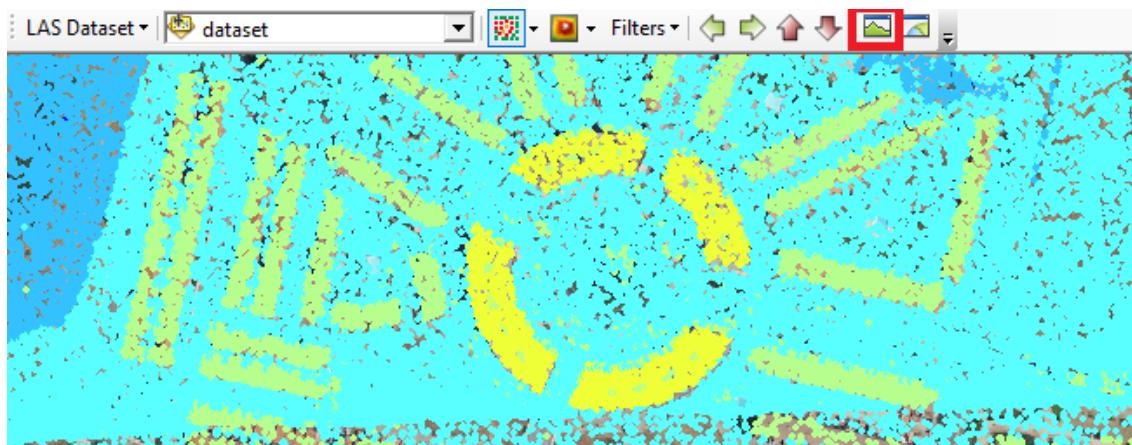
Como cualquier otra capa de información en ArcGis, el LAS Dataset tiene unas propiedades de visualización que pueden ser modificadas por el usuario desde el menú la tabla de contenidos

De tal modo que en la pestaña de filtro podremos activar o desactivar las entidades clasificadas con ciertos códigos.

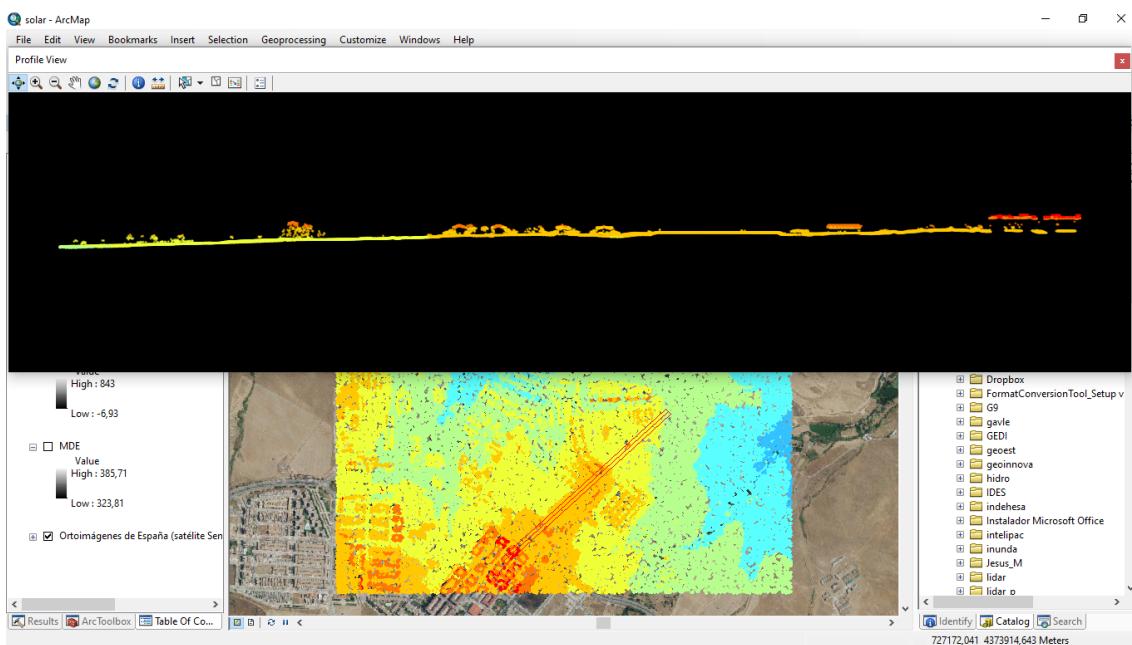
Por ejemplo, podríamos eliminar todos aquellos puntos clasificados como (overlap) o recubrimiento, ya que pueden llevar a confusión.



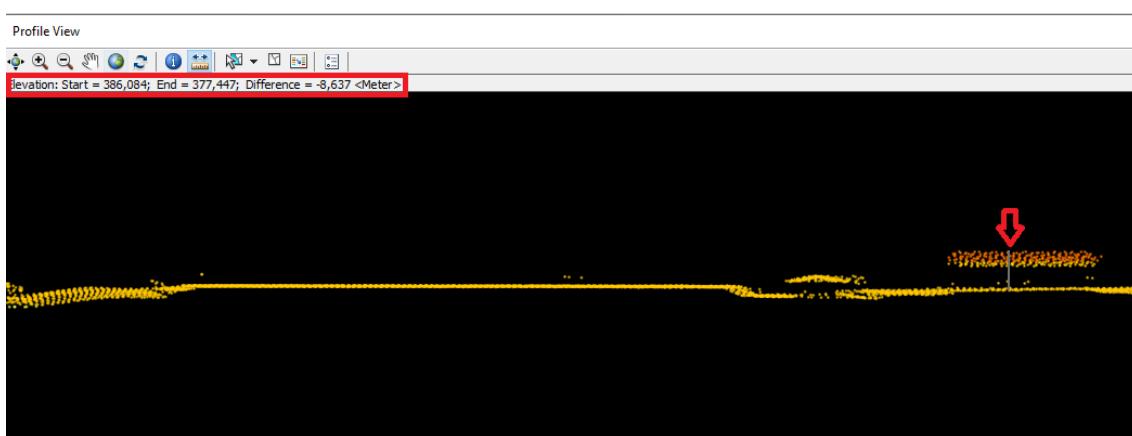
Procederemos entonces a realizar un perfil y a observar el gran potencial que los datos LiDAR nos aportan. Emplearemos para ello la herramienta de vista de perfil del LAS Dataset.



Designaremos entonces una línea por la que hacer un perfil y un ancho (Se recomienda que no sea muy amplio, para que el perfil generado sea más fácil de interpretar).



Se podrían medir las alturas de las edificaciones aisladamente.



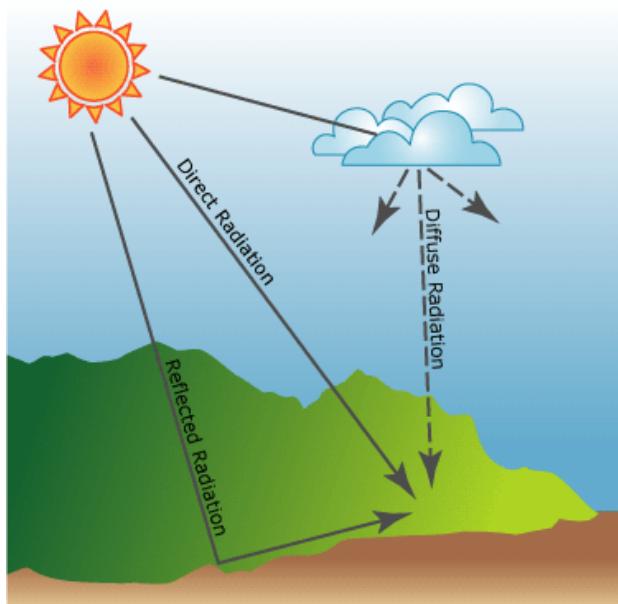
5. Cálculo del potencial solar

La variación en la altura, la pendiente y la orientación, y las sombras producidas por entidades topográficas influyen en la cantidad de insolación que se recibe en diferentes ubicaciones. Esta variabilidad también cambia según la hora del día y la época del año y, a su vez, contribuye a la variabilidad del microclima, incluidos los factores como los regímenes térmicos del aire y del sol, la evapotranspiración, los patrones de fusión de la nieve, la humedad del suelo y la luz disponible para la fotosíntesis.

Las herramientas de análisis de radiación solar de la extensión ArcGIS Spatial Analyst permiten colocar en un mapa y analizar los efectos del sol sobre un área geográfica para períodos de tiempo específicos. El análisis explica los efectos atmosféricos, la latitud y la elevación de una ubicación, la pendiente y la orientación, los cambios diarios y estacionales del ángulo solar y los efectos de las sombras producidas por la topografía circundante. Los datos de salida resultantes se pueden integrar fácilmente con otros datos de SIG y pueden ayudar a modelar los procesos físicos y biológicos que se ven afectados por el sol.

La radiación solar entrante (insolación) se origina a partir del sol; se modifica a medida que recorre la atmósfera; se modifica más por las entidades de superficie y topografía; y se intercepta en la superficie de la tierra como componentes directos, difusos, y reflejados. La radiación directa se intercepta sin dificultades en una línea directa desde el sol. La radiación difusa se dispersa por componentes atmosféricos, como nubes y polvo. La radiación reflejada se refleja desde entidades de superficie. La suma de la radiación directa, difusa y reflejada se denomina radiación solar total o global.

La radiación solar entrante es interceptada como componentes directos, difusos o reflejados.



La radiación directa es el componente más grande de la radiación total y la radiación difusa es el segundo componente más grande. En general, la radiación reflejada constituye sólo una pequeña proporción de la radiación total, excepto para las ubicaciones rodeadas por superficies altamente reflexivas como la cobertura de nieve. Las herramientas de radiación solar no incluyen la radiación reflejada en el cálculo de la radiación total. Por lo tanto, la radiación total se calcula como la suma de la radiación directa y difusa.

5.1 cálculo del potencial solar con ArcGis

Los parámetros a introducir en el programa son los siguientes:

- Proporción difusa

Hace referencia a la proporción de radiación difusa respecto al total. La radiación difusa es aquella recibida de la atmósfera como consecuencia de la dispersión de parte de la radiación del sol en la misma.

La proporción difusa puede suponer aproximadamente un 20% de la radiación global en los días soleados, pero en los días nublados en los cuales la radiación directa es muy baja, la radiación difusa supone un porcentaje de hasta un 45% del total.

- Transmisividad

Es la proporción de radiación solar incidente sobre un material que es capaz de ser transmitida por ese material, es decir, es la proporción de radiación solar que es capaz de atravesar dicho material.

- Tamaño del cielo

El tamaño del cielo es la resolución de los rásteres de la cuenca visual, el mapa celeste y el mapa solar que se utiliza en los cálculos de la radiación.

La unidad es la celda/píxel.

Al aumentar el tamaño del cielo aumenta la exactitud del cálculo, pero también aumenta considerablemente el tiempo de cálculo.

- Intervalo diario

El intervalo de tiempo a lo largo del año utilizado para el cálculo de los sectores de cielo para el mapa del sol.

La unidad es el día.

- Intervalo horario

El intervalo de tiempo a lo largo del día utilizado para el cálculo de los sectores de cielo para mapas del sol.

La unidad es la hora.

- Divisiones del céntit

El número de divisiones utilizadas para crear sectores de cielo en el mapa de cielo.

- Tipo de modelo difuso

Hay dos opciones a elegir:

- *Uniform Sky* (Cielo uniforme): La radiación difusa entrante es la misma desde todas las direcciones del cielo.
- *Standard Overcast Sky* (Cielo nublado estándar): El flujo de radiación difusa entrante varía con el ángulo céntit.

Como parámetros generales en todos los meses consideraremos los siguientes:

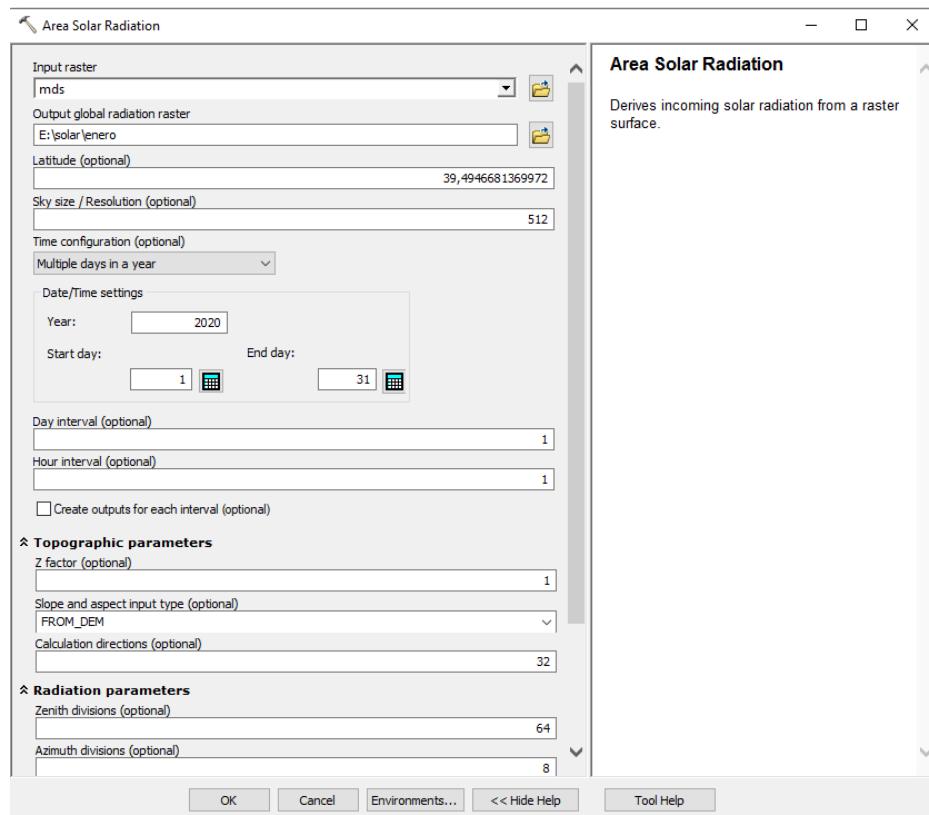
Tamaño del cielo	512
------------------	-----

Intervalo diario	1
Intervalo horario	1
Direcciones de cálculo	32
Divisiones del céntit	64
Divisiones del azimut	8

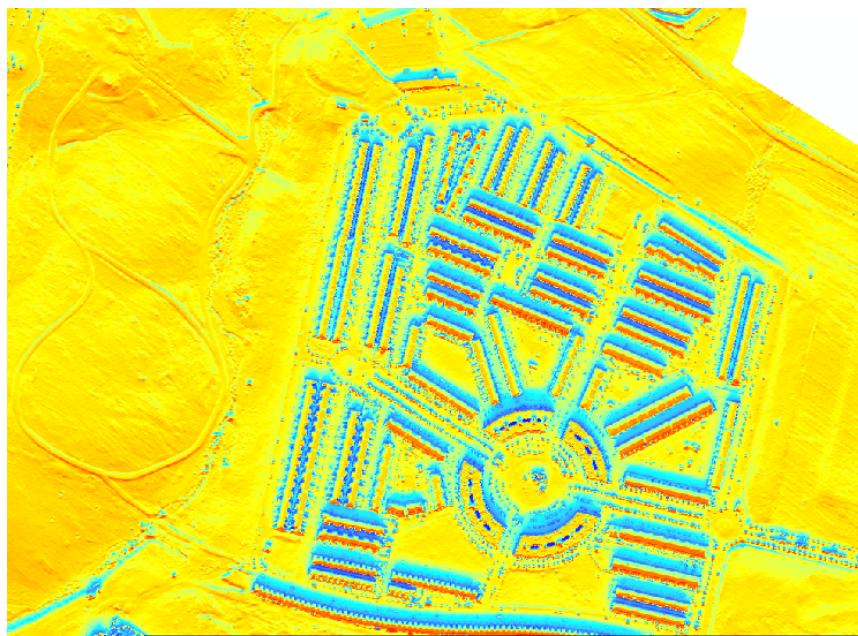
Y dependiendo del mes del año los siguientes parámetros.

	Transmisividad	Proporción difusa	Tipo de modelo difuso
January	0,476405	0,449710	SO
February	0,552276	0,384325	SO
March	0,568340	0,353004	SO
April	0,593221	0,366375	US
May	0,352899	0,604319	US
June	0,271609	0,674908	US
July	0,716527	0,194459	US
August	0,716143	0,197418	US
September	0,654746	0,289075	US
October	0,569036	0,416475	SO
November	0,570814	0,383104	SO
December	0,531755	0,407162	SO

De este modo, configuraremos los cálculos para cada mes del año:



El proceso durará varias horas, dando lugar finalmente a un ráster con la radiación solar incidente, en la que se pueden apreciar las zonas en sombra y las que más potencial tienen:



Si se desea, se puede recortar el MDS por una superficie más pequeña para hacer que los cálculos sean más rápidos

6. Bibliografía

- Esri, (2011). Release 10. Documentation Manual. Redlands, CA, Environmental Systems Research Institute.
- Polo, M. E., Pozo, M., & Quirós, E. (2018). Circular statistics applied to the study of the solar radiation potential of rooftops in a medium-sized city. *Energies*, 11(10), 2813.
- Polo, M. E., Pozo, M., & Quirós, E. (2018). Directional statistics in solar potential of rooftops at three different neighborhoods of a medium size city. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings*, 2(20), 1275.
- Quirós, E. (2014). Introducción a la fotogrametría y cartografía aplicadas a la ingeniería civil.
- Quirós, E., Pozo, M., & Ceballos, J. (2018). Solar potential of rooftops in Cáceres city, Spain. *Journal of Maps*, 14(1), 44-51.