

## ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN Y ELECTRÓNICA



### TRABAJO DE FIN DE TÍTULO

## VISUALIZACIÓN DE DATOS GEORREFERENCIADOS MEDIANTE HOLOGRAFÍA Y REALIDAD VIRTUAL

Titulación: Grado en Ingeniería en Tecnologías de la Telecomunicación.  
Mención: Sonido e Imagen  
Autor: Josué Santana Galván.  
Tutor: Juan Bautista Ruiz Alzola.  
Cotutor: Idafen Santana Pérez  
Fecha: Julio de 2021

## ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN Y ELECTRÓNICA



### TRABAJO DE FIN DE TÍTULO

### VISUALIZACIÓN DE DATOS GEORREFERENCIADOS MEDIANTE HOLOGRAFÍA Y REALIDAD VIRTUAL

### HOJA DE EVALUACIÓN

Calificación: \_\_\_\_\_

Presidente

Vocal

Secretario/a

Fecha: Julio de 2021

## Índice

<b>MEMORIA.....</b>	<b>14</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>15</b>
1.1. Antecedentes.....	15
1.2. Objeto del proyecto.....	18
1.3. Motivación.....	19
1.4. Estructura de la memoria.....	19
<b>2. Fundamentos principales de la holografía.....</b>	<b>20</b>
2.1. La luz.....	20
2.1.1. Modelo corpuscular de la luz.....	20
2.1.2. Teoría ondulatoria.....	20
2.2. Interferencia.....	21
2.2.1. Interferencia constructiva y destructiva.....	21
2.3. Difracción.....	23
2.4. Holografía.....	24
2.4.1. Holografía analógica.....	25
2.4.1.1. Interferometría.....	27
2.4.2. Holografía digital.....	28
2.4.2.1. Interferometría en holografía digital.....	29
2.5. Aplicaciones.....	31
<b>3. Materiales y métodos.....</b>	<b>32</b>
3.1. Google Earth.....	32
3.1.1. Resultados.....	35
3.2. Grass Giss.....	36
3.2.1. Resultados.....	40
3.3. Generar datos sintéticos añadiendo la tercera dimensión en Paraview.....	41
3.3.1. Representación de un plano.....	41
3.3.2. Representación del relieve.....	44

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

3.3.3. Resultados .....	44
3.4. Representación de datos del ISTAC .....	45
3.4.1. Shapefile .....	47
3.4.2. GPKG.....	48
3.4.3. KML.....	48
3.4.4. Resultados .....	49
3.5. Google Earth Pro, obtención de la componente Z.....	50
3.5.1. Resultados .....	51
3.6. Metodología.....	52
3.6.1. API de Google Maps.....	52
3.6.1.1. Generar clave API de Google Maps.....	53
3.6.2. Representación de las Islas Canarias .....	56
3.6.2.1. Desarrollo del software a través de Google Colabotory.....	56
3.6.2.2. Tratamiento de datos geográficos en Paraview.....	69
3.6.3. Representación de los datos de contaminación lumínica y calidad del aire.....	72
3.6.3.1. Tratamiento de los datos de contaminación del aire .....	73
3.6.3.2. Desarrollo del software a través del IDE Pycharm .....	76
3.6.3.3. Animación del conjunto de datos de contaminación del aire.....	79
3.6.3.4. Tratamiento de los datos de contaminación lumínica .....	85
3.6.3.5. Animación del conjunto de datos de contaminación lumínica. ....	87
4. Resultados.....	88
4.1. Visualización de datos en Looking Glass .....	88
4.1.1. Looking Glass .....	88
4.1.2. Funcionamiento.....	89
4.1.3. Configuración de Looking Glass.....	90
4.2. Visualización de los datos en Realidad Virtual .....	93
4.2.1. Vive Pro.....	94
4.2.2. Características y configuración.....	94
5. Conclusiones y líneas futuras .....	97

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

### **PLIEGO DE CONDICIONES..... 99**

1.	<i>Pliego de condiciones técnicas particulares</i> .....	100
1.2.	Introducción.....	100
1.3.	Equipos de visualización.....	100
	Looking Glass 8,9” .....	100
	HTC Vive Pro .....	100
	Ordenador de sobremesa.....	101
1.4.	Softwares .....	101
	Paraview .....	101
	HoloPlay Service .....	101
	IDE PyCharm .....	102
	Google Colaboratory.....	102

### **PRESUPUESTO.....103**

1.	<i>Presupuesto del proyecto</i> .....	104
1.1.	Desglose del presupuesto .....	104
1.2.	Recursos materiales.....	104
1.3.	Recursos Software .....	105
1.4.	Recursos Hardware .....	105
1.5.	Trabajo tarifado por tiempo empleado.....	107
1.6.	Redacción del trabajo .....	107
1.7.	Material fungible.....	108
1.8.	Derechos de visado del COITT.....	108
1.9.	Gastos de tramitación y envío.....	109
1.10.	Aplicación de impuestos y coste total.....	109

<b>ANEXOS.....</b>	<b>110</b>
1. Software .....	111
1.1. Paraview.....	111
1.1.1. Estructura de datos .....	112
1.1.2. Entorno de trabajo .....	115
Barra de menú.....	115
Barra de herramientas .....	116
Pipeline.....	116
Panel de propiedades.....	116
Ventana de visualización .....	116
<b>Bibliografía .....</b>	<b>117</b>

## Índice de figuras

<i>Fig. 1. Resultado de la superposición de dos ondas. a) En fase y b) En contrafase.....</i>	<i>22</i>
<i>Fig. 2. Experimento de la doble rendija de Young.....</i>	<i>23</i>
<i>Fig. 3. Principio de Huygens.....</i>	<i>24</i>
<i>Fig. 4. Proceso de grabación y reconstrucción de un holograma.....</i>	<i>26</i>
<i>Fig. 5. Esquema de la situación de las fuentes y el objeto. ....</i>	<i>27</i>
<i>Fig. 6. Proceso de grabación del holograma.....</i>	<i>29</i>
<i>Fig. 7. Proceso de reconstrucción .....</i>	<i>29</i>
<i>Fig. 8. Interferometría en holografía digital .....</i>	<i>31</i>
<i>Fig. 9. Trazado de la ruta.....</i>	<i>32</i>
<i>Fig. 10. Asignación del nombre al trazado.....</i>	<i>33</i>
<i>Fig. 11. Exportación del trazado .....</i>	<i>33</i>
<i>Fig. 12. Interfaz GPS Visualizer's.....</i>	<i>34</i>
<i>Fig. 13. Resultado obtenido en GPS Visualizer's .....</i>	<i>34</i>
<i>Fig. 14. Importación del archivo CSV a Paraview.....</i>	<i>35</i>
<i>Fig. 15. Mensaje de error tras la aplicación del filtro TableToPoint.....</i>	<i>35</i>
<i>Fig. 16. Inserción de capa en Grass Giss .....</i>	<i>37</i>
<i>Fig. 17. Inserción de la capa Vector Map.....</i>	<i>38</i>
<i>Fig. 18. Limitación de la región de trabajo .....</i>	<i>38</i>
<i>Fig. 19. Descarga de los datos EarthData.....</i>	<i>39</i>
<i>Fig. 20. Capa de elevación limitada .....</i>	<i>39</i>
<i>Fig. 21. Modificación de la apariencia .....</i>	<i>40</i>
<i>Fig. 22. Configuración para añadir la capa de sombreado .....</i>	<i>40</i>
<i>Fig. 23. Importación del archivo CSV a Paraview.....</i>	<i>41</i>
<i>Fig. 24. Aplicación del filtro TableToPoint a los datos .....</i>	<i>42</i>
<i>Fig. 25. Representación del filtro Delaunay2D.....</i>	<i>42</i>

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

<i>Fig. 26. Representación de los datos usando el filtro "TableToStructuredGrid" .....</i>	<i>43</i>
<i>Fig. 27. Representación de los datos usando diferentes filtros.....</i>	<i>44</i>
<i>Fig. 28. Representación de la malla en formato CSV con precisión de 250m .....</i>	<i>46</i>
<i>Fig. 29. Representación de los datos usando el filtro "Clip".....</i>	<i>46</i>
<i>Fig. 30. Representación de los datos en formato SHP en GIS .....</i>	<i>48</i>
<i>Fig. 31. Representación de los datos en formato KML en Google Earth Pro.....</i>	<i>49</i>
<i>Fig. 32. Asignación del nombre a la ruta .....</i>	<i>50</i>
<i>Fig. 33. Trazado de la ruta sobre el Hierro.....</i>	<i>51</i>
<i>Fig. 34. Esquema de los pasos a seguir para obtener los valores de elevación y su representación..</i>	<i>52</i>
<i>Fig. 35. Aplicaciones de las APIs .....</i>	<i>53</i>
<i>Fig. 36. Panel del API Console de Google .....</i>	<i>54</i>
<i>Fig. 37. Creación de un nuevo proyecto.....</i>	<i>54</i>
<i>Fig. 38. Configuración de la credencial .....</i>	<i>55</i>
<i>Fig. 39. Biblioteca de APIs.....</i>	<i>55</i>
<i>Fig. 40. Selección de la API.....</i>	<i>56</i>
<i>Fig. 41. Primera versión del programa .....</i>	<i>57</i>
<i>Fig. 42. Segunda versión del programa .....</i>	<i>58</i>
<i>Fig. 43. Tercera versión del programa .....</i>	<i>59</i>
<i>Fig. 44. Cuarta versión del programa .....</i>	<i>60</i>
<i>Fig. 45. Unificación de los datos en un único archivo CSV .....</i>	<i>61</i>
<i>Fig. 46. Archivo CSV unificado .....</i>	<i>61</i>
<i>Fig. 47. Asignación de la coordenada Z la columna de altitud.....</i>	<i>62</i>
<i>Fig. 48. Asignación de la coordenada Z la columna de superficie.....</i>	<i>62</i>
<i>Fig. 49. Transformación de las coordenadas geográficas a X,Y.....</i>	<i>63</i>
<i>Fig. 50. Esquema de la proyección UTM .....</i>	<i>64</i>
<i>Fig. 51. Ejemplo del huso 3° .....</i>	<i>64</i>
<i>Fig. 52. Distribución de husos y bandas UTM en el mundo .....</i>	<i>65</i>

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

Fig. 53. Resultado con las coordenadas transformadas al sistema X,Y .....	66
Fig. 54. Resultado con las coordenadas transformadas al sistema X,Y .....	66
Fig. 55. Resultado con las coordenadas transformadas al sistema X,Y .....	68
Fig. 56. Representación de los datos geográficos en Paraview. Vista en planta.....	68
Fig. 57. Escalado de la coordenada altitud .....	69
Fig. 58. Aplicación del filtro Delaunay3D .....	70
Fig. 59. Asignación del mapa de color .....	71
Fig. 60. Datos geográficos obtenidos a partir del huso (zona) 10.....	71
Fig. 61. Datos geográficos obtenidos a partir del huso (zona) 28.....	72
Fig. 62. Tratamiento de datos de contaminación atmosférica .....	74
Fig. 63. Código Python para almacenar todos los archivos en un fichero zip .....	74
Fig. 64. Representación de la calima en Paraview .....	75
Fig. 65. Solapamiento de ambos conjuntos de datos .....	76
Fig. 66. Script de Python en el IDE Pycharm.....	78
Fig. 67. Escalado de los datos "obs_measure" de la muestra tomada a las 12am.....	78
Fig. 68. Escalado de los datos "obs_measure" de la medida tomada a las 12am .....	79
Fig. 69. Importación a Paraview de todas las medidas.....	80
Fig. 70. Ventana de Animación .....	81
Fig. 71. Transición de opacidad .....	83
Fig. 72. Configuración de la animación de la primera muestra .....	83
Fig. 73. Configuración de la animación de la segunda muestra .....	84
Fig. 74. Tratamiento de datos de contaminación lumínica.....	85
Fig. 75. Tratamiento de datos de contaminación lumínica.....	86
Fig. 76. Escalado de los datos "mag" de la muestra tomada a las 9:30pm .....	86
Fig. 77. Configuración de las propiedades del filtro Glyph.....	87
Fig. 78. Ventana de animación de los datos de contaminación lumínica .....	88
Fig. 79. Modelos de Looking Glass.....	89

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

<i>Fig. 80. Características de la pantalla holográfica</i> .....	89
<i>Fig. 81. MacBook Pro 13" 2017</i> .....	90
<i>Fig. 82. Cable USB-C y HDMI para el conexionado entre el ordenador y la pantalla holográfica</i> .....	91
<i>Fig. 83. Activación del plugin Looking Glass en Paraview</i> .....	91
<i>Fig. 84. Looking Glass de 8,9"</i> .....	92
<i>Fig. 85. Visualización de los datos en Looking Glass</i> .....	92
<i>Fig. 86. Hardware de HTC Vive Pro</i> .....	94
<i>Fig. 87. Conexionado entre el ordenador y las gafas VR</i> .....	95
<i>Fig. 88. Conexionado de las estaciones base</i> .....	95
<i>Fig. 89. Manejo de las gafas VR</i> .....	96
<i>Fig. 90. Visualización de los datos en VR</i> .....	97
<i>Fig. 91. Ejemplo de cuadrícula uniforme</i> .....	112
<i>Fig. 92. Ejemplo de cuadrícula no uniforme</i> .....	113
<i>Fig. 93. Ejemplo de cuadrícula curvilínea estructurada</i> .....	113
<i>Fig. 94. Ejemplo de cuadrícula poligonal</i> .....	114
<i>Fig. 95. Ejemplo de cuadrícula no estructurada</i> .....	114
<i>Fig. 96. GUI de Paraview</i> .....	115

Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

## Índice de tablas

Tabla 1 Coste de amortización de los recursos hardware .....	106
Tabla 2 Costes totales del proyecto .....	109

## Índice de ecuaciones

Ecuación 1 Onda del objeto.....	25
Ecuación 2 Onda reflejada.....	25
Ecuación 3 Onda de intensidad .....	25
Ecuación 4 Onda de intensidad .....	26
Ecuación 5 Onda del holograma.....	26
Ecuación 6 Onda de la imagen virtual .....	26
Ecuación 7 Onda de intensidad .....	30
Ecuación 8 Cálculo de la fase de la onda .....	30
Ecuación 9 Fase de la onda con el objeto en un estado inicial.....	30
Ecuación 10 Fase de la onda con el objeto en su estado final.....	30
Ecuación 11 Cálculo de la diferencia de fase.....	30
Ecuación 12 Plano .....	41
Ecuación 13 Escalado de los valores de contaminación atmosférica .....	76
Ecuación 14 Incremento de la variable mag.....	77
Ecuación 15 Coste de amortización.....	104
Ecuación 16 Tarifado por tiempo empleado .....	107
Ecuación 17 Honorarios por la redacción del trabajo .....	107
Ecuación 18 Presupuesto .....	108
Ecuación 19 Cálculo por la redacción del trabajo.....	108
Ecuación 20 Derechos de visado del COITT.....	108
Ecuación 21 Cálculo de derechos de visado del COITT.....	109

# *MEMORIA*

## 1. Introducción

### 1.1. Antecedentes

La holografía es una técnica de visualización que permite registrar la dispersión de la luz en un objeto. De esta forma se obtiene una imagen que contiene información de profundidad y otras características de la escena. Dicha técnica es referenciada en numerosas películas de ciencia-ficción, que hicieron de esta tecnología algo innovador y sofisticado que estaba muy lejos de nuestro alcance.

Hasta 1948 la fotografía era la forma clásica de registrar imágenes permanentes de objetos luminosos. A partir de ese año las investigaciones llevadas a cabo por Dennis Gabor en el “Research Laboratory” de la “British Thompson-Houston Company” dieron lugar al nacimiento de la Holografía, técnica cuyo desarrollo continúa en la actualidad. La investigación de Dennis Gabor, por la que recibió el Premio Nobel de Física en 1971, tuvo como motivación una mejora en la microscopía electrónica. Aunque su trabajo generó en principio mucho interés, no fue hasta principios de la década de los sesenta [1] cuando resurgió el interés por esta “técnica de reconstrucción del frente de ondas”. Gracias a la invención del láser, la Holografía se transformó en un tema de investigación prioritario y con múltiples aplicaciones científicas y tecnológicas.

*“La Holografía es un método de producción de imágenes tridimensionales en dos etapas, registro y reconstrucción. Mediante el proceso de registro se almacena en determinados medios fotosensibles la información necesaria, en forma de franjas de interferencia, para posteriormente reconstruir un frente de onda idéntico al que dio lugar a esa información. El medio fotosensible ya impresionado, soporte de esta información, constituye el holograma” [10].*

En la primera etapa del método holográfico (el registro) se hacen interferir la onda emitida por el objeto, con un haz de referencia [1]. Debido a esta interferencia se produce una distribución de amplitud o fase quedando la placa transformada en un holograma. En la segunda etapa (la reconstrucción) se ilumina el holograma con un haz similar al de referencia empleado en el registro, obteniéndose la imagen tridimensional del objeto.

Por otro lado, pueden hacerse varias clasificaciones en función de los distintos parámetros que intervienen en la realización del holograma: desde el punto de vista puramente geométrico, del medio de registro, y el espaciado entre las franjas de interferencia registradas en dicho medio. Para este último, se pueden distinguir entre hologramas planos, en los que dicho espaciado es

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

despreciable frente al espesor del holograma (representación en 2D), y hologramas de volumen, cuando este espaciado no puede despreciarse frente al espesor del material (representación 3D).

Actualmente esta tecnología es una realidad, convirtiéndose en una herramienta audiovisual debido a la proliferación de la industria del entretenimiento. Un ejemplo de ello lo encontramos en parques temáticos como Disneyland Paris<sup>1</sup>. La zona de Discoveryland ha incluido tecnología holográfica en sus atracciones temáticas de Star Wars, permitiendo visualizar los personajes principales de la película como si estuvieran presente junto a los espectadores.

No obstante, también es una técnica con una infinidad de aplicaciones y se utiliza en un gran número de campos, como en el arte [3]. Holocenter o Centro de artes holográficas, situado en Nueva York, es una organización dedicada a promover y desarrollar obras de arte holográficas. Enfocados en el medio artístico de los hologramas ópticos, además de instalaciones basadas en la luz, imágenes multidimensionales y medios visuales experimentales. Además, próximamente permitirá exposiciones virtuales de holografía de bellas artes, así como exposiciones sobre la ciencia y las aplicaciones comerciales.

Por otro lado, se han abierto nuevos caminos de investigación como por ejemplo la empresa tecnológica *Echopixel*<sup>2</sup>. Esta empresa mexicana ha desarrollado un sistema para realizar estudios médicos con hologramas 3D a partir de la combinación de miles de imágenes [2], obtenidas previamente mediante ultrasonidos, tomografía axial computerizada o resonancia magnética. Por lo tanto, el médico podrá ver e interactuar con el holograma 3D del corazón, el páncreas, los pulmones, o cualquier otro órgano del paciente como si se tratara de un objeto físico real, ampliando una vena o diseccionando un órgano para estudiar su interior.

A pesar de tratarse la holografía de una técnica totalmente innovadora por registrar imágenes tridimensionales, lo cierto es que la realidad virtual también se ha hecho un hueco en la historia, como técnica de visualización de contenido multimedia. Concretamente, la realidad virtual permite la creación de un entorno ficticio con apariencia totalmente real que ofrece la posibilidad de trasladarnos a cualquier lugar o situación que se desee, con la ilusión de estar dentro de ese entorno. Será a partir de dispositivos o cascos de realidad virtual como podamos sumergirnos dentro de un juego o viajar por todo el mundo sin movernos del sofá del salón, pero a través de una experiencia totalmente realista [39].

---

<sup>1</sup> <https://disneyparistravel.com/star-tours/>

<sup>2</sup> <https://echopixeltech.com>

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

No cabe duda de que la realidad virtual es un concepto actual. Sin embargo, esto no quiere decir que se trate de una tecnología reciente. Lo cierto es que antes de que se empezaran a desarrollar dispositivos de realidad virtual como los actuales, dicha tecnología ya estaba presente en la gran pantalla. Ya se encontraba incluida en diferentes películas como, “El cortador de césped”, “Proyecto Brainstorm” o “Nirvana”.

Sin embargo, no será hasta 1836 cuando se materializa gracias al científico Charles Wheatstone, quien inventó el estereoscopio. Un instrumento que permitía crear una ilusión de profundidad en una imagen a partir de dos fotografías prácticamente idénticas. Al ser observadas por cada ojo de forma independiente, ambas imágenes se combinan en el cerebro como una sola imagen. Con ello, se conformaron los primeros patrones para el diseño de los primeros visores de VR.

A partir del siglo XX se asientan las bases de la realidad virtual, con el *Sensorama*. Se trata de una cabina de gran tamaño que tenía la intención de estimular cuatro de los cinco sentidos. Mezclando múltiples tecnologías que mezclaban imágenes 3D estereoscópicas, visión amplia y sonido estéreo real. Sin embargo, dicha tecnología no llegó a materializarse. Más adelante, en 1986 la NASA fue una de las primeras instituciones en mostrar al público unas gafas de VR, que permitían un campo de visión de 120° en cada ojo, gracias a dos pantallas LCD. Además, incorporaba control por voz y un sistema de reconocimiento de gestos por guantes [39].

A pesar de tratarse la realidad virtual de un concepto presente, aun no se había materializado en un proyecto interesante, dotado de cierto atractivo y sentido en su uso. A partir del 2012, las gafas *Oculus Rift* se convirtieron en un dispositivo que despertó el interés de numerosas empresas, como Facebook. Actualmente, grandes compañías están apostando por esta tecnología debido a las múltiples aplicaciones que ofrece esta técnica, no solamente destinado al sector del ocio y el entretenimiento, sino también en el campo de la medicina.

Actualmente existen técnicas de realidad virtual que pueden ayudar a enfermos de Alzheimer a recuperar capacidades cognitivas. Se realizan mediante la producción de imágenes del pasado. El objetivo es potenciar la concentración del paciente y mejorar su actitud, debido a que la apatía o la falta de concentración son problemas que derivan de esta enfermedad. Estas técnicas se basan en la reproducción de situaciones, experiencias o reuniones familiares que pueden estimular la memoria del paciente. Por otro lado, según un estudio realizado por el Centro de Enfermedades Neurodegenerativas de Bonn<sup>3</sup> (Alemania), el Alzheimer podría predecirse con décadas de antelación.

---

<sup>3</sup> <https://www.dzne.de>

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

Recientemente se está aplicando un método orientado a persona jóvenes entre 18 y 30 años que consiste en recorrer un laberinto virtual, de este modo ponen a prueba la función de determinadas células cerebrales. Por lo tanto, se podría hacer una detección precoz de la enfermedad [40].

Otra enfermedad que se encuentra muy presente en nuestra sociedad, que podría ser combatida con la realidad virtual, es la obesidad. Investigadores del centro de biomedicina *CIBERROBN*<sup>4</sup> han desarrollado un método para combatir la obesidad en los jóvenes. El procedimiento de basa en hacer más satisfactorio la actividad física a los adolescentes. El objetivo principal es reducir la sensación de fatiga, de este modo se aumenta su capacidad de concentración y reducen la sensación de cansancio.

Por último, un ejemplo más cercano desarrollado por investigadores de la Universidad de Valencia es el proyecto “*Savia*”, que tiene como objetivo ayudar a personas con autismo a manejar de forma eficaz situaciones cotidianas como cruzar la calle o mantener una conversación. Se trata de un juego que potencia la comunicación entre pacientes, dos usuarios con autismo se encuentran en ubicaciones distintas y deben completar un objetivo en un entorno virtual [40].

### 1.2. Objeto del proyecto

El proyecto tiene como objetivo la representación holográfica y de realidad virtual de datos georreferenciados, con la posibilidad de extenderla a otro tipo de aplicaciones tridimensionales, para el estudio de la contaminación lumínica y calidad del aire de Canarias.

Para su visualización en tecnología holográfica y realidad virtual, se utilizarán datos georreferenciados obtenidos de múltiples sensores que se ubican en la geografía de nuestra comunidad, con la finalidad de obtener una representación volumétrica del relieve con dichos datos integrados en el mismo. Esto permitirá la posibilidad de variar la perspectiva y ampliar la posibilidad de mejorar la comprensión y análisis de datos multidimensionales.

Por otro lado, cabe destacar el uso del software *Paraview* desarrollado por *Kitware*, que ha permitido la implementación de dichos datos georreferenciados. La razón de su utilización es doble. Por un lado, *Kitware* desarrolla software de procesado y visualización abierto de alta calidad, cuyos paquetes, entre ellos *ParaView*, se han convertido en estándares de la industria y son muy frecuentemente utilizados en proyectos de I+D. Por otro lado, en el grupo de investigación se dispone de dos displays holográficos *LookingGlass*<sup>5</sup> y recientemente se

---

<sup>4</sup> <https://www.ciberobn.es>

<sup>5</sup> <https://lookingglassfactory.com/>

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

anunció una colaboración entre The Looking Glass Factory y Kitware, de modo que *Paraview* podría gestionar sus displays holográficos.

### 1.3. Motivación

Las transformaciones tecnológicas que se están produciendo actualmente, son sin duda los factores que provocarán una transformación social, con efectos sobre el sector comercial, cultural y social. La holografía y la realidad virtual son dos de las tecnologías que posiblemente desencadenarán los próximos avances en nuestra sociedad. La utilización y aplicación de ambas tecnologías en el campo científico me ha motivado a realizar dicho proyecto, debido a que ambas técnicas se convertirán en un futuro no muy lejano, en los nuevos métodos de representación de la información. El empleo de ambas tecnologías permitirá variar la perspectiva de la visualización de los datos, y con ello obtener una mejor interpretación de estos.

### 1.4. Estructura de la memoria

Los apartados anteriores de esta sección introducen los objetivos a alcanzar de este Trabajo de Fin de Título, además del estado del arte y la motivación de la realización de este proyecto.

En primer lugar, a través del capítulo de *fundamentos principales de la holografía*, se desarrollarán los principales fenómenos naturales que intervienen en dicha tecnología, además de su funcionamiento y aplicaciones futuras. A continuación, el capítulo *materiales y métodos* se especifican las diferentes pruebas realizadas antes de desarrollar el procedimiento definitivo, que permitirá obtener el resultado final.

Los siguientes dos capítulos, *visualización de los datos en Looking Glass y en realidad virtual*, se exponen los procedimientos llevados a cabo para representar los datos en ambas tecnologías. Posteriormente, en el capítulo *conclusiones y líneas futuras* se exponen las ventajas y desventajas de la representación de los datos en holografía y realidad virtual, y las posibles aplicaciones en cada una de las técnicas. Por último, se concluye con los objetivos alcanzados en el proyecto.

Finalizada la descripción del proyecto, en la sección *pliego de condiciones* se detallan los equipos y softwares utilizados para la ejecución del trabajo. Seguidamente, en la sección *presupuesto* se especifica la estimación monetaria para la realización de este TFT. Finalmente, se finalizará el documento con el capítulo *anexos*, donde se detalla las utilidades y herramientas que ofrece el software *Paraview*.

## 2. Fundamentos principales de la holografía

En este capítulo se establecen los fundamentos acerca del surgimiento de la holografía convencional y digital, partiendo de la naturaleza de la luz, desde el análisis de los fenómenos de interferencia y difracción, hasta la importancia de esta técnica en la actualidad y en el futuro.

### 2.1. La luz

Si hablamos de holografía, es indispensable hablar de la óptica, que involucra el estudio y comportamiento de las propiedades de la luz.

La luz se puede describir como una onda electromagnética o como una corriente de partículas llamadas fotones. Pero, el modelo al que se hace referencia dependerá del experimento investigado. Ambos modelos se contradicen entre sí, pero son necesarios para describir el espectro completo de los fenómenos lumínicos.

#### 2.1.1. Modelo corpuscular de la luz

El modelo corpuscular fue planteado por el físico inglés Isaac Newton en el siglo XVII (1642-1726), quién señalaba que la luz consistía en un flujo de diminutas partículas o corpúsculos sin masa, emitidos por cuerpos luminosos, que se movían en línea recta a gran rapidez. Gracias a estos fotones dejaba atravesar los cuerpos transparentes, que nos permitía ver a través de ellos [4]. Sin embargo, en los cuerpos opacos, los corpúsculos rebotan por lo cual no se puede observar lo que habría detrás de ellos. Esta teoría explicaba con éxito la propagación rectilínea de la luz, la refracción y la reflexión, pero no las interferencias y la difracción.

#### 2.1.2. Teoría ondulatoria

La teoría ondulatoria fue elaborada por el científico holandés C.Huygens, una teoría diferente que permite explicar la naturaleza y comportamiento de la luz. Esta teoría postula que la luz se propaga mediante ondas mecánicas emitidas por un foco luminoso. La luz para propagarse requiere de un medio material de gran elasticidad, incluyendo el vacío, debido a que la luz también se propaga en él. A este medio se le denomina éter.

En este caso, la energía luminosa no está concentrada en cada partícula, como en la teoría de Isaac Newton, sino que está repartida por todo el frente de onda. El frente de onda a su vez es

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

perpendicular a las direcciones de propagación. Más adelante, la teoría ondulatoria explica perfectamente los fenómenos luminosos mediante el principio de Huygens [5].

En 1801 Thomas Young dio un gran avance en la teoría ondulatoria, los fenómenos de refracción, difracción e interferencia quedan perfectamente descritos por el modelo de ondas que se basa en la teoría del electromagnetismo clásico. Estos dos últimos fenómenos, la interferencia y la difracción forman la base de la holografía. Por lo tanto, la teoría apropiada es, por tanto, el modelo ondulatorio. Sus magnitudes oscilantes son los campos eléctrico y magnético. A su vez, las amplitudes de campo oscilan perpendicularmente a la dirección de propagación de la luz y perpendicularmente entre sí. Por lo tanto, las ondas de luz son fenómenos transversales.

### 2.2. Interferencia

La interferencia de las ondas luminosas es un hecho fundamental, no solo desde el punto de vista teórico, sino también, en relación con numerosas aplicaciones y desarrollos tecnológicos, en particular la holografía. Dicho fenómeno se basa en la superposición de dos perturbaciones, dando como resultado otra onda, cuyas características se detallarán en la siguiente sección.

Un holograma es el resultado de un proceso en donde la interferencia de la luz desempeña un papel esencial, debido a que la información allí registrada se debe a la interferencia de la onda de interés con otra u otras ondas. Por esto se hace muy importante profundizar sobre este tema. Para explicar los efectos de la contribución de dos ondas, es conveniente definir previamente los conceptos de amplitud y fase de una onda [6].

Se tiende a confundir que la amplitud es la cantidad de energía que transporta la onda. Sin embargo, se trata de la intensidad, que es proporcional al cuadrado de la amplitud de la onda en cuestión. Y la fase de la onda se relaciona con la situación instantánea de una magnitud en un momento concreto.

#### 2.2.1. Interferencia constructiva y destructiva.

Cuando dos ondas llegan a un punto determinado de modo que las crestas de una de ellas coincidan con las crestas de la otra, como se ilustra en la Figura 1.a, las ondas están en fase. Por lo tanto, las dos ondas se refuerzan entre sí, y como resultado se obtiene una onda con amplitud e intensidad mayor con respecto a las ondas originales. En este caso las ondas interfieren constructivamente, o también que presenta una interferencia constructiva entre ellas [7].

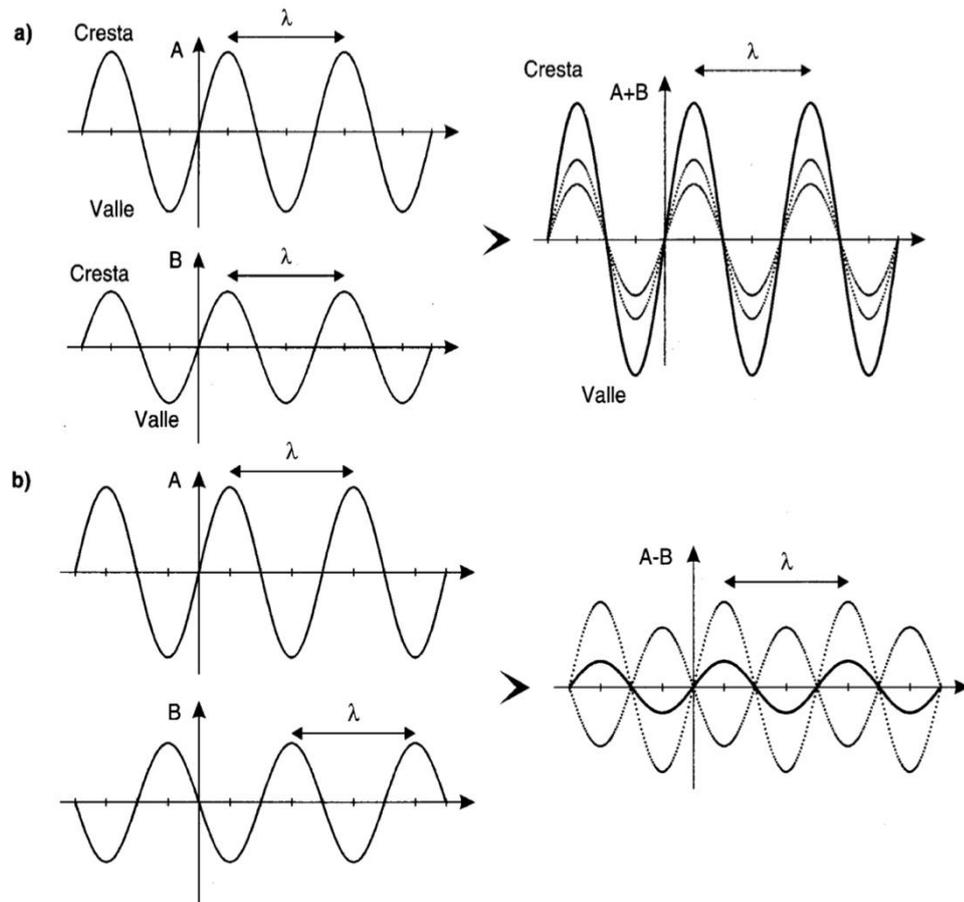


Fig. 1. Resultado de la superposición de dos ondas. a) En fase y b) En contrafase. [7].

Sin embargo, cuando las crestas de una onda coinciden con los valles de la otra, como se muestra de la Figura 1.b, el efecto de cada una de las ondas se contrapone al efecto de la otra. Esto da como resultado una onda con una amplitud muy pequeña. Por lo tanto, en este caso se dice que las ondas están en contrafase y la interferencia entre ellas es destructiva.

En relación al concepto de interferencia se explican diferentes experiencias cotidianas, de las cuales somos partícipes en mayor o menor medida, como son las manchas de aceite sobre la carretera, el espectro iridiscente de algunos insectos, las películas jabón, o algunas de las características del arco iris. .

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

Ambos tipos de interferencias fueron posibles de estudiar previamente gracias el científico Thomas Young. Sería quien se interesaría por este fenómeno óptico, y quien daría respuesta a este fenómeno a través del experimento de la doble rendija de Young. Este experimento demostró que la luz tiene una naturaleza ondulatoria. El experimento de la doble rendija consistió en hacer incidir un haz de luz sobre una pantalla generando un patrón de bandas claras y oscuras, demostrando así que la luz se comporta como una onda.

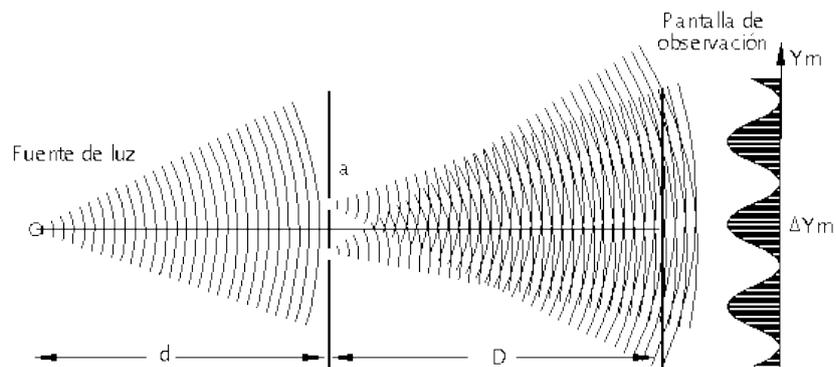


Fig. 2. Experimento de la doble rendija de Young. [7].

En la Figura 2, es posible observar a la izquierda una fuente luminosa, que genera un haz de luz monocromático. Se coloca una rendija al frente de la fuente de luz. Dicha rendija solo permite el paso de una pequeña parte de la luz proveniente de la fuente, tras viajar una determinada distancia el haz de luz choca con la rendija que posee dos orificios ( $a$ ). La luz al atravesar los orificios origina dos nuevas fuentes, que posteriormente interfieren, quedando el patrón de interferencia en una pantalla ubicada a una distancia " $D$ ". En ésta se aprecian franjas oscuras y brillantes que corresponden a regiones del espacio en donde existe mayor o menor concentración de energía debido a la interferencia de las dos ondas producidas en la rendija " $a$ ".

Una vez registrado el patrón de interferencia en la pantalla de observación, se puede observar los puntos en donde la interferencia es constructiva y destructiva, es decir los máximos y mínimos que están asociados a la intensidad energética correspondiente a cada uno de los puntos [8].

### 2.3. Difracción

La difracción es otro fenómeno que desempeña un papel fundamental en la holografía, tan importante como la interferencia. La difracción representa la posibilidad de recuperar la imagen holográfica previamente registrada.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

La difracción es otro fenómeno típicamente ondulatorio. Este evento se observa cuando se distorsiona una onda por un obstáculo cuyas dimensiones son comparables a la longitud de onda. El principio de Huygens permite explicar este fenómeno ondulatorio, cuando la onda incide sobre una rendija todos los puntos de su plano se convierten en fuentes secundarias de ondas, emitiendo nuevas fuentes, denominadas ondas difractadas, que se propagan en la misma dirección de la perturbación. Tanto la velocidad de propagación como la frecuencia de las fuentes secundarias es la misma que la de la onda original. Por lo tanto, el fenómeno de difracción no es cualitativamente distinto de la interferencia, debido a que la difracción se explica a partir de la interferencia de un número infinito de fuentes [9].

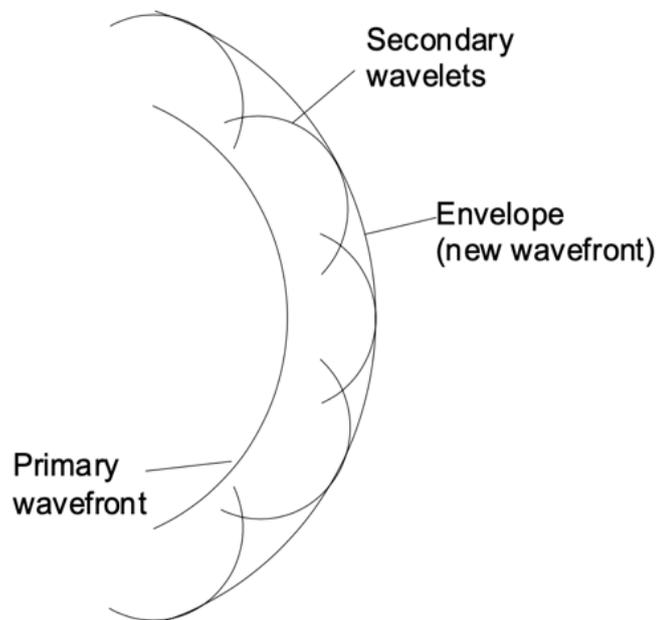


Fig. 3. Principio de Huygens. [8].

Tras analizar la importancia del fenómeno de interferencia y difracción, se tienen los elementos suficientes para abordar el tema de la aplicación de estos fenómenos en el registro y la reconstrucción de un holograma.

### 2.4. Holografía

La forma convencional de producir y almacenar imágenes permanentes de objetos que emiten o difunden luz ha sido la fotografía. Sin embargo, a partir de 1948 las investigaciones llevadas a cabo por Dennis Gabor dieron lugar al nacimiento de una nueva técnica para capturar imágenes a partir de la construcción de frentes de ondas, la holografía.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

En esta sección veremos los fundamentos teóricos de la holografía convencional y digital. Además, de analizar las etapas de producción de la imagen tridimensional, el registro y la reconstrucción.

### 2.4.1. Holografía analógica

Para el registro de un holograma, generalmente se requiere de una configuración óptica que debe constar de cuatro elementos principales: la fuente de luz (láser), espejos y lentes para la guía de haz y un dispositivo de grabación (una placa fotográfica).

La luz emitida por un rayo láser (onda monocromática) se divide en dos ondas parciales mediante un divisor de haz. Uno de los haces ilumina el objeto, se dispersa en la superficie del objeto y se refleja en la placa fotográfica. El segundo haz, denominado onda de referencia ilumina directamente el medio sensible [8]. Ambas ondas interfieren y el patrón de interferencia se registra en el dispositivo de grabación. Dicho patrón de interferencia registrado se denomina holograma.

Para la reconstrucción de la onda del objeto original, se debe iluminar el holograma con la onda de referencia. De este modo, se obtiene la imagen reconstruida. El proceso holográfico se puede expresar matemáticamente mediante las siguientes expresiones.

La onda del objeto se describe mediante la siguiente expresión:

$$E_0(x, y) = A_0 * (x, y)e^{(i\varphi_0(x,y))}$$

*Ecuación 1 Onda del objeto*

La onda reflejada:

$$E_R(x, y) = A_R * (x, y)e^{(i\varphi_R(x,y))}$$

*Ecuación 2 Onda reflejada*

Los valores de amplitud y fase son aleatorios ya que dependen del objeto y de su posición con respecto al sensor. La expresión de la intensidad por la interacción de ambas ondas se expresa de la siguiente forma:

$$I(x, y) = |E_0 * (x, y) + E_R * (x, y)|^2$$

*Ecuación 3 Onda de intensidad*

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

Como se puede observar, el holograma almacena información de la fase  $\varphi_0$  y de la amplitud  $A_0$  de la onda objeto, las cuales dependen de la naturaleza y posición de cada punto del objeto. Se puede expresar la intensidad mediante esta otra expresión:

$$I(x, y) = E_R(x, y) * E_R^*(x, y) + E_o(x, y) * E_o^*(x, y) + E_o(x, y) * E_R^*(x, y) + E_R(x, y) * E_o^*(x, y)$$

*Ecuación 4 Onda de intensidad*

La transmisión de la amplitud  $h(x, y)$  en el dispositivo de captación es proporcional a  $I(x, y)$ . Se define mediante la siguiente expresión:

$$h(x, y) = h_o + \beta\tau I(x, y)$$

*Ecuación 5 Onda del holograma*

“La constante  $\beta$  es la pendiente de la transmitancia de amplitud frente a la característica de exposición del material sensible a la luz.  $\tau$  es el tiempo de exposición y  $h_o$  es la transmisión de amplitud cuando la placa no se encuentra expuesta” [8]. Por lo tanto, la función  $h(x, y)$  es el holograma. La reconstrucción del holograma, se define mediante el producto de onda referencia y la función holograma.

$$E_r(x, y)h(x, y) = (h_o + \beta\tau(a_R^2 + a_o^2))E_R(x, y) + \beta\tau a_R^2 E_o(x, y) + \beta\tau E_R^2(x, y) * E_o^*(x, y)$$

*Ecuación 6 Onda de la imagen virtual*

Cabe destacar un hecho importante en el proceso de reconstrucción: cuando se ilumina el holograma mediante una de las ondas que previamente ha participado en el registro, a causa de la difracción, dicha onda se transforma en una onda cuyas características coinciden con la otra onda que participó en el proceso de grabación. Y similarmente, se produce el mismo resultado si empleamos la otra onda que participó en el registro [8].

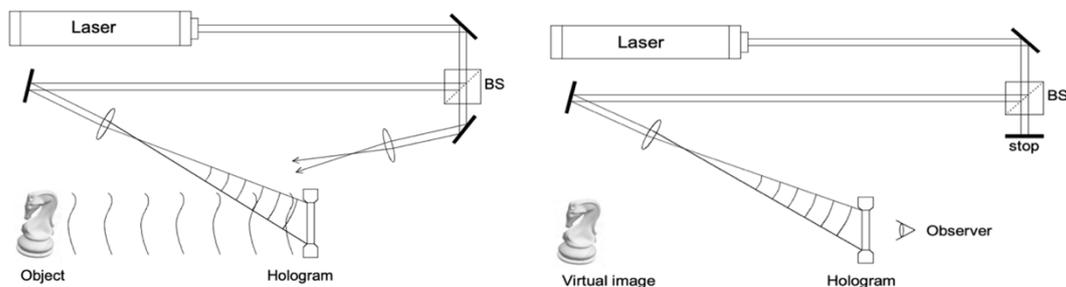


Fig. 4. Proceso de grabación y reconstrucción de un holograma. [8].

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

La imagen virtual aparece en la posición del objeto original si el holograma ha sido reconstruido con los mismos parámetros que se usaron para el proceso de grabación. Sin embargo, si se modifican la longitud de onda o la posición del punto de fuente de onda de reconstrucción con respecto a la posición del punto de fuente de onda de referencia utilizado en el proceso de grabación, la posición de la imagen reconstruida se moverá.

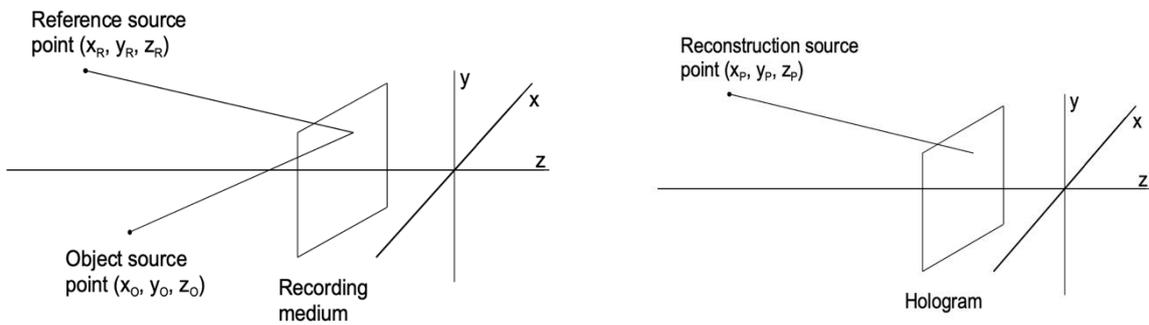


Fig. 5. Esquema de la situación de las fuentes y el objeto. [8].

En la Figura 5 se observa un esquema en donde se ubican los elementos principales de la reconstrucción del holograma. El punto  $x_0, y_0, z_0$  son las coordenadas donde se ubicó el objeto. Las coordenadas  $(x_r, y_r, z_r)$  hace referencia a la situación de la fuente de la onda de referencia usada para grabar el holograma. Y el punto  $x_p, y_p, z_p$  son las coordenadas del punto de origen de la onda de reconstrucción.

### 2.4.1.1. Interferometría

La interferometría holográfica es una técnica de medición que aplica el fenómeno de interferencia de las ondas. Dicha tecnología se emplea para medir las variaciones de la longitud del camino óptico de la onda del objeto, que son causadas por deformaciones de los cuerpos opacos o por variaciones del índice de refracción en medios transparentes. De este modo se consigue obtener una medición de los cambios producidos. Se trata de un método no destructivo y sin contacto con una alta sensibilidad..

*“La interferencia de dos ondas, que se reflejan en dos estados distintos del objeto, se consigue a través de holografía de doble exposición. Este método permite el registro de dos ondas en una sola placa fotográfica” [8].*

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

En la primera exposición el objeto se encuentra en su estado de referencia, y en la segunda exposición el objeto se muestra en su estado cargado. Posteriormente, para la reconstrucción del holograma debe ser iluminado con la onda de referencia.

Debido a la superposición de ambas grabaciones holográficas con ondas de objetos ligeramente distintas, solo se aprecia una imagen superpuesta por franjas de interferencia. Por lo tanto, la diferencia entre ambos estados de las dos ondas ofrece información sobre el cambio de fase y a su vez sobre el cambio del objeto. A partir de este interferograma holográfico, se puede determinar cambios en la trayectoria óptica debido a la alteración del objeto.

### 2.4.2. Holografía digital

Con el avance de la tecnología el registro y reconstrucción de hologramas por medio de métodos digitales es una realidad, debido al desarrollo de cámaras CCD y de los ordenadores en la última década. Este gran avance ha supuesto un desarrollo importante en la óptica digital y particularmente, en la holografía digital. Este hecho ha permitido un amplio progreso en la técnica holográfica aportando numerosas aplicaciones, tanto en el ámbito de la ingeniería como de la medicina. A diferencia de la holografía tradicional, la holografía digital es un método óptico no-invasivo y no destructivo que actualmente ofrece grandes ventajas ya que evita el contacto directo con el objeto en estudio [8].

Del mismo modo que la holografía tradicional, se utiliza la interferometría holográfica para comparar frentes de ondas grabadas en instantes diferentes de tiempo. La idea principal de la interferometría holográfica es que la imagen holográfica sea exacta de modo que pueda contrastarse interferométricamente con el objeto original o con otra imagen holográfica del objeto modificado.

En la Figura 6 se ilustra el concepto de holograma digital, muy similar a la holografía tradicional, diferenciándose en que en la primera el grabado se realiza sobre un dispositivo CCD [8]. El registro se basa en la interferencia entre la onda de referencia y una onda reflejada, y dicho patrón de interferencia queda registrado en el sensor CCD. El holograma resultante es electrónicamente guardado y almacenado. Esta técnica nos proporciona una gran cantidad de información tanto de la amplitud como de la fase. Cabe destacar, que el objeto a registrar es en general un cuerpo tridimensional con una superficie reflejante difusa, situado a una distancia determinada del CCD.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

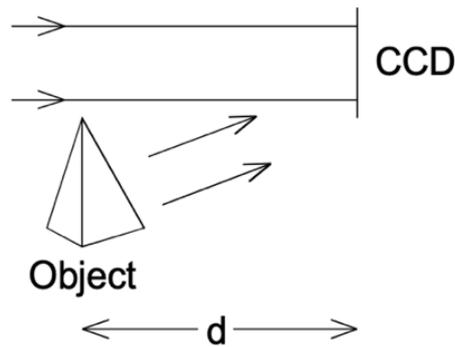


Fig. 6. Proceso de grabación del holograma. [8].

Para la reconstrucción óptica, la imagen virtual se muestra en la posición del objeto original y la imagen real se crea a una distancia "d", pero en la dirección opuesta del CCD, como se muestra en la Figura 7.

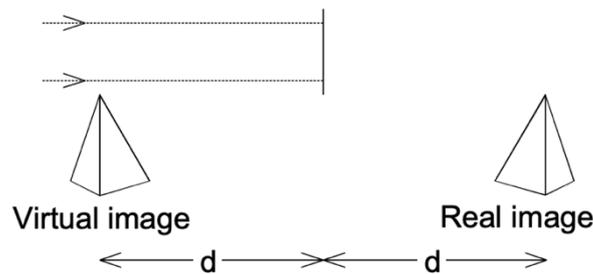


Fig. 7. Proceso de reconstrucción. [8].

### 2.4.2.1. Interferometría en holografía digital.

En holografía convencional, un interferograma holográfico se genera mediante la superposición de dos ondas, que se dispersan desde un objeto en diferentes estados. En el caso de la holografía digital, se trata del mismo proceso, en encontrar y comparar los diferentes estados de las dos ondas, antes y después del cambio, y cuyo resultado proporciona información sobre el cambio de fase y a su vez sobre el cambio del objeto.

Sin embargo, la fase de interferencia no se puede extraer de forma inequívoca de un único interferograma. La fase de interferencia generalmente se calcula a partir de tres o más interferogramas de desfase a través de un algoritmo de desfase. Este proceso requiere de un esfuerzo experimental adicional. En cada estado del objeto se registra un holograma digital. En lugar de superponer estos hologramas como en la holografía analógica utilizando placas fotográficas, los hologramas digitales se reconstruyen por separado. A partir de las amplitudes complejas resultantes, se calculan las fases [11].

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

A partir de la ecuación de aproximación de Fresnel se permite la reconstrucción del campo de ondas.

La intensidad se calcula mediante la siguiente expresión:

$$I(\xi, \eta) = |\Gamma(\xi, \eta)|^2$$

*Ecuación 7 Onda de intensidad*

La fase queda expresada a través de la siguiente ecuación:

$$\varphi(\xi, \eta) = \arctan\left(\frac{\text{Im}[\Gamma(\xi, \eta)]}{\text{Re}[\Gamma(\xi, \eta)]}\right)$$

*Ecuación 8 Cálculo de la fase de la onda*

A partir de las siguientes expresiones se obtiene el estado inicial y final del objeto:

$$\varphi_1(\xi, \eta) = \arctan\left(\frac{\text{Im}\Gamma_1(\xi, \eta)}{\text{Re}\Gamma_1(\xi, \eta)}\right)$$

*Ecuación 9 Fase de la onda con el objeto en un estado inicial*

$$\varphi_2(\xi, \eta) = \arctan\left(\frac{\text{Im}\Gamma_2(\xi, \eta)}{\text{Re}\Gamma_2(\xi, \eta)}\right)$$

*Ecuación 10 Fase de la onda con el objeto en su estado final*

Una vez calculada las fases, se calcula la diferencia de fase:

$$\Delta\varphi = \begin{cases} \varphi_1 - \varphi_2 & \text{si } \varphi_1 \geq \varphi_2 \\ \varphi_1 - \varphi_2 + 2\pi & \text{si } \varphi_1 < \varphi_2 \end{cases}$$

*Ecuación 11 Cálculo de la diferencia de fase*

De esta forma, cualquier modificación de un parámetro físico o un cambio en el índice de refracción producirá un cambio en la distribución de la fase  $\Delta\varphi$ . Calculando la diferencia de fase se podrá obtener información acerca del cambio ocurrido.

En la siguiente figura se detalla el proceso de interferometría. En la Figura 8 se muestra un ejemplo, la imagen superior izquierda y superior derecha presentan dos hologramas digitales, registrados en diferentes estados. Entre las dos grabaciones, el caballo ha cambiado su posición. Cada holograma se reconstruye por separado mediante la transformada de Fresnel.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

Las fases reconstruidas según la ecuación 9 y 10 se representan en las dos imágenes de la fila central. Como se puede observar, las fases varían aleatoriamente debido a la rugosidad de la superficie del objeto. A partir de la ecuación 11 se obtiene la fase de interferencia, imagen inferior izquierda.

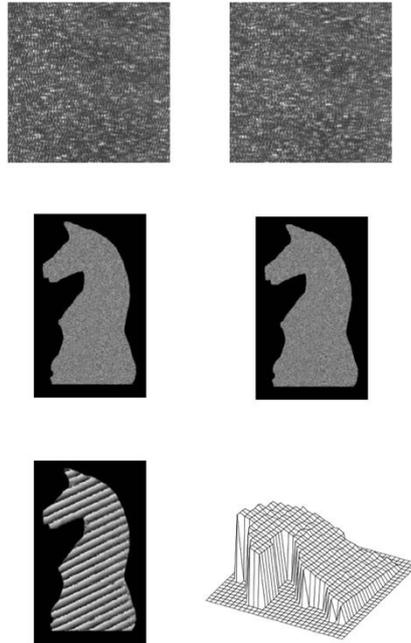


Fig. 8. Interferometría en holografía digital. [8].

### 2.5. Aplicaciones

Con el paso de los años, las técnicas en las que se puede utilizar la holografía digital han abarcado numerosos campos, tales como el estudio de materiales, la industria, la biología e incluso el estudio del arte. El tipo de aplicación y el área de estudio ha aumentado cada vez más.

Aunque existen pocos informes del impacto de esta tecnología a nivel global, las predicciones elaboradas por Global Marketing Insight<sup>6</sup> anticipan un mercado potencial para diversas aplicaciones prácticas en diferentes sectores de la sociedad.

Una aplicación que destacar es en el sector médico, que gracias a su capacidad de poder visualizar grupos de datos en tiempo real sobre imágenes holográficas reales la convierten en una valiosa herramienta para el personal de centros médicos.

---

<sup>6</sup> Global Market Insights es una empresa de consultoría de gestión e investigación de mercado global que atiende a corporaciones líderes, organizaciones sin fines de lucro, universidades e instituciones gubernamentales.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

Por otro lado, el sector del entretenimiento es la segunda de las categorías para la que se espera mayor progreso. *“El éxito de ciertos eventos multitudinarios en los que ha parecido esta técnica ha venido para buscar hueco. Los esfuerzos en I+D que se están realizando en el sector del entretenimiento podrían catapultar la holografía como una tecnología capaz de encontrar un hueco en el salón de los hogares”* [23].

### 3. Materiales y métodos

En esta sección se detallan los diferentes procesos llevados a cabo para obtener los datos geográficos utilizando diferentes softwares. El objetivo principal ha sido obtener datos geográficos para su posterior representación en *Paraview*.

#### 3.1. Google Earth

*Google Earth* es un software caracterizado por la visualización de la cartografía del planeta. Se basa en la superposición de imágenes obtenidas por imágenes satelitales, fotografías aéreas, información geográfica proveniente de modelos de datos SIG de todo el mundo y modelos creados por computadora [14]. El objetivo de este apartado es obtener datos georreferenciados de una zona determinada de la isla de Gran Canaria. Para ello se ha realizado el siguiente procedimiento:

Se ha utilizado como zona de trabajo, Tejeda, en la cual se quieren obtener los datos de elevación, longitud y latitud. Para ello, se ha trazado una ruta barriendo en zig-zag la zona usando la opción, *“Dibujar una línea o forma”*. Obtenido el trazado se ha guardado los cambios y se ha exportado como un archivo KML.

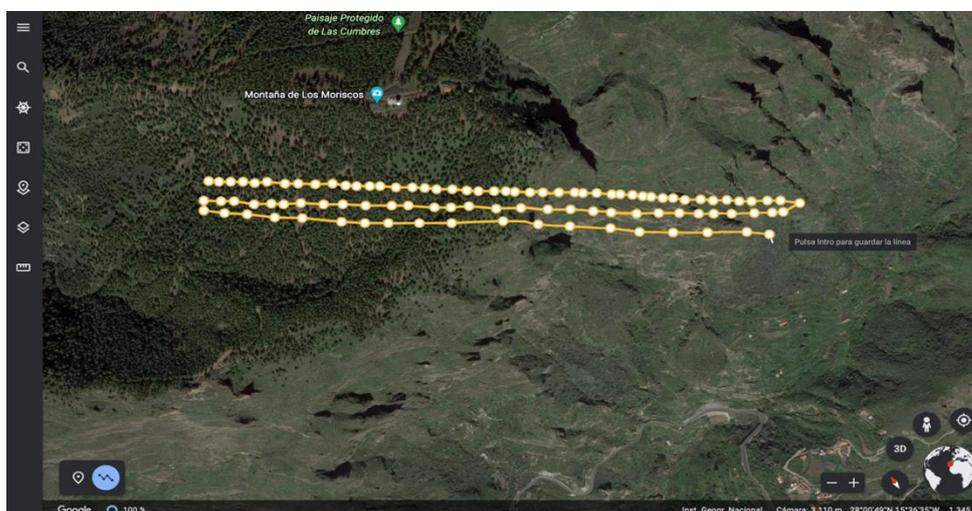


Fig. 9. Trazado de la ruta

Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

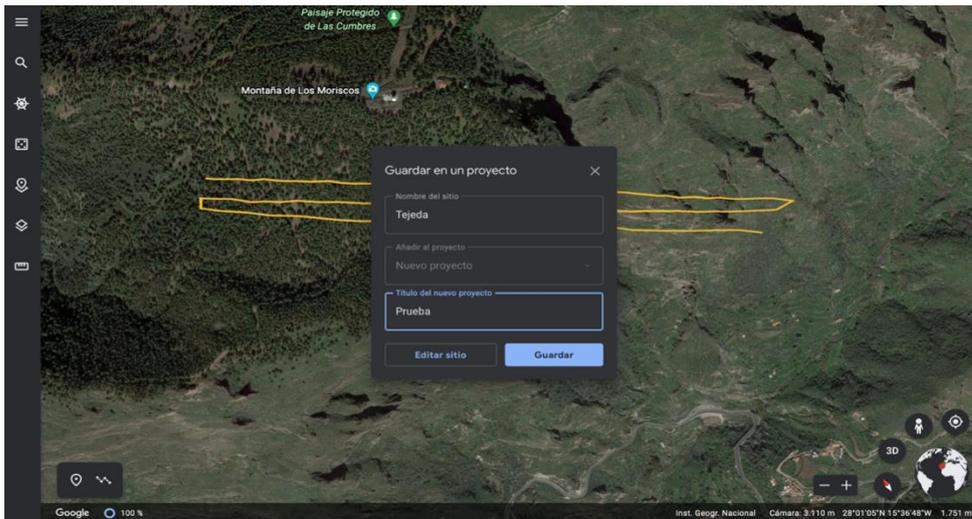


Fig. 10. Asignación del nombre al trazado

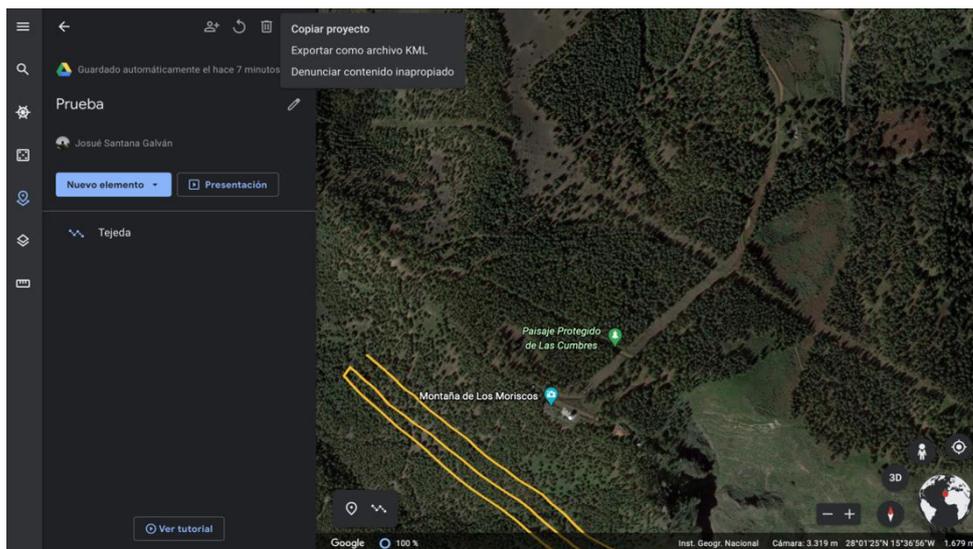


Fig. 11. Exportación del trazado

Posteriormente, se ha utilizado la página web *GPS Visualizer's* para convertir el archivo KML a un CSV limitado por comas. En las siguientes figuras se muestra la configuración para obtener el archivo.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

### Solution #1: DEM database

GPS Visualizer's [map](#), [profile](#), and [conversion](#) programs have the ability to instantly add elevation data — from a DEM (digital elevation model) database — to any type of GPS file. If you just want to draw a profile, or convert a single data file to plain text or GPX while adding elevation, you can use the simple form right here:

Or, look in GPS Visualizer's various input forms for the menu called "Add DEM elevation data," and choose one of the elevation databases (described in the table below). Complete copies of the SRTM3 and USGS NED databases, as well as a large number of SRTM1 and ASTER tiles, are stored on GPS Visualizer's server — that's more than 250GB of raw data.

Note that the elevation-adding feature will erase any existing altitude data (for example, from a GPS) that might already be in your file. Often, this is desirable; profiles made with DEM data are usually "smoother" looking than GPS, and typically contain fewer gaps or suspicious readings. (Speaking of gaps, there are a few in NASA's SRTM data, and that's unavoidable. If GPS Visualizer runs into one of these, it will *not* overwrite those elevations in your input data.)



(Click for more DEM coverage maps)

DEM data sources

Fig. 12. Interfaz GPS Visualizer's

### GPS Visualizer output

**Your data has been converted to plain text.** If something doesn't look like you expected it to, please [send an email to bugs-10+20210317050028-0](#)

Right-click on the [following link](#) to download the file to your hard drive; you may want to give it a more sensible name.

[Download 20210317050028-00230-data.txt](#)

The contents of your file are also [displayed](#) in this box, if you'd rather cut and paste:

type	latitude	longitude	altitude (m)	name	desc
T	28.019564946	-15.617882934	1641.4	Tejeda	
T	28.019464985	-15.617741544	1643.0		
T	28.019350773	-15.617565256	1650.9		
T	28.019227162	-15.617377265	1660.3		
T	28.019098428	-15.617217154	1667.7		
T	28.018998029	-15.617023915	1676.1		
T	28.018812534	-15.616789560	1683.5		
T	28.018701227	-15.616609855	1688.0		
T	28.018544847	-15.616379164	1693.5		
T	28.018404362	-15.616136905	1699.3		
T	28.018271506	-15.615979441	1701.2		
T	28.018170744	-15.615837015	1703.0		

**Map this data:** [Leaflet](#), [Google Maps](#), [Google Earth](#), [JPEG map](#), [SVG map](#), or [elevation profile](#) — or go to the [map form](#) to set options

[Return to the "convert" form](#)

[Go to the main GPSV map form](#)

Fig. 13. Resultado obtenido en GPS Visualizer's

Finalmente, se importan los datos a *Paraview* para su visualización. Previamente se aplica un filtro, "TableToPoint", que permite convertir la tabla CSV en un conjunto de puntos. Posteriormente, se deben especificar las columnas en la tabla de entrada para usar como coordenadas X, Y y Z para los puntos de salida. Como coordenada X se asigna el valor de longitud, para la coordenada Y el valor de latitud y como coordenada Z el valor de altitud. Una vez configurado el filtro, se aplican los cambios.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

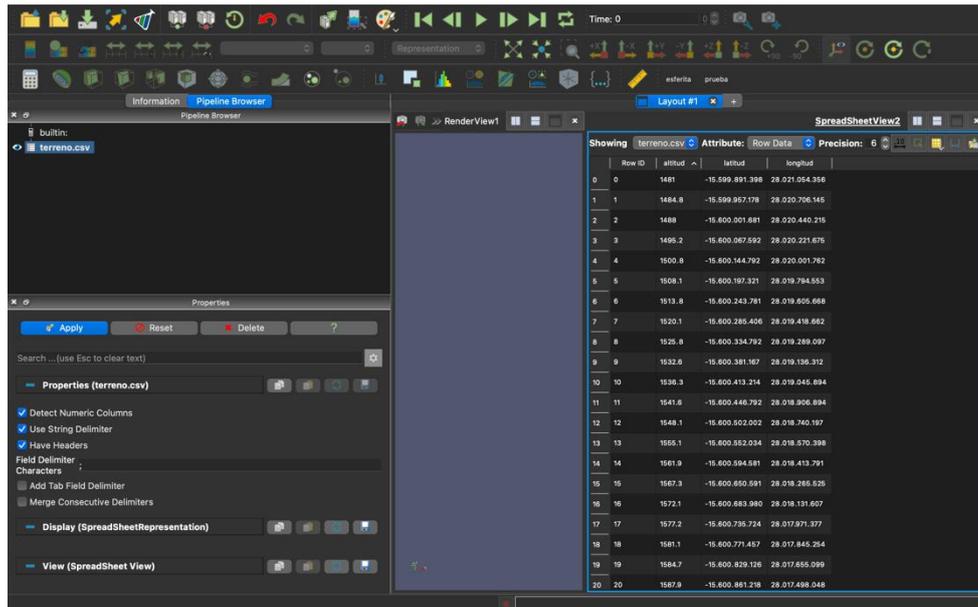


Fig. 14. Importación del archivo CSV a Paraview

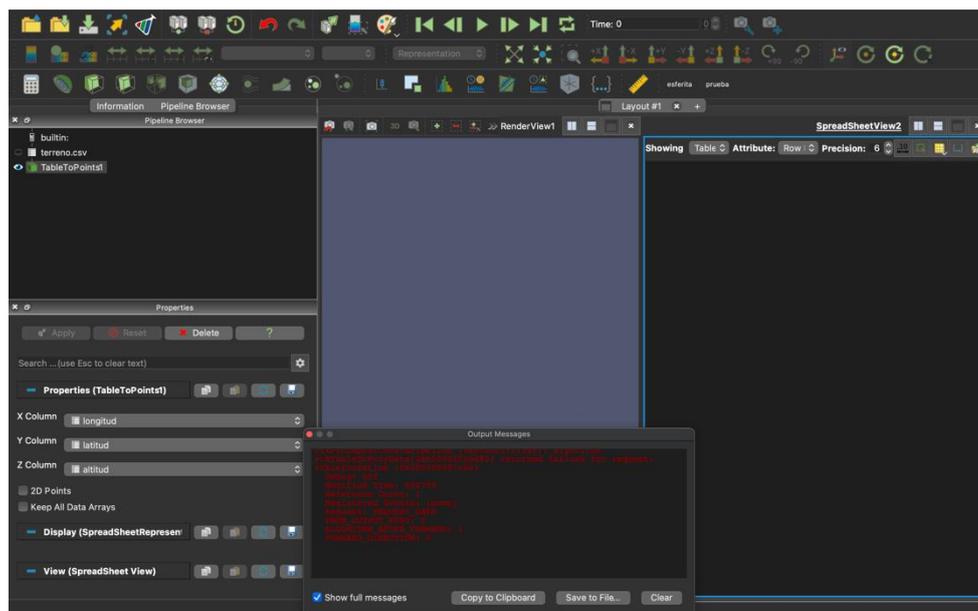


Fig. 15. Mensaje de error tras la aplicación del filtro TableToPoint.

### 3.1.1. Resultados

Como se observa en la Figura 14, tras la importación de los datos en Paraview se muestra en la ventana derecha las columnas que conforman el archivo generado. Sin embargo, los valores de latitud y longitud no diferencian el punto de la coma y por lo tanto no se corresponde con los datos obtenidos en la página web *GPS Visualizer's*.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

A pesar de dicha errata, se ha aplicado el filtro “*TableToPoint*” para especificar las coordenadas. Por contra, se muestra en una ventana de diálogo el problema que se lleva acarreado desde la importación del CSV. En dicha ventana se especifica que no es capaz de identificar las columnas como puntos de coordenadas, como se ilustra en la Figura 15.

### 3.2. Grass Giss

El Sistema de Apoyo al Análisis de Recursos Geográficos, conocido como *GRASS GIS*, es una tecnología del Sistema de Información Geográfica (SIG) que permite la gestión, el geoprocesamiento, la modelización y visualización de datos geoespaciales vectoriales y ráster. El software se puede emplear en diversos sistemas operativos, como en Linux, Mac y Windows. Cuenta con una interfaz gráfica de usuario muy intuitiva y una sintaxis de línea de comandos útil para la automatización y la producción.

GRASS GIS contiene más de 500 módulos para procesar y renderizar datos geográficos. El software permite manipular una gran variedad de formatos ráster, vectoriales y 3D, y ejecutar análisis y modelado espacial de manera simple a avanzado. Además, puede conectarse a bases de datos espaciales, pero también interactuar con una variedad de sistemas y bibliotecas de terceros [15].

Algunas de las características más relevantes son las siguientes:

- *“Soporte para casi todos los formatos de archivo GIS comunes a través de la biblioteca GDAL-OGR.*
- *Análisis ráster: álgebra de mapas, interpolación, análisis de paisajes.*
- *Análisis ráster (voxel) 3D: álgebra de mapas 3D, visualización 3D.*
- *SQL: interfaces de base de datos con PostgreSQL, SQLite, etc.*
- *Geocodificación de mapas ráster y vectoriales.*
- *Análisis de nubes de puntos: LiDAR, interpolación.*
- *Análisis vectorial: correcciones de topología y generalización, análisis de redes.*
- *Marco temporal: análisis de series temporales ráster y vectoriales, análisis de grandes datos ambientales espacio-temporales.*
- *Procesamiento de imágenes: datos aéreos, UAV y satelitales (MODIS, Landsat, Sentinel, etc.), clasificación supervisada y no supervisada, cadena completa de Análisis de Imágenes Basadas en Objetos (OBIA).*
- *Estadísticas espaciales: análisis de correlación y covarianza, estadísticas zonales.*
- *Análisis del terreno: generación de contornos y superficies, análisis de costo-ruta y aspecto de pendiente, herramientas hidrológicas” [15].*

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

Esta última característica es de gran importancia para el estudio, ya que permitirá obtener las características del terreno, en concreto su elevación, latitud y longitud. El objetivo se basará en obtener un mapa de relieve de un país determinado. Si se consigue dicho objetivo, se extrapolará el ejemplo a la superficie de la comunidad de Canarias. El procedimiento realizado ha sido el siguiente:

El primer paso ha sido descargar el software desde su página oficial. Para obtener los mapas de elevación, previamente ha sido necesario acceder a la página *EarthData* y registrarse. De este modo se tiene acceso a su base de datos desde su servidor. El servidor *Earthdata* de la Nasa proporciona distintas imágenes satelitales como elevación, cobertura, y variables atmosféricas filtradas por periodo y extensión. Este servidor tiene herramientas para la fácil ubicación de las zonas de estudio y una librería de imágenes indexadas por categorías como: cobertura, biosfera, biomasa, indicadores climáticos, hidrosfera, océanos, entre otros.

Posteriormente, se ha descargado una base de datos en donde se encuentran los mapas globales y que serán necesarios para aplicar sobre ellos los datos referentes a la elevación del terreno. A través del siguiente enlace se ha obtenido la base de datos: <https://zenodo.org/record/3762808#.YFH7WC3WdpQ> . Una vez realizado los pasos anteriores, se obtendrá la capa de elevación. Cabe destacar que el software *GRASS GIS* se basa en el uso de capas, de esta forma se va definiendo el resultado final.

La primera capa aplicada corresponde con la base de datos descargada anteriormente, que proporciona el mapa global.

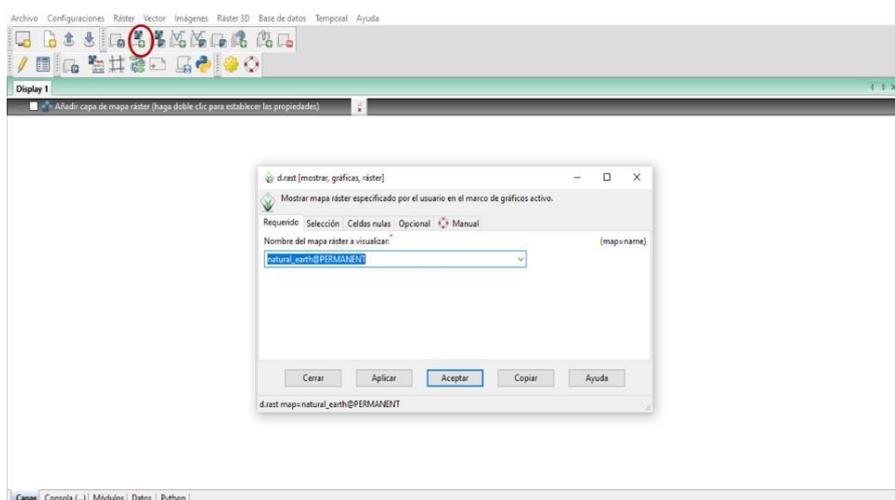


Fig. 16. Inserción de capa en Grass Giss

Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

La segunda capa aplicada se ha empleado para limitar los diferentes países de la capa anterior.

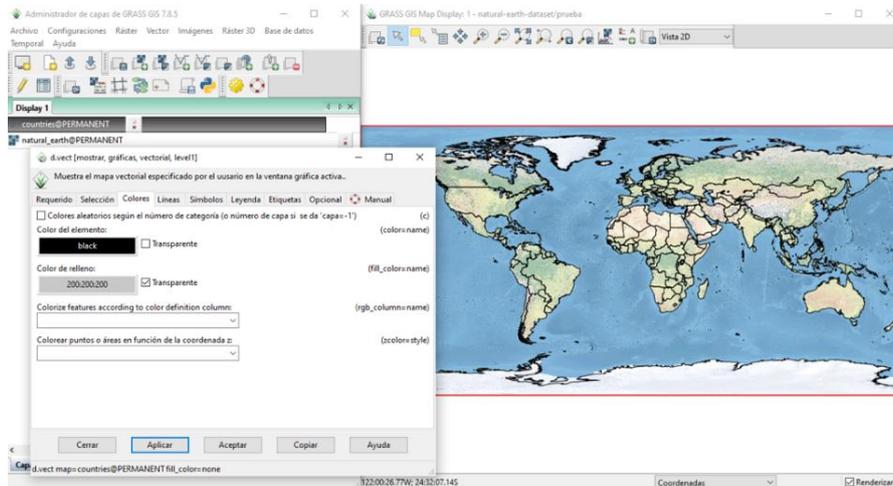


Fig. 17. Inserción de la capa Vector Map.

Seguidamente, se ha creado otra capa que contiene únicamente el país en estudio, Suiza descartando el resto de las regiones.

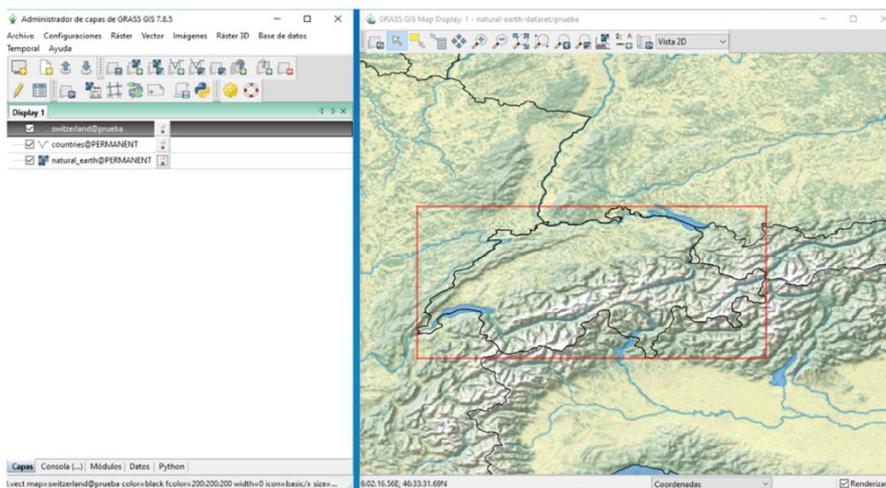


Fig. 18. Limitación de la región de trabajo

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

Posteriormente, se han descargado los módulos de *EarthData*, que contienen diferentes datos de la orografía del país.

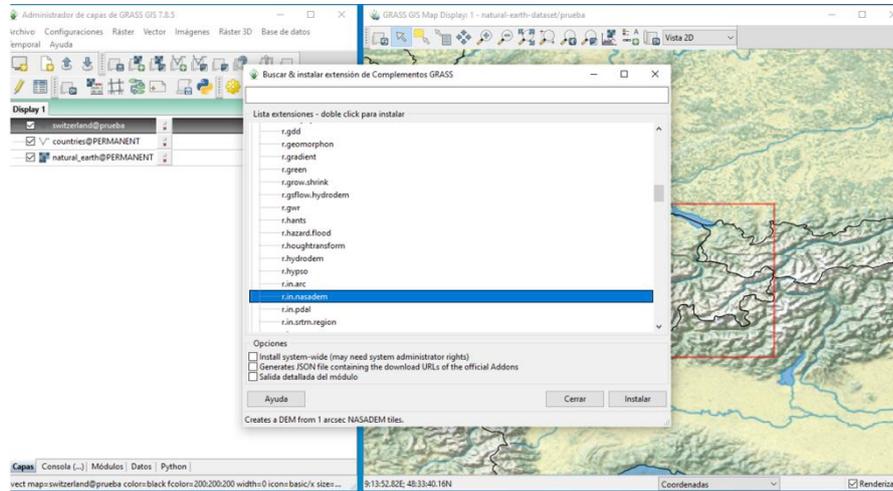


Fig. 19. Descarga de los datos EarthData

La cuarta capa aplicada, se han importado los datos de elevación del país. De este modo se obtiene una representación de la orografía.

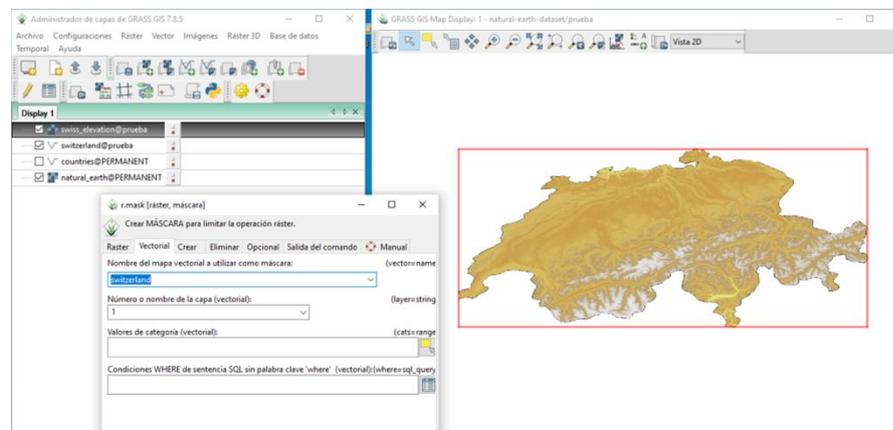


Fig. 20. Capa de elevación limitada

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

Finalmente, para obtener una mejor interpretación de los datos se ha modificado el mapa de color y se han incluido dos capas para incluir una textura de sombreado y de relieve a la región.

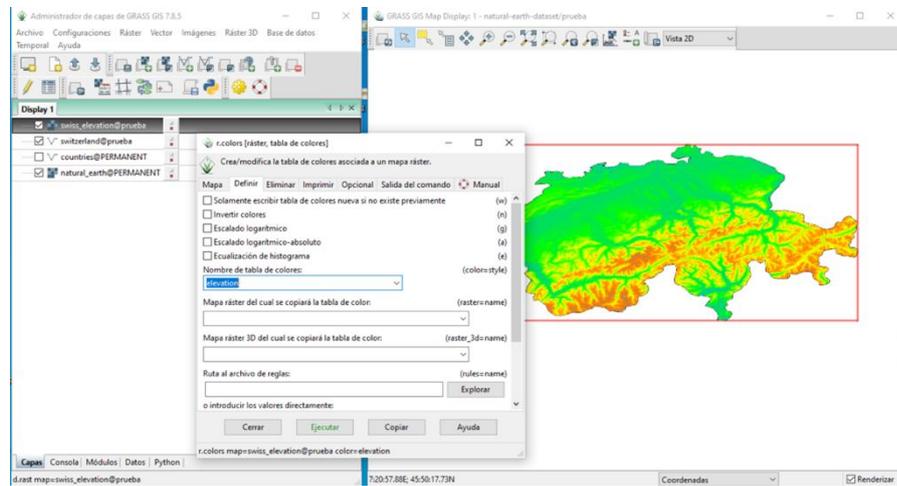


Fig. 21. Modificación de la apariencia

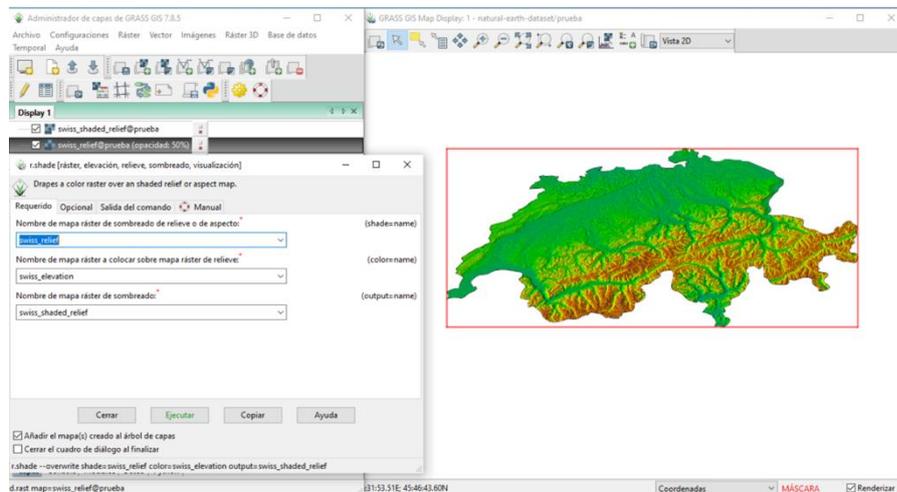


Fig. 22. Configuración para añadir la capa de sombreado

### 3.2.1. Resultados

A pesar de tratarse una herramienta bastante completa, este tipo de software se orienta hacia grandes superficies, como países y grandes comunidades. Sin embargo, para la comunidad de Canarias, los datos disponibles en la base de datos son escasos y aportan poca información sobre su relieve.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

### 3.3. Generar datos sintéticos añadiendo la tercera dimensión en Paraview

Debido a las dificultades encontradas para representar datos geográficos, se decidió crear ejemplos sencillos con el objetivo de representarlos en Paraview. La principal ventaja que cuenta el software es la gran variedad de archivos que soporta como: PVD, PDV, PVTP, PVTU, PVX, VTI, XML, RAW, OpenFOAM, TIFF, JPG, CSV, entre otros. Para los siguientes ejemplos se empleará el formato CSV, debido a que es un formato sencillo para representar datos en forma de tabla, en las que las columnas se separan por comas o punto y coma, y las filas por saltos de línea.

#### 3.3.1. Representación de un plano

Se ha generado un archivo CSV cuyos datos representan una superficie plana, la figura se ha obtenido aplicando la siguiente expresión matemática:

$$z = x + y$$

*Ecuación 12 Plano*

La variable X tomará valores entre 0 y 14, y el valor de Y entre 0 y 10 obteniendo un total de 150 puntos. Por lo tanto, la elevación será el resultado de la suma de las dos variables anteriores. Posteriormente, se ha importado el archivo a *Paraview*. En la siguiente figura se aprecia los valores de cada punto que conforman la superficie plana.

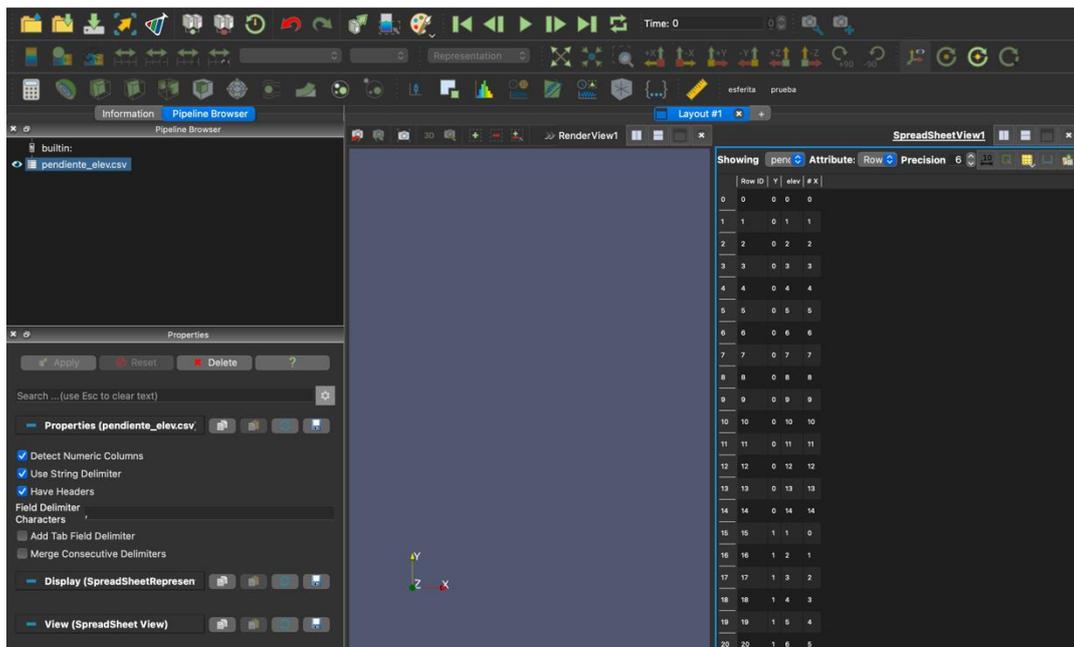


Fig. 23. Importación del archivo CSV a Paraview

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

Para la visualización de los datos es necesario aplicar el filtro “TableToPoints”. “TableToPoints” permite convertir la tabla CSV en un conjunto de puntos. Se debe especificar las columnas en la tabla de entrada para usar como coordenadas X, Y y Z para los puntos de salida. Como resultado, se obtiene una representación tridimensional de los datos.

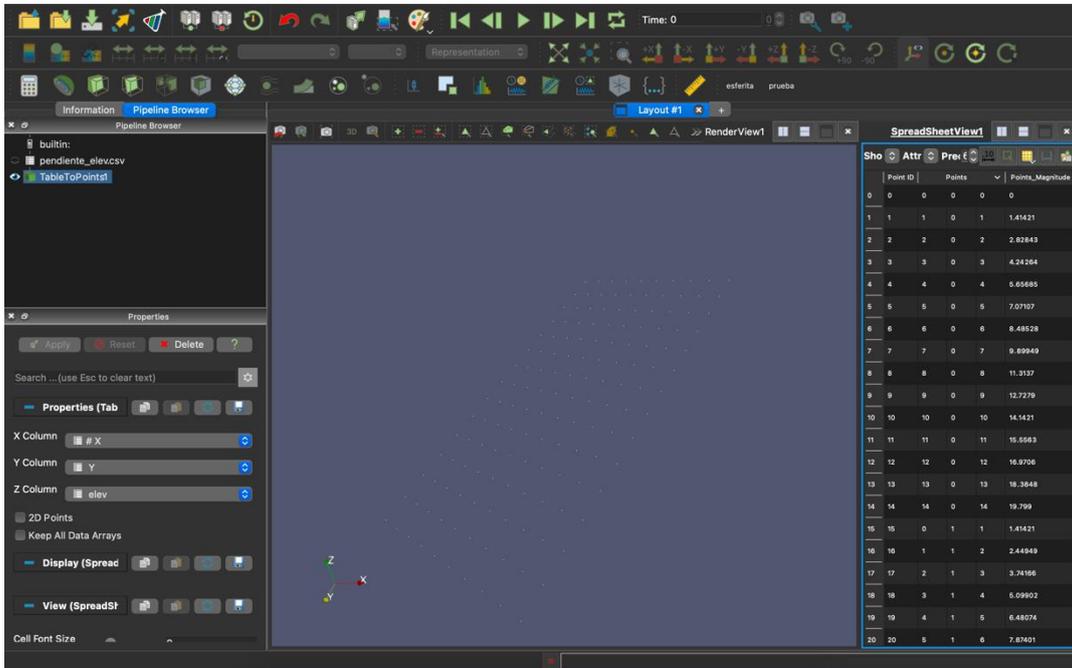


Fig. 24. Aplicación del filtro TableToPoint a los datos

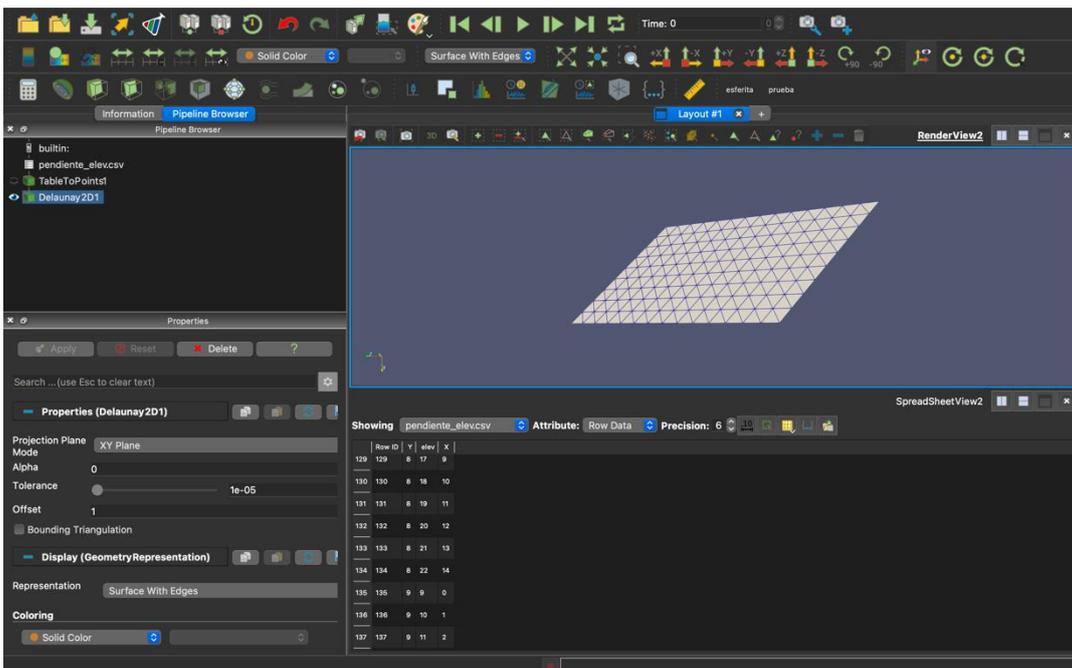


Fig. 25. Representación del filtro Delaunay2D

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

Posteriormente se ha aplicado el filtro “*Delaunay2D*”, que construye una malla triangular a partir de los puntos generados. Este tipo de filtro es ideal para construir estructuras topológicas a partir de puntos no organizados o no estructurados, como es este caso.

Sin embargo, la aplicación de este tipo de filtros da como resultado una malla no estructurada, es decir, puntos situados en el espacio. Se prefiere en mayor medida el filtro “*TableToStructuredGrid*” debido a la interpolación automática que realiza *Paraview*. Permite una mejor interpretación de los datos, ya que obtenemos una geometría completa y continua, es decir, una malla estructurada.

En este caso se debe especificar las columnas de la tabla de entrada que se utilizarán como coordenada X, Y y Z para los puntos de salida y la extensión total. Este último parámetro, se puede considerar como el tamaño del dominio para cada coordenada de los datos de salida. Los dos primeros números son la extensión X mínima y máxima; los dos siguientes son la extensión Y mínima y máxima; y los dos últimos son la extensión Z mínima y máxima.

Para este caso en concreto, la variable X oscila entre los valores 0 y 14; la variable Y entre 0 y 9; y la variable Z entre 0 y 23. Se puede despreciar la extensión de la coordenada Z. En la siguiente figura se aprecia la configuración de los parámetros.

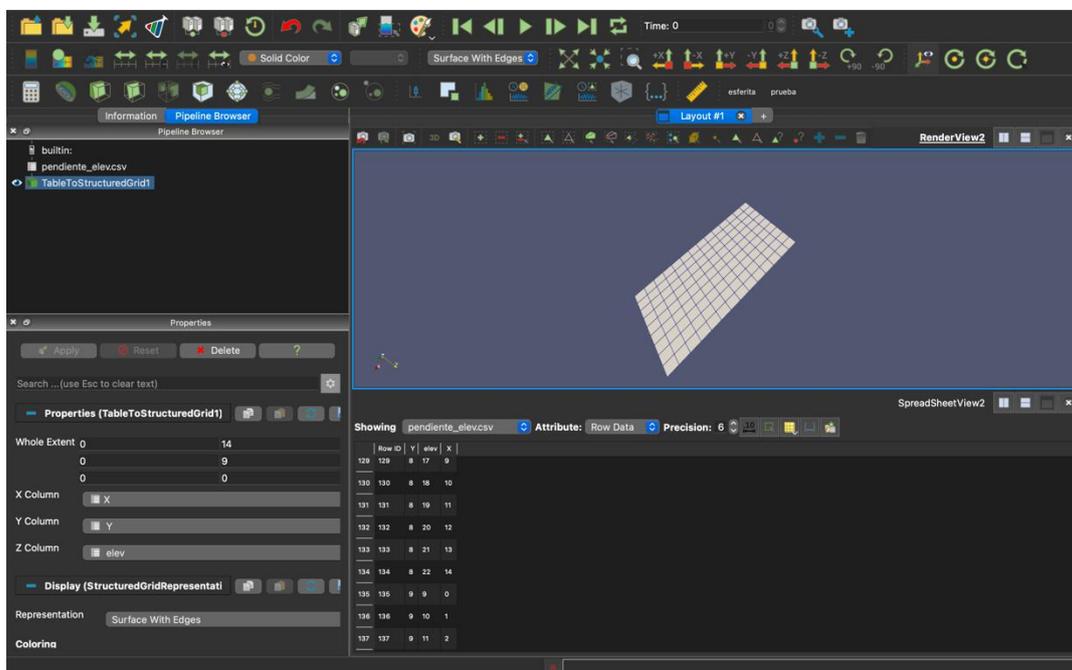


Fig. 26. Representación de los datos usando el filtro “*TableToStructuredGrid*”

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

Tras una correcta representación de la superficie se han realizado otros ejemplos similares con el objetivo de afianzar lo aprendido, además de aplicar otro tipo de filtros. Uno de ellos se detalla en el siguiente apartado.

### 3.3.2. Representación del relieve

Se ha generado otro archivo CSV similar al anterior, diferenciándose de la variable Z, que no es lineal. En este caso el valor de Z ha tomado valores alternos con el objetivo de simular una zona montañosa.

Tras aplicar los filtros nombrados en el apartado anterior, se ha empleado el filtro “Smooth”. Este filtro permite operar sobre conjuntos de datos poligonales ajustando iterativamente la posición de los puntos usando suavizado *Laplaciano*. Como resultado se obtiene células mejor formadas y puntos distribuidos de manera más uniforme. Posteriormente, se ha aplicado el filtro “Elevation” que permite generar valores escalares de punto para un conjunto de datos de entrada, para este caso en concreto se ha seleccionado como datos de entrada el vector Z.

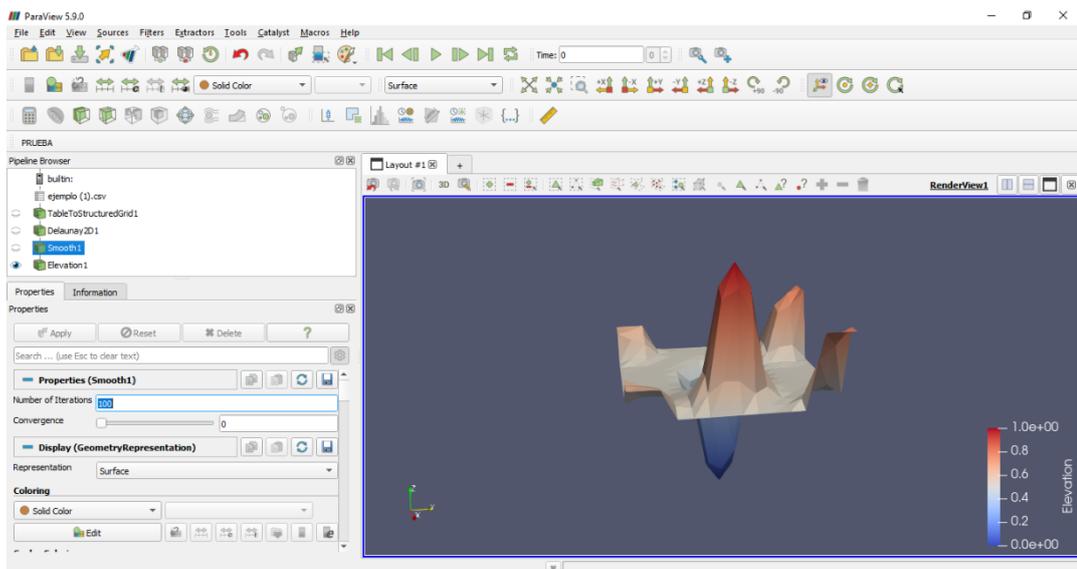


Fig. 27. Representación de los datos usando diferentes filtros

### 3.3.3. Resultados

Se ha comprobado el correcto funcionamiento del software *Paraview* realizando ejemplos sencillos en formato CSV. Por lo tanto, tras la representación de las figuras anteriores es momento de realizar pruebas utilizando datos reales, y empleando la metodología aprendida en los apartados anteriores.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

### 3.4. Representación de datos del ISTAC

Tras los buenos resultados obtenidos con archivos CSV en *Paraview*, se utilizaron datos reales para representar la geografía de Canarias. Dichos datos se obtuvieron a partir del Instituto Canario de Estadística (ISTAC). Se trata del órgano central del sistema estadístico autonómico y centro oficial de investigación del Gobierno de Canarias. El centro se le asignan las siguientes funciones:

- *“Provee información estadística: El ISTAC tiene entre sus objetivos proveer, con independencia técnica y profesional, información estadística de interés de la Comunidad Autónoma de Canarias atendiendo a la fragmentación del territorio y a sus singularidades y cumpliendo con los principios establecidos en el Código de Buenas Prácticas de la Estadísticas Europeas.*
- *Coordinar la actividad estadística pública: El ISTAC es el organismo responsable de la promoción, gestión y coordinación de la actividad estadística pública de la Comunidad Autónoma de Canarias, asumiendo el ejercicio de la competencia estatutaria prevista en el artículo 30, apartado 23, del Estatuto de Autonomía de Canarias”<sup>7</sup>.*

Los datos ofrecidos corresponden a 3 mallas de diferente precisión (250m, 500m, 1Km) y cada una de ellas expresadas en diferentes formatos: CSV, Shapefile, GeoJSON y GeoPackage. Para esta situación se ha utilizado la malla de 1Km en formato CSV, debido a que supone menor proceso computacional. Seguidamente se han importado los datos a *Paraview* y se han empleado los filtros mencionados en el apartado 3.3.1.

El archivo CSV cuenta con diferentes columnas que ofrecen distinto tipo de información sobre el terreno: código postal, superficie, utm\_x, utm\_y, longitud y latitud. Sin embargo, serán la longitud, latitud y superficie los datos que se representarán en el software.

---

<sup>7</sup> <http://www.gobiernodecanarias.org/istac/istac/>

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

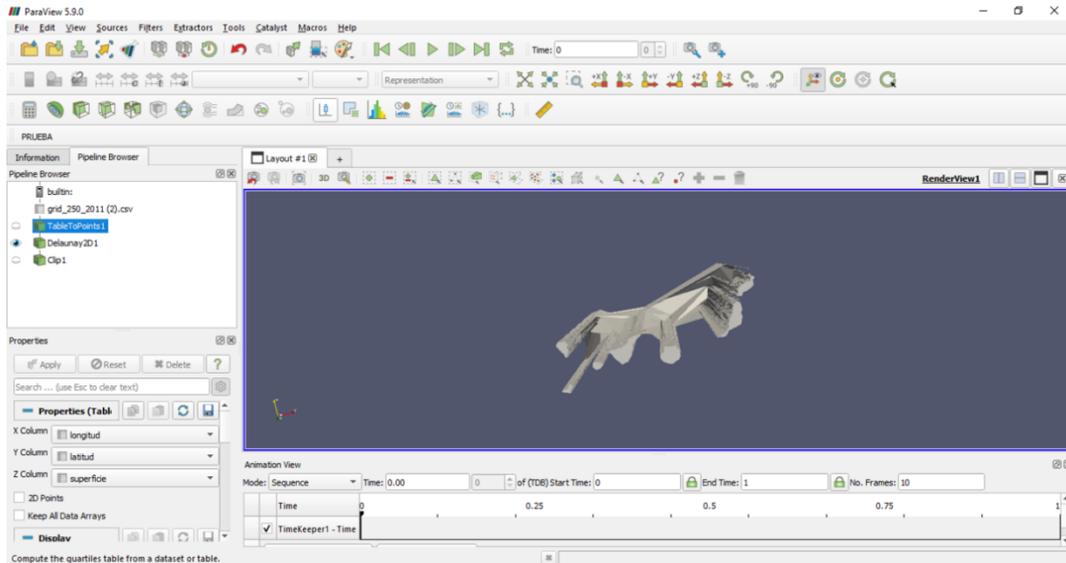


Fig. 28. Representación de la malla en formato CSV con precisión de 250m

Como se observa en el *pipeline*, se aplicó el filtro “TableToPoint” para representar la tabla CSV en puntos tridimensionales. Posteriormente, se utilizó el filtro “Delaunay2D” para crear una malla triangular a partir de los puntos obtenidos.

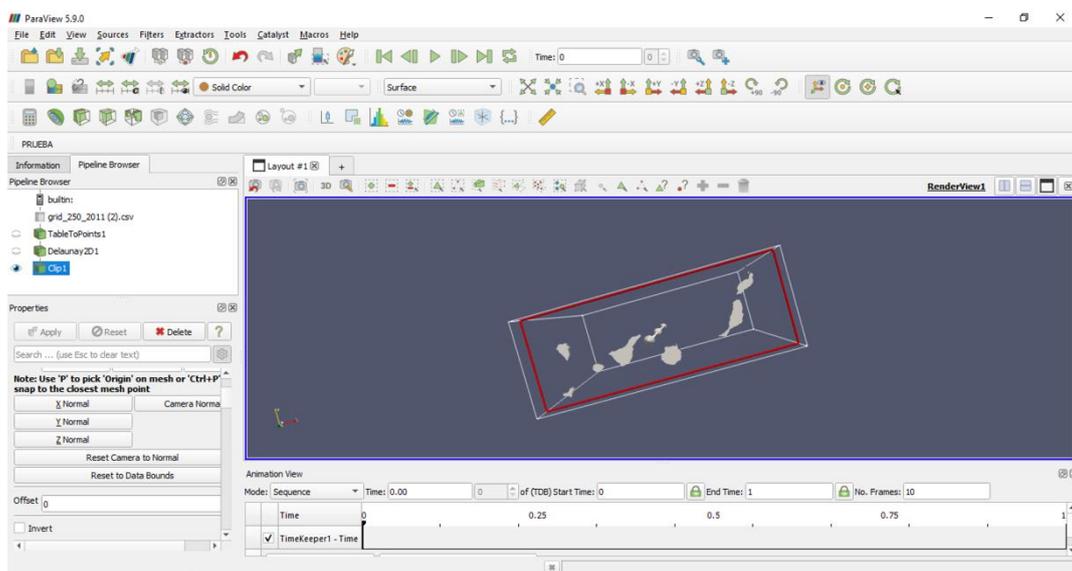


Fig. 29. Representación de los datos usando el filtro “Clip”

Sin embargo, las islas presentan profundidad en el eje z. Por lo tanto, se ha aplicado el filtro “Clip” que permite cortar una parte del conjunto de datos utilizando un plano implícito. Como resultado del filtro, devuelve datos no estructurados. No obstante, se han importado el resto de los formatos para la malla de 1Km con la finalidad de poder representar información de interés u obtener una mejor visualización de los datos.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

### 3.4.1. Shapefile

Durante el avance de la tecnología han ido surgiendo diferentes herramientas y formatos vectoriales para trabajar con datos espaciales.

Dentro de estos formatos uno de los más representativos es el Shapefile, un formato de datos vectoriales geoespaciales para el software del sistema de información geográfica (GIS). Este formato puede describir espacialmente características vectoriales: puntos, líneas y polígonos, que representan, por ejemplo, pozos de agua, ríos y lagos [16].

Por otro lado, se trata de un formato multiarchivos generado por varios ficheros y el número mínimo de estos ficheros es tres:

- **.shp:** Es el archivo que guarda las entidades geométricas de los objetos
- **.shx:** Es el archivo que almacena el índice de las entidades geométricas.
- **.dbf:** Es la base de datos en formato dBASE donde se almacena la información de los atributos de los objetos.

*GIS* ha sido el software utilizado para representar dicho formato. Se trata de un entorno para recopilar, gestionar y analizar datos. Se basa en la ciencia geográfica, y permite el análisis de la ubicación espacial y organiza capas de información en visualizaciones usando mapas y escenas 3D. Además, del análisis de datos espaciales, también facilita información de aspectos sociales-culturales, económicos y ambientales [20].

La tecnología *GIS* se emplea en investigaciones científicas, la evaluación del impacto ambiental, la gestión de recursos, la cartografía, la sociología, la geografía histórica, la arqueología, el marketing, entre otros. Seguidamente, se han importado los datos al software y se ha obtenido la siguiente representación:

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

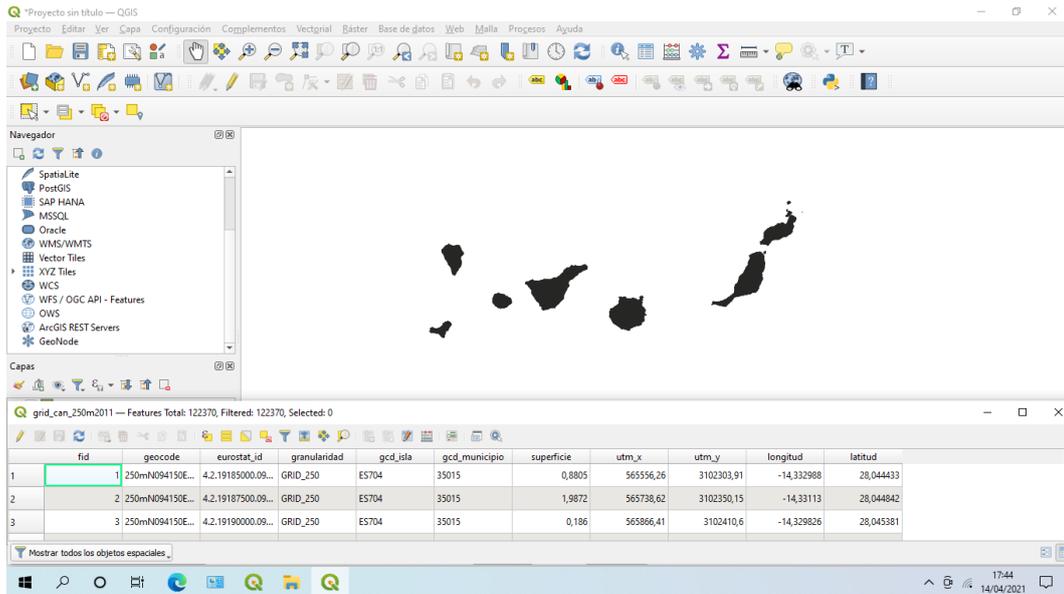


Fig. 30. Representación de los datos en formato SHP en GIS

Como se observa en la Figura 30, la representación de los datos en el formato Shp no se muestra mayor cantidad de información ni una mejor visualización de los datos con respecto al formato CSV.

### 3.4.2. GPKG

GeoPackage (GPKG) se trata de un formato abierto, es decir, se puede utilizar en diferentes tipos de softwares. De este modo, se consigue una mejor experiencia de usuario, permitiendo el intercambio entre diferentes plataformas. Está como una alternativa a formatos como el Shapefile y GeoTiff.

Algunas de sus características principales son: utiliza SQLite<sup>8</sup>, trabaja con un solo archivo, tiene la opción de trabajar con vectores y raster, y es soportado por muchos programas [17]. Sin embargo, este archivo no se encontraba accesible y no se pudo representar los datos.

### 3.4.3. KML

KML es otro formato para datos espaciales, que permite almacenar datos geográficos y su contenido relacionado. Se trata de un formato habitual para compartir datos geográficos con personas que no utilizan el software GIS, ya que se puede enviar fácilmente en Internet y se puede visualizar en diferentes aplicaciones gratuitas, como *Google Earth* y *ArcGIS Explorer* [18]. El formato KML se puede

<sup>8</sup> Sistema de gestión de bases de datos relacional compatible con ACID, contenida en una relativamente pequeña biblioteca escrita en C.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

componer tanto de ráster, que incluyen puntos, líneas, polígonos e imágenes, así como contenidos relacionados del tipo de gráficos, dibujos, atributos y HTML.

Para la visualización de los datos en formato KML que aportó el Instituto Canario de Estadística, es necesario la instalación del software *Google Earth Pro*. Este programa ofrece el conjunto más completo de datos geoespaciales disponibles de manera pública e incluye imágenes de alta resolución, escapadas en 3D por ciudades, mapas detallados de carreteras, imágenes panorámicas desde calles, imágenes históricas y puntos de interés importantes, como accidentes naturales, patrones climáticos y ubicaciones de empresas. Por lo tanto, amplía el poder de *Google Earth* con funciones adicionales [19].

En primer lugar, se han importado los datos en *Google Earth Pro*. Se muestra un mallado sobre las Islas Canarias, donde cada punto de la malla aporta la misma información que la ofrecida por los datos en formato CSV.

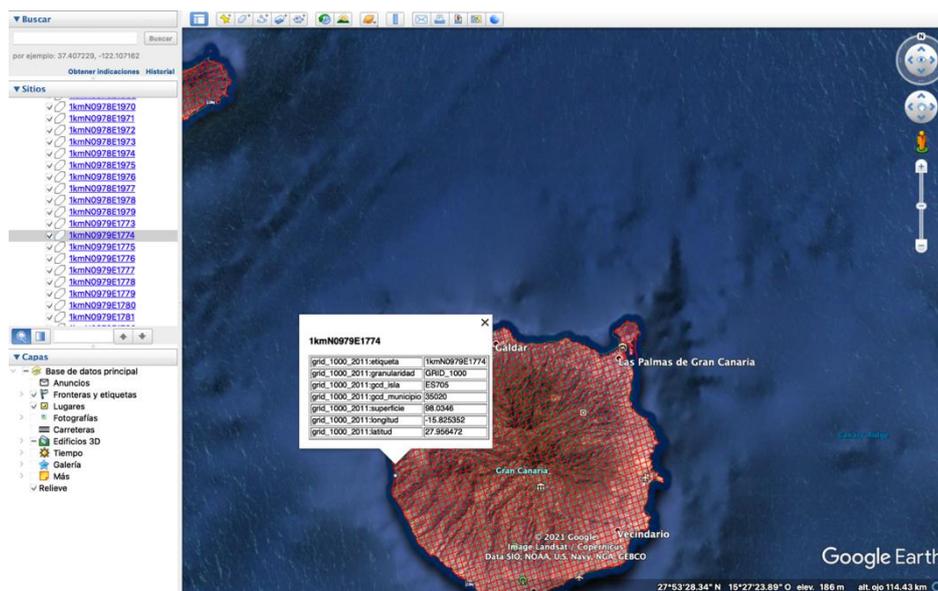


Fig. 31. Representación de los datos en formato KML en *Google Earth Pro*.

### 3.4.4. Resultados

Tras la representación de los diferentes formatos en varios softwares, lo cierto es que ninguno de ellos aporta información sobre la elevación del terreno ni información extra con respecto al resto de formatos. En el caso de la representación de datos en *Paraview*, se ofrecen tres datos importantes: latitud, longitud y superficie. Sin embargo, este último parámetro se desconoce qué información representa. Por lo tanto, el próximo objetivo es la obtención de la coordenada elevación para conseguir una correcta representación del terreno.

Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

### 3.5. Google Earth Pro, obtención de la componente Z.

Tras las pruebas realizadas en las secciones anteriores, ninguna de ellas nos ha aportado la información necesaria para conseguir una representación correcta de la geografía de Canarias. El objetivo de este ejemplo consistirá en la obtención de la componente Z de la superficie de la isla del Hierro, usando el software *Google Earth Pro*. Los pasos seguidos han sido los siguientes:

- Primero, se importará en Google Earth Pro la malla de 1Km en formato KML que nos aportó el Instituto Canario de Estadística.
- Segundos, nos situamos sobre la isla del Hierro, y accedemos a la opción “Trazar ruta”, que se encuentra en la barra de herramientas.
- Tercero, se le asigna un nombre a la ruta, en la pestaña color se elige color y grosor de la ruta que se va a trazar. Seguidamente se empieza a realizar la ruta sobre la malla.

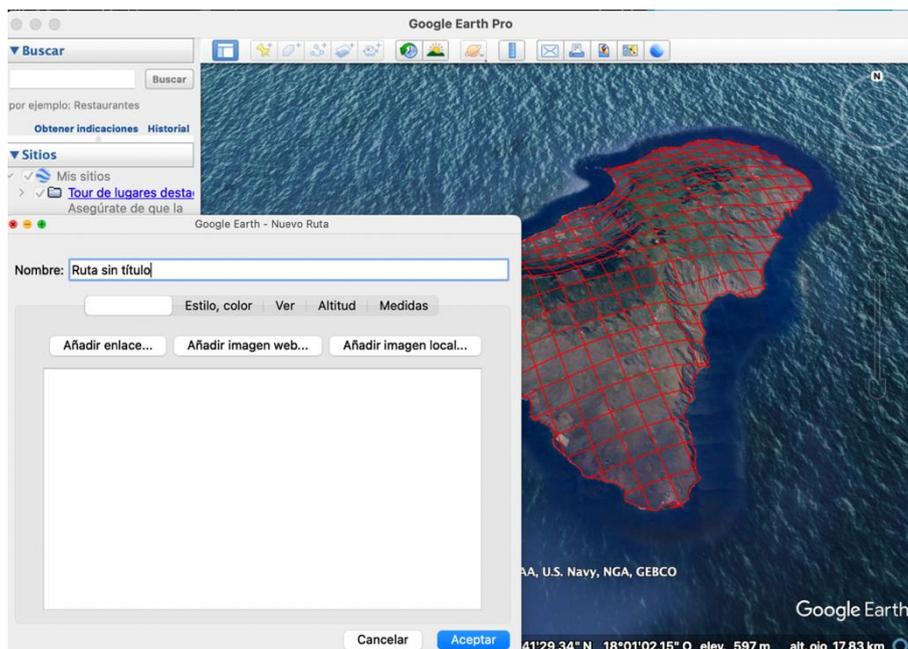


Fig. 32. Asignación del nombre a la ruta

- Una vez finalizado el trazado, se aceptan los cambios en la ventana de diálogo. Hacemos doble click sobre el proyecto realizado, y seleccionamos la opción “Guardar sitio como” para guardarlo como archivo KML.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

- El último paso es importar dicho archivo en el software *TCXConverter* que permite la obtención de la altitud a partir de la longitud y latitud. Sin embargo, el software no ejecuta correctamente la conversión. Por lo tanto, no se logra obtener la tercera coordenada.

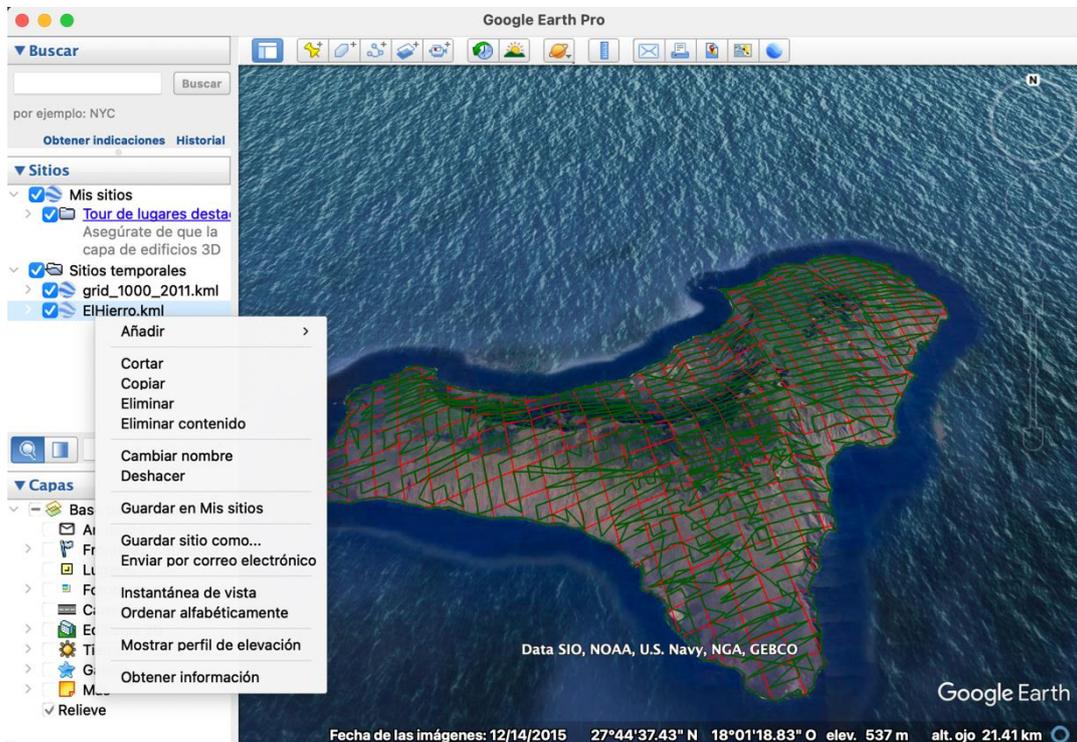


Fig. 33. Trazado de la ruta sobre el Hierro

### 3.5.1. Resultados

A pesar de tratarse de una forma intuitiva de obtener las coordenadas de cada punto de la isla, lo cierto es que se trata de un método poco eficaz. Se debe realizar de forma sistemática y no hay ninguna forma de realizar el procedimiento de forma automática. Por otro lado, el software *TCXConverter* no ha permitido realizar el proceso de conversión, por lo que no se ha podido obtener la tercera coordenada.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

### 3.6. Metodología

Las pruebas realizadas en la sección anterior han permitido definir las dificultades del proyecto y evaluar las posibles soluciones para conseguir el resultado deseado. En este apartado se proyecta el trabajo únicamente sobre el software *Paraview* y el lenguaje de programación *Python*. Estas dos herramientas permitirán la obtención del resultado final y concluir el proyecto de fin de título.

El objetivo se basa en crear un programa en *Python* que permita extraer los valores de elevación de cada punto de la geografía de Canarias a partir de la API de *Google Maps Elevation*. Una vez obtenido dichos valores representar correctamente los datos en *Paraview*, además de los datos de contaminación atmosférica.

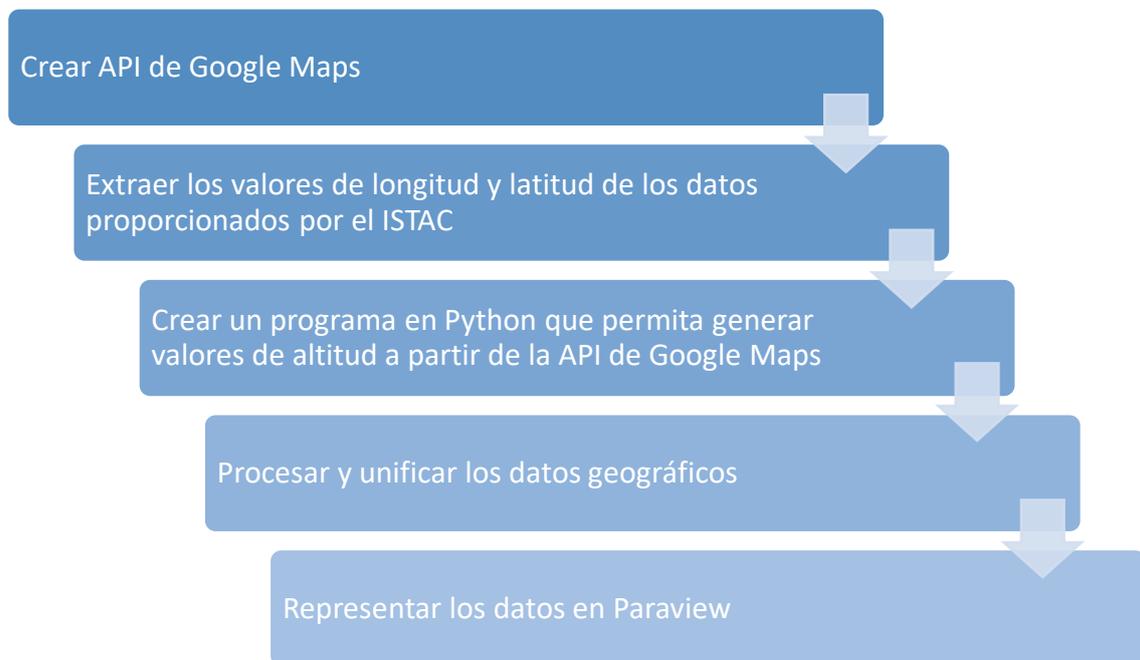


Fig. 34. Esquema de los pasos a seguir para obtener los valores de elevación y su representación

#### 3.6.1. API de Google Maps.

El término API es una abreviatura de *Application Programming Interfaces*, es decir Interfaz de programación de aplicaciones. Se trata de un conjunto de definiciones y protocolos que cumplen una o muchas funciones con el objetivo de utilizarlas para desarrollar e integrar el software de las aplicaciones, permitiendo la comunicación entre dos aplicaciones de software a través de un conjunto de reglas [25].

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

En muchas aplicaciones web, es habitual conectarse a varios servicios de terceros mediante API. Al utilizar estas API, puede acceder a datos como información meteorológica, resultados deportivos, lista de películas, tuits, resultados de motores de búsqueda e imágenes. Pero sobre todo se emplean las APIs para añadir funcionalidades a las aplicaciones. Entre los ejemplos se incluyen pagos, programaciones, correos electrónicos, traducciones, mapas y transferencias de archivos.

En concreto, las API de Google permiten la comunicación con servicios de Google y su integración con otros servicios. Ejemplos de estos incluyen Gmail, Traductor o Google Maps. Las aplicaciones de terceros pueden utilizar estas API para aprovechar o ampliar la funcionalidad de los servicios existentes [26].

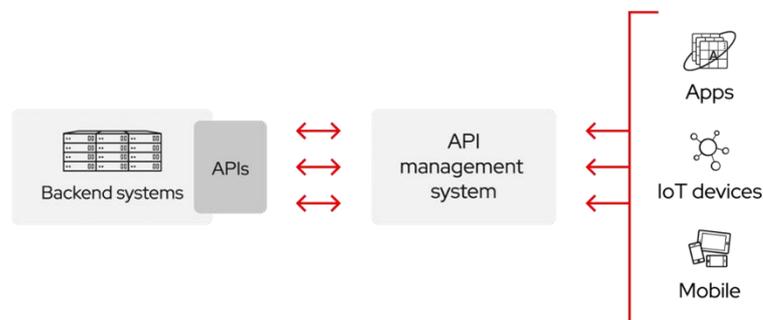


Fig. 35. Aplicaciones de las APIs

Para este proyecto, el uso de esta herramienta es una clave fundamental para la obtención de datos, en concreto las APIs de Google Maps. Se trata de una de las APIs más destacadas ofrecidas por Google, y ofrece una gran variedad como: Directions API, Distance Matriz API, Geocoding API, Geolocation API, Places API, Roads API, Time Zone API y Elevation API.

En este caso, se utilizará *Elevation API* que proporcionará datos de elevación para todas las ubicaciones en la superficie de la Tierra, incluidas las ubicaciones de profundidad en el fondo del océano.

### 3.6.1.1. Generar clave API de Google Maps

Para hacer uso de este tipo de herramientas se requiere de una clave o un tipo de identificación para utilizar los servicios que ofrece Google Maps. El primer paso, consistirá en solicitar dicha clave para más tarde insertarla en nuestro pequeño programa escrito en *Python* que permitirá utilizar los servicios de Google.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

- ❖ En primer lugar, para obtener una clave de API de Google Maps, se deberá tener una cuenta de Gmail. Luego, habiendo iniciado sesión en la cuenta de Gmail, accedemos al panel del API Console de Google. Ahí encontramos una pestaña similar a la siguiente figura.

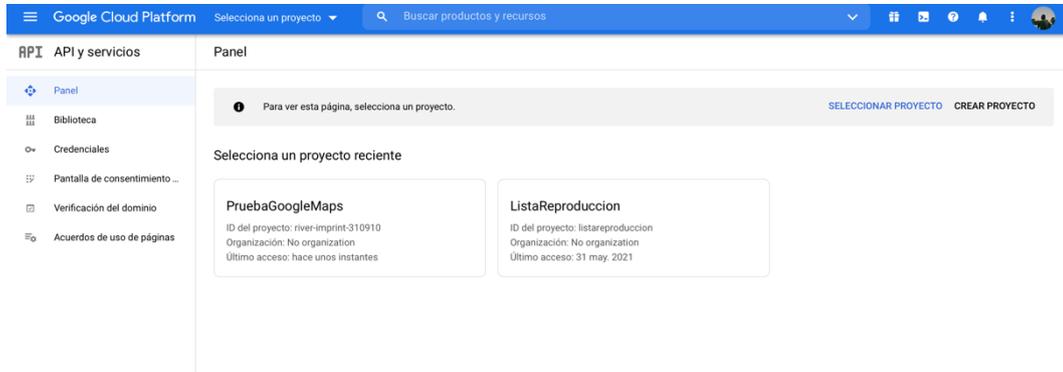


Fig. 36. Panel del API Console de Google

- ❖ A continuación, se crea un nuevo proyecto en la plataforma, para obtener una API Key de Google Maps. Una vez creado el proyecto, aparecen dos opciones al lado derecho de la pantalla: “SELECCIONAR” y “CREAR”. En este caso se hace click en “CREAR” para obtener la clave.
- ❖ El siguiente paso es asignarle un nombre al proyecto, “PruebaGoogleMaps”. Después de ingresar el nombre, simplemente hacemos click en “CREAR”. Posteriormente, nos redirige al menú “CREDENCIALES” como se muestra en la siguiente figura:

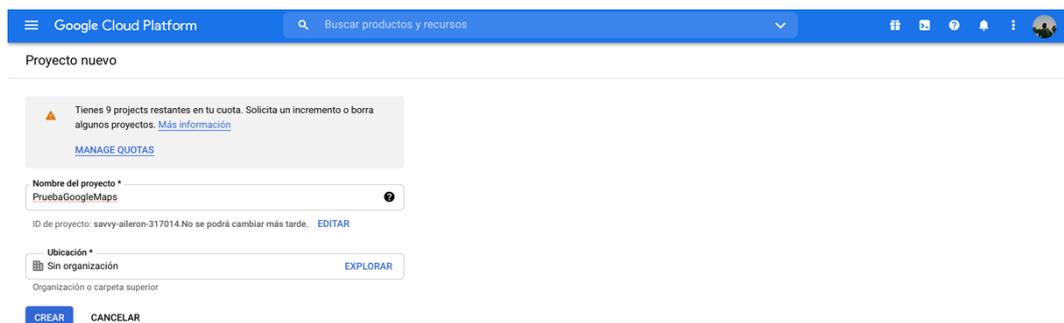


Fig. 37. Creación de un nuevo proyecto

- ❖ Para poder acceder a las APIs se requieren credenciales. En el menú de credenciales las creamos y seleccionamos el botón azul. Luego, hacemos click sobre la primera opción que aparece en el desplegable “Clave de API”. Al seleccionar esta opción, se abrirá una nueva ventana con la clave API generada.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

- ❖ Posteriormente, al hacer click en “*RESTRINGIR CLAVE*”, obtenemos la opción de cambiar el nombre de la clave de API y aplicar las restricciones necesarias de acuerdo con el uso. En este caso, aplicamos restricción a la API que vamos a utilizar, Map Elevation API. Hecho este paso, ahora se puede copiar la API Key para su posterior uso [24].

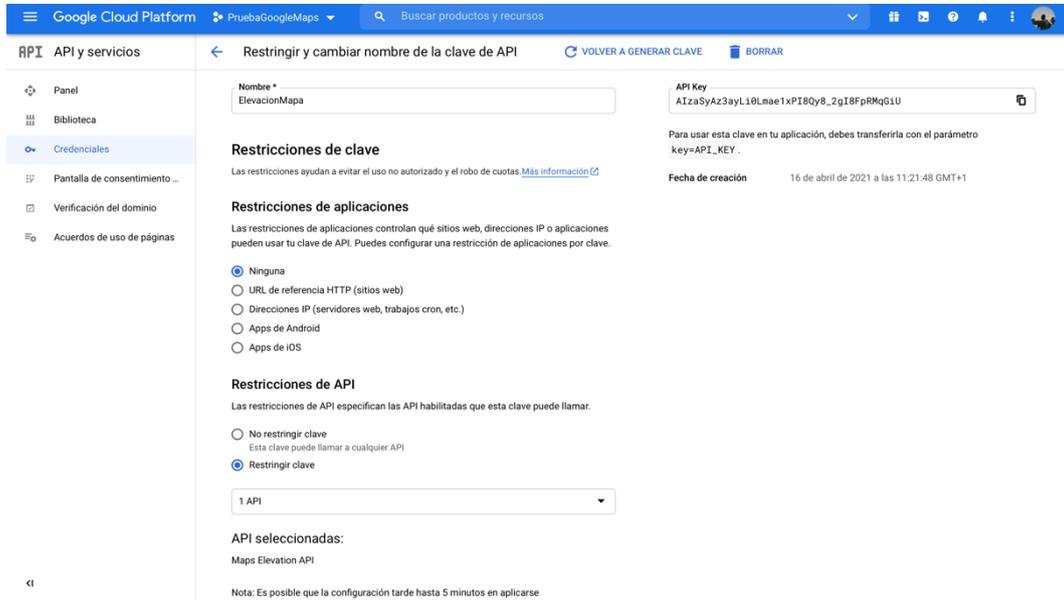


Fig. 38. Configuración de la credencial

- ❖ Una vez obtenidas las credenciales, el siguiente paso consistirá en habilitar la API de Google Maps. Para ello, simplemente accedemos a la biblioteca desde el menú al lado izquierdo de la página y buscamos Maps Elevation API.

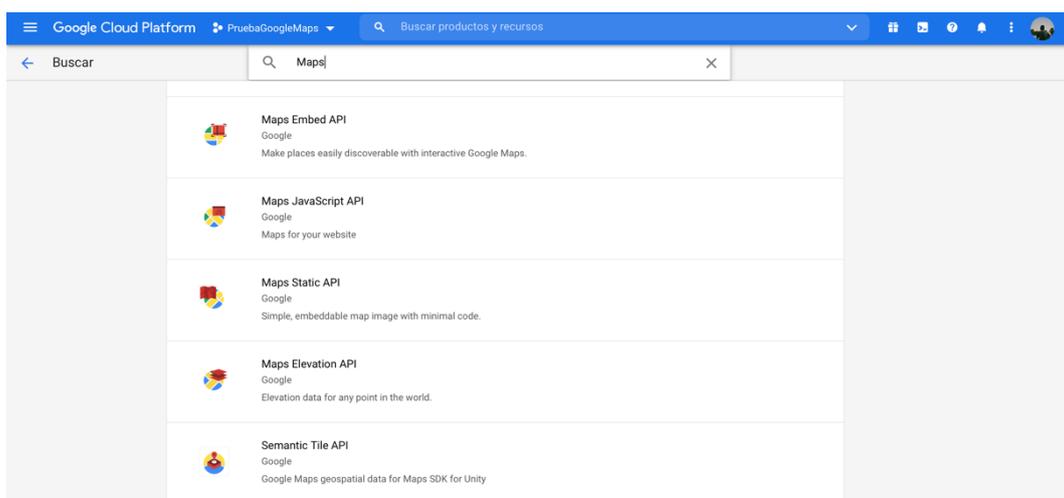


Fig. 39. Biblioteca de APIs

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

- ❖ Tras la selección de la API, nos redirige a una página que contiene información general sobre ella, así como tutoriales, términos de servicio, documentación, entre otros. Para habilitar la API, simplemente hacemos click en el botón azul que dice “*HABILITAR*” y seremos redirigidos al panel API donde se puede realizar un seguimiento de las métricas de uso [24].

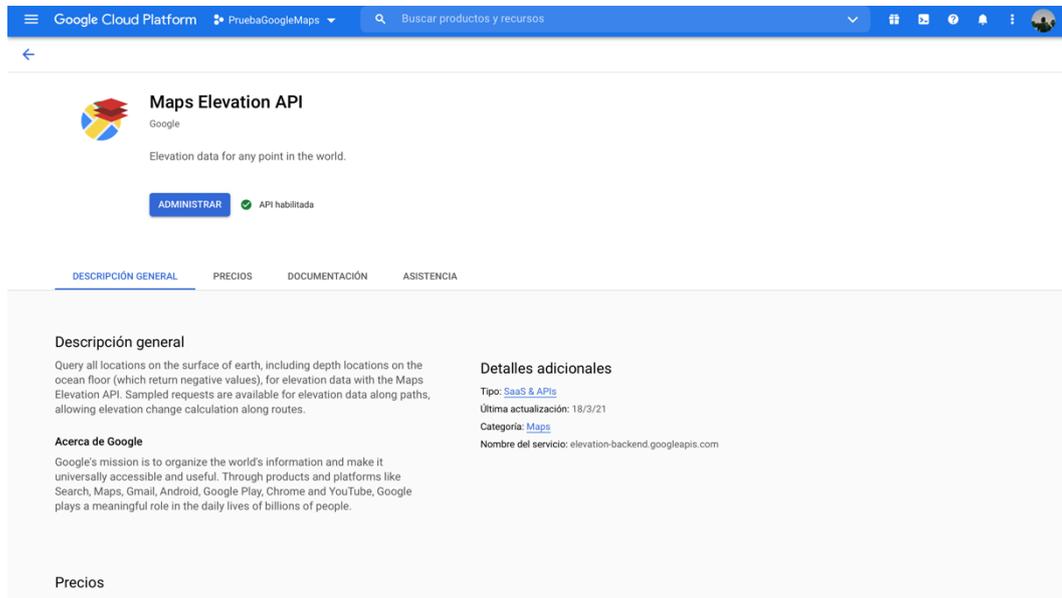


Fig. 40. Selección de la API

### 3.6.2. Representación de las Islas Canarias

La creación de la API es un paso fundamental para la obtención de datos geográficos. Sin embargo, se requiere de otro paso previo para obtener los datos de elevación del terreno.

El uso del lenguaje *Python* junto con el IDE PyCharm y la herramienta Google Colaboratory permitirán crear un pequeño programa, para generar de forma eficaz y automática los datos geográficos del archipiélago. En esta sección se definirán todos los procesos para obtener el programa definitivo.

#### 3.6.2.1. Desarrollo del software a través de Google Colaboratory

*Google Colaboratory* se trata de un servicio en la nube, ofrecido por Google de forma gratuita. Se basa en el entorno Jupyter Notebook, que permite escribir y ejecutar código de *Python* desde el propio navegador. Se ha utilizado esta herramienta para hacer un seguimiento de las distintas versiones del programa, además de las siguientes particularidades que ofrece:

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

- No requiere de configuración adicional. Dicha aplicación se encuentra en línea, por lo que no se necesita descargar ningún software.
- Acceso gratuito a la GPU de Google. Permite ejecutar los códigos mediante los notebooks de Colab usando los recursos de Google.
- Facilidad para compartir. Permite almacenar los notebooks en Google Drive.
- Permite utilizar las bibliotecas de *Python* para desarrollar, analizar o visualizar los proyectos realizados. Se trata de un aspecto muy importante debido a que *Python* es el lenguaje de programación más conocido por los desarrolladores [27].

El primer paso ha consistido en encontrar a través de la plataforma “*Stack Overflow*” un script que permita la obtención de la altitud a partir de la longitud y latitud de un punto determinado de la superficie terrestre.

Se trata de tener un primer contacto con el código e interpretar las diferentes librerías de *Python* que se deben usar para generar los datos geográficos. En este caso, no se hace uso de la API generada en la sección anterior, si no de una alternativa gratuita y de código abierto a la API de Google Elevation.

```
import requests
import pandas as pd

# script for returning elevation from lat, long, based on open elevation data
# which in turn is based on SRTM
def get_elevation(lat, long):
    query = ('https://api.open-elevation.com/api/v1/lookuq'
            f'?locations={lat},{long}')
    r = requests.get(query).json() # json object, various ways you can extract value
    # one approach is to use pandas json functionality:
    elevation = pd.io.json.json_normalize(r, 'results')['elevation'].values[0]
    return elevation

print(get_elevation(48.8445548,2.4222176))
print(get_elevation(28.26916559,-16.636830786))

-----
JSONDecodeError                                Traceback (most recent call last)
<ipython-input-4-e6c536a3f452> in <module>()
     13
     14
--> 15 print(get_elevation(48.8445548,2.4222176))
     16 print(get_elevation(28.26916559,-16.636830786))

-----
      4 frames -----
/usr/lib/python3.7/json/decoder.py in raw_decode(self, s, idx)
     353     obj, end = self.scan_once(s, idx)
     354     except StopIteration as err:
--> 355         raise JSONDecodeError("Expecting value", s, err.value) from None
     356     return obj, end

JSONDecodeError: Expecting value: line 1 column 1 (char 0)
```

Fig. 41. Primera versión del programa

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

En el código se emplea la librería “*Requests*”<sup>9</sup>, que permitirá hacer peticiones HTTP, FTP y un largo etcétera, como cualquier otro lenguaje de alto nivel. Se trata de una herramienta muy útil para hacer peticiones a una API desde una aplicación. Además, se hace uso de la librería “*Pandas*”, especializada en el manejo y análisis de estructuras de datos. Las principales características de esta librería son las siguientes:

- Cuenta con diferentes estructuras de datos basadas en los arrays de la librería NumPy pero con nuevas funcionalidades.
- Permite la lectura y escritura de ficheros en formato CSV, Excel y bases de datos SQL.
- Permite el acceso a los datos mediante índices o nombres para filas y columnas.
- Dispone de diferentes métodos para reordenar, dividir y combinar conjuntos de datos.
- Se puede trabajar con series temporales.
- Todas las operaciones anteriores las realiza de manera muy eficiente.

El proceso de petición se realiza dentro del método “*get\_elevation*”, como se muestra en la Figura 42. Se envía una solicitud “*GET*” a la dirección que se encuentra almacenada en la variable “*query*”. De este modo se solicita el dato del recurso especificado en la URL almacenada en dicha variable. Seguidamente, se llama al método “*json()*” para que permita decodificar los datos y los devuelva como un diccionario.

El paso siguiente, en la obtención del dato de elevación, la sentencia “*pd.io.json\_normalizer*” permite normalizar los datos “*JSON*” semiestructurados en una tabla plana. De este modo, se tiene acceso de una forma cómoda a sus parámetros y por lo tanto a la extracción del dato. Sin embargo, la ejecución del código falla en la recuperación del valor, no se decodifica correctamente. Debido a esta falla, se debe modificar la API por la de Google Elevation.

```
import json
import urllib
import requests

def gapi_elevation(lat, lng):
    apikey = "AIzaSyAfIymNdAxRlK6dQM7ADKlqbmoE0_40-Pc"
    url = "https://maps.googleapis.com/maps/api/elevation/json"
    query = url+"?locations="+str(lat)+" "+str(lng)+"&key="+apikey

    request = urllib.request.urlopen(query)
    results = json.load(request).get('results')
    elevation = results[0].get('elevation')
    print(elevation)

gapi_elevation(28.046401,-14.33264)
```

2.155380249023438

Fig. 42. Segunda versión del programa

<sup>9</sup> <https://realpython.com/python-requests/>

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

Para esta nueva versión, se han modificado varios elementos. Se ha importado la librería “*json*” y la “*urllib*”. Este último módulo permite a acceder a sitios webs, descargar datos, analizar datos, modificar sus encabezados y hacer cualquier solicitud “*GET*” y “*POST*”.

Como se aprecia en la Figura 43, dentro del método se ha almacenado en la variable “*apikey*” la clave que permitirá el acceso a los servicios de Google. Sin embargo, no se ha usado la clave creada en la sección anterior, si no una propia del grupo de investigación debido a que permite una mayor cantidad de peticiones.

Por otro lado, se ha almacenado en la variable “*url*” el recurso a donde se quiere acceder además de los parámetros de entrada, *lat* y *long*, necesarios para obtener el dato de elevación. En las siguientes líneas de código, se realiza el proceso de petición. Finalmente, al método “*gapi\_elevation*” se le ha pasado por parámetro un valor de latitud y longitud, y se ha obtenido el valor de elevación correspondiente.

Tras conseguir el funcionamiento del método, se trata aún de un proceso lento y poco automático introducir por parámetro todos los valores de longitud y latitud de cada punto de la geografía de Canarias. Por lo tanto, el siguiente objetivo consistirá en extraer todos los valores de longitud y latitud de cada punto del terreno en estudio a partir de la malla en formato CSV que nos ha proporcionado el ISTAC.

```
def almacenar_altitudes():
    lista_altitud= []

    for idx, line in enumerate(archivo_texto):

        if idx > max_lines:
            break

        try:
            pos = line.index("-") # Obtengo la posición donde se encuentra el signo negativo
            comas = line.rfind(",") # Obtengo la posición donde se encuentra la última coma

        except ValueError as ErrorString:
            print(ErrorString)
            continue

        #print(line)
        #print(pos)
        #print(comas)

        longitud= float(line[pos:comas]) # Extraigo el valor de longitud a partir de los dos indices calculados anterior
        #print(longitud)

        latitud = float(line[comas+1:]) # Extraigo el valor de la latitud
        #print(latitud)
```

Fig. 43. Tercera versión del programa

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

Como se aprecia en la Figura 44, se ha creado el método denominado “*almacenar\_altitudes*” que permite identificar y extraer los valores de latitud y longitud proporcionado por el ISTAC, utilizando la estructura bucle “*for*”.

El siguiente paso, es incorporar el método “*gapi\_elevation*” pasándole por parámetros los valores que se han conseguido extraer en el paso anterior. Finalmente, introducimos cada valor de elevación en una lista, para posteriormente recorrerla con un bucle “*for*” y almacenar cada elemento en un archivo CSV, como se muestra en la Figura 44. De este modo, podemos utilizar dichos datos de una forma más cómoda en siguientes pruebas.

```
def almacenar_altitudes():
    lista_altitud= []

    for idx, line in enumerate(archivo_texto):

        if idx > max_lines:
            break

        try:
            pos = line.index("-") # Obtengo la posición donde se encuentra el signo negativo
            comas = line.rfind(",") # Obtengo la posición donde se encuentra la última coma

        except ValueError as ErrorString:
            print(ErrorString)
            continue

        #print(line)
        #print(pos)
        #print(comas)

        longitud= float(line[pos:comas]) # Extraigo el valor de longitud a partir de los dos indices calculados anterior
        #print(longitud)

        latitud = float(line[comas+1:]) # Extraigo el valor de la latitud
        #print(latitud)

        altitud = gapi_elevation(latitud,longitud)
        lista_altitud.append(altitud) #Almacenaría las altitudes en una lista.

    archivo_texto_altitudes = open("archivo.csv", "w") # Archivo donde almacenaré la altitud
    print(lista_altitud)
    for i in lista_altitud:
        j = str(i)
        archivo_texto_altitudes.write(j + "\n")
```

Fig. 44. Cuarta versión del programa

El siguiente objetivo es unificar los datos de interés en un único archivo CSV, para un mejor manejo de estos. Es decir, los datos de altitud, longitud y superficie del archivo proporcionado por el ISTAC, y los valores de elevación obtenidos en el paso anterior.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

```
from io import open
import json
import urllib
import requests
import pandas as pd

max_lines = 100000# para pruebas

def gapi_elevation(lat, lng):
    apikey = "AIzaSyAf1ymNdAxRlK6dQM7ADkLqbmoE0_40-Pc"
    url = "https://maps.googleapis.com/maps/api/elevation/json"
    query = url+"?locations="+str(lat)+" "+str(lng)+"&key="+apikey

    request = urllib.request.urlopen(query)
    results = json.load(request).get('results')
    elevation = results[0].get('elevation')

    return elevation

df = pd.read_csv("grid_1000_2011.csv")

df = df[['longitud', 'latitud', 'superficie']]

# descomentar para pruebas
#df = df.head()

df['altitud'] = df.apply(lambda x: gapi_elevation(x['latitud'], x['longitud']), axis=1)

df.to_csv("grid_1000_2011_elevation.csv")
```

Fig. 45. Unificación de los datos en un único archivo CSV

“DataFrame” es una de las estructuras que se encuentran incluidas en el paquete de “Pandas”. Se trata de una estructura de datos con dos dimensiones en la cual se puede guardar datos de distintos tipos (como caracteres, enteros, valores de punto flotante, factores y más) en columnas. Es similar a una hoja de cálculo o una tabla de SQL.

Como se aprecia en la Figura 45, se ha empleado dicha estructura para la unificación de los datos de longitud, latitud, superficie y altitud. Cabe destacar, que se ha simplificado el código que permite obtener la elevación, usando una función lambda en su lugar. De esta forma definimos la función en una sola línea.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	longitud	latitud	superficie	altitud													
2	0,-14.33264,28.046401,20.6389,2.155380249023438																
3	1,-14.328311,28.0477,13.0981,2.417624473571777																
4	2,-14.35479,28.049102,8.6917,9.051873207092285																
5	3,-14.347121,28.050062,49.8548,39.50186920166016																
6	4,-14.336773999999998,28.050602,99.3669,34.07598876953125																
7	5,-14.327112,28.053555,99.9257,40.85641479492188																
8	6,-14.319184,28.056662,59.9541,25.10161399841309																
9	7,-14.312803,28.061394,3.5410000000000004,5.457511425018311																
10	8,-14.376971,28.052842,4.0548,12.26671600341797																
11	9,-14.364873999999998,28.053359999999998,20.2665,7.981880187988281																
12	10,-14.358887,28.054515000000002,88.9998,85.35258483886719																
13	11,-14.348958999999999,28.056359999999998,100.0,172.34876953125																
14	12,-14.339255,28.059343,100.0,205.8262023925781																
15	13,-14.32955,28.062148999999998,100.0,120.0807037353516																
16	14,-14.319844,28.064953000000003,100.0,152.2305297851562																
17	15,-14.310668,28.067931,84.4053,52.20066070556641																
18	16,-14.304475,28.072477000000003,16.2708,13.31632423400879																
19	17,-14.388869,28.058409,28.7284,39.337890625																
20	18,-14.380633,28.057119,92.5308,29.07889938354492																
21	19,-14.370851000000002,28.059658000000002,100.0,73.38196563720703																
22	20,-14.361147,28.062466999999998,100.0,266.0029907226562																
23	21,-14.351442,28.065276,100.0,295.278198421875																
24	22,-14.341736,28.068083,100.0,207.8628387451172																
25	23,-14.33203,28.070889,100.0,217.0493469238281																
26	24,-14.322323999999998,28.073695,100.0,167.6310577392578																
27	25,-14.312617000000001,28.076499,100.0,74.8709487915039																
28	26,-14.303019,28.079686,98.8427,82.2596206665039																
29	27,-14.294193,28.082813,69.4182,34.84811019897461																
30	28,-14.287069999999998,28.086854,21.0542,32.51171493530273																
31	29,-14.411380000000001,28.060627,19.6705,37.28745651245117																
32	30,-14.402657999999999,28.060960000000004,71.0842,42.13438415527344																
33	31,-14.393947,28.061297,100.0,222.00000000000002,92.02460260423264																

Fig. 46. Archivo CSV unificado

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

Posteriormente, se ha importado el archivo CSV unificado a *Paraview*, con el objetivo de representar los datos. Se ha aplicado el filtro “*TableToPoint*”, para convertir el archivo en un conjunto de puntos, previamente se ha especificado las columnas en la tabla de entrada para usar como coordenadas X, Y y Z para los puntos de salida. Seguidamente, se ha asignado a la coordenada X la longitud, a la coordenada Y la latitud y la coordenada Z la altitud. Luego, se ha aplicado el filtro “*Delaunay2D*” que construye una malla triangular a partir de los puntos generados anteriormente. Sin embargo, no permite la representación de estas coordenadas y solo es posible si la coordenada Z tiene por valor la columna “superficie”.

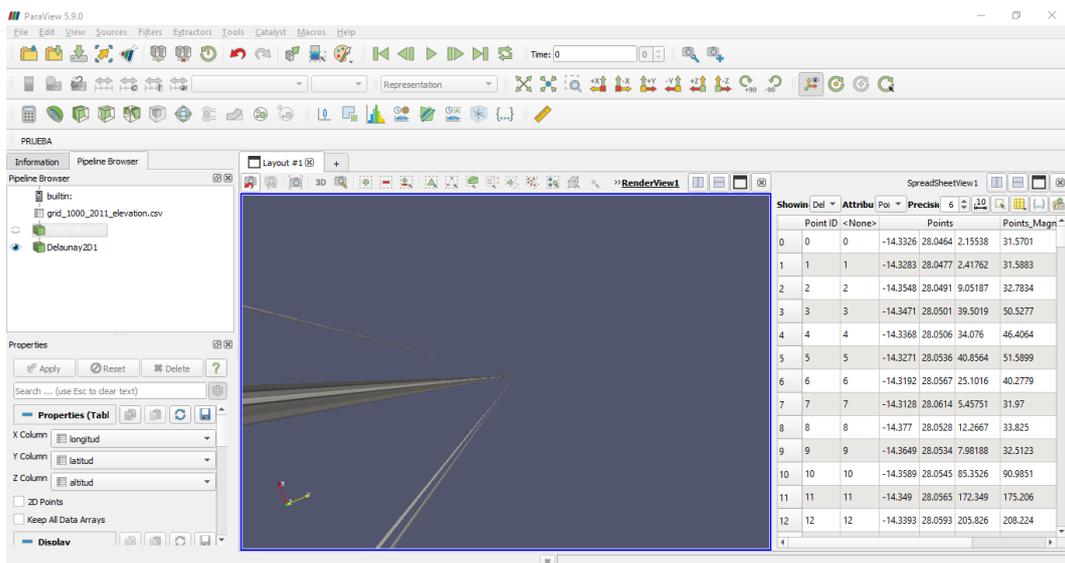


Fig. 47. Asignación de la coordenada Z la columna de altitud.

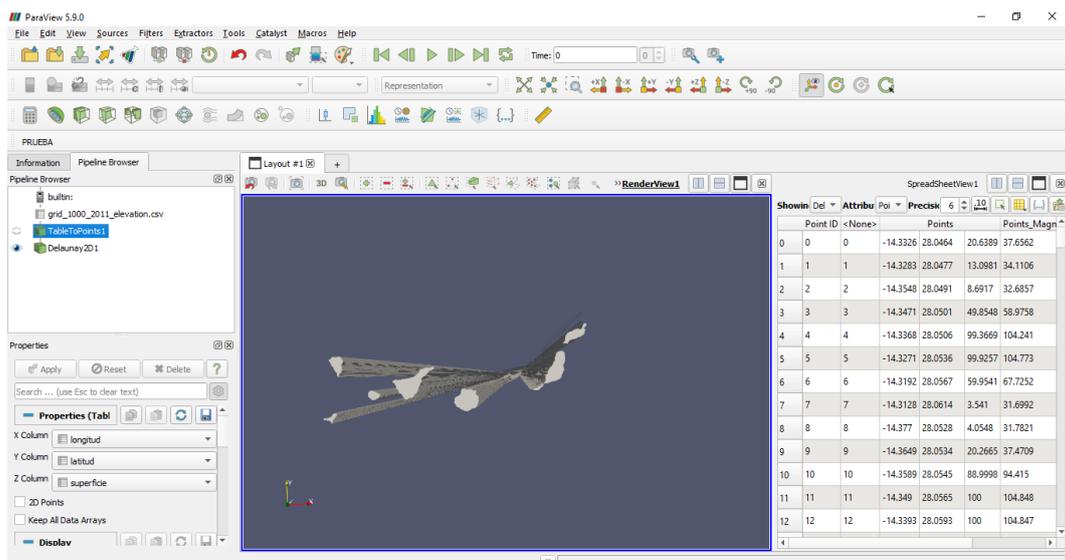


Fig. 48. Asignación de la coordenada Z la columna de superficie.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

La no visualización de los datos geográficos se debe a que *Paraview* no cuenta con un determinado sistema de unidades. Por lo tanto, es necesario convertir los valores de altitud, elevación y longitud a un mismo sistema de unidades.

Para ello, se ha obtenido el siguiente código a través de la plataforma “*StackExchange*” que permite la conversión de coordenadas geográficas a coordenadas X, Y (Figura 49). El script se basa en la librería “*pyproj*”<sup>10</sup> que consiste en la interfaz de la librería “*PROJ4*” de OSGeo traída a *Python* desde C y su uso está centrado básicamente en la proyección y conversión de geometrías entre sistemas de referencia de coordenadas. Permite trabajar con cientos de sistemas de coordenadas distintos, realizando cálculos y transformaciones tanto cartográficas como geodésicas mediante las clases “*Proj*” y “*Geod*” respectivamente [28].



```
from pyproj import Proj
from io import open

archivo_texto = open("grid_1000_2011_elevation.csv", "r")
archivo_texto_xx = open("archivo_xx.csv", "w") # Archivo donde almacenaré la xx
archivo_texto_yy = open("archivo_yy.csv", "w") # Archivo donde almacenaré la yy

list_xx=[]
list_yy=[]

for line in archivo_texto:
    tupla = line.partition(",")
    coordenadas = tupla[2]
    longitud = coordenadas.partition(",")[0]
    latitud = coordenadas.partition(",")[2].partition(",")[0]

    try:
        pp = Proj(proj='utm', zone=10, ellps='WGS84', preserve_units=False)
        xx, yy = pp(longitud, latitud)
        print(xx)

        archivo_texto_xx.write(str(xx) + "\n")
        archivo_texto_yy.write(str(yy) + "\n")
    except:
        continue
```

Fig. 49. Transformación de las coordenadas geográficas a X,Y

El código permite la extracción de los valores de latitud y longitud del archivo CSV unificado. Posteriormente, se pasan por parámetro dichos valores a la función “*pp*” que previamente ha sido configurada del siguiente modo:

<sup>10</sup> <https://pyproj4.github.io/pyproj/stable/>

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

- proj = utm

Se ha utilizado el sistema de coordenadas geográficas UTM que se emplea para referenciar cualquier punto de la superficie terrestre, utilizando para ello una proyección cilíndrica, conforme y transversal. Cabe destacar, que las magnitudes en el sistema UTM se expresan en metros.

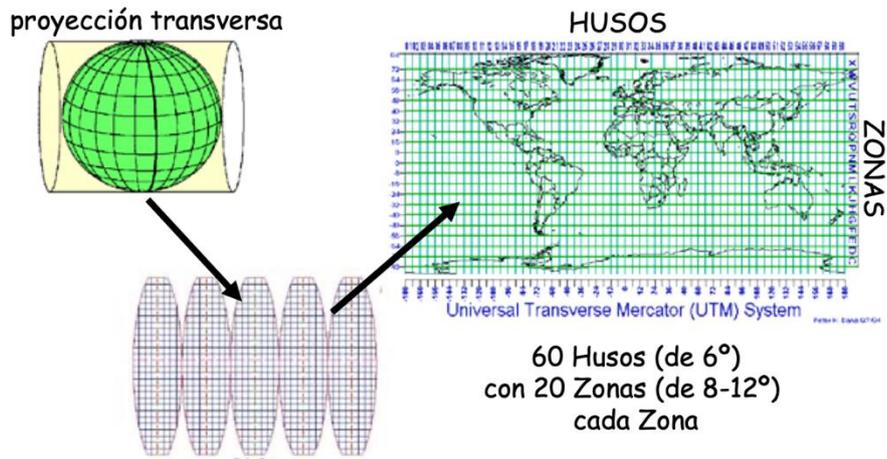


Fig. 50. Esquema de la proyección UTM. [37].

- zone = 10

En el sistema UTM la Tierra se divide en 60 husos de 6° de longitud, y se definen 20 bandas de 8° o 12° de latitud de lo que resulta una malla de meridianos y paralelos que forma 1.200 trapecios esféricos. Cada uso se enumera del 1 al 60 a partir del meridiano de 180° oeste en sentido oeste-este, como se aprecia en la Figura 52.

Dado que cada huso cuenta con su propio sistema de referencia, y en todos los casos tiene asignado un meridiano central que es donde se sitúa el origen de coordenadas, junto al ecuador, se da la circunstancia de que puntos situados en husos distintos pueden compartir las mismas coordenadas UTM [36].

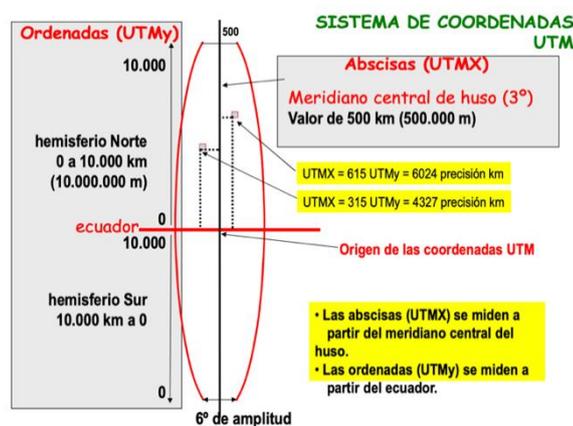


Fig. 51. Ejemplo del huso 3°. [37].

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

Dicha circunstancia se ha dado en el código de *Python*, en este caso se ha asignado un huso que no pertenece a la región que se está estudiando. Lo correcto es asignar la zona (huso) 28 para tener todo el archipiélago en un único sistema de coordenadas. Sin embargo, se ha aplicado por error la zona (huso) 10, que corresponde con la zona del Océano Pacífico y América del Norte, como se aprecia en la Figura 52. Esta errata conlleva problemas en la representación de información georreferenciada, debido a que los valores x e y no se van a ceñir a la realidad topográfica del lugar.

La utilización de un huso (zona) u otro no implica una mayor precisión de los datos, pero si permite que la representación sea más correcta con respecto al terreno real estudiado. No obstante, no se trata de un error que impida la representación de los datos, aún así se contemplará la diferencia de ambas representaciones utilizando los dos husos en la siguiente sección.

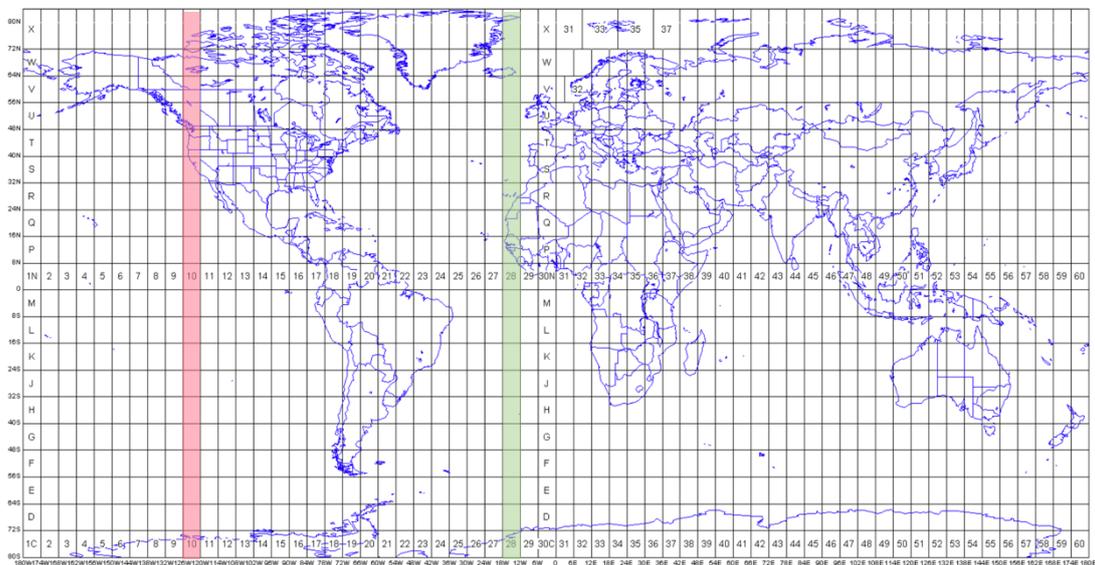


Fig. 52. Distribución de husos y bandas UTM en el mundo. [37].

- ellps = WGS84

Este último parámetro, se trata de un elipsoide de referencia, un elemento matemático que representan la figura de la Tierra. No obstante, debido a las irregularidades del planeta existen diferentes modelos matemáticos, que permite adaptarse mejor a la forma de la Tierra en la zona a cartografiar. El modelo utilizado ha sido WGS84, que permite localizar cualquier punto de la Tierra por medio de tres unidades dadas (x,y,z).

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

Una vez realizada la conversión, los nuevos valores de longitud y latitud se almacenan en archivos CSV. Posteriormente, se han unificado estos archivos con los valores de altitud. De esta forma, obtenemos un nuevo archivo CSV con las tres coordenadas geográficas.

Sin embargo, tras la importación del archivo CSV a Paraview, no se consigue una correcta representación de los datos. En las Figuras 53 y 54 se muestran los resultados obtenidos.

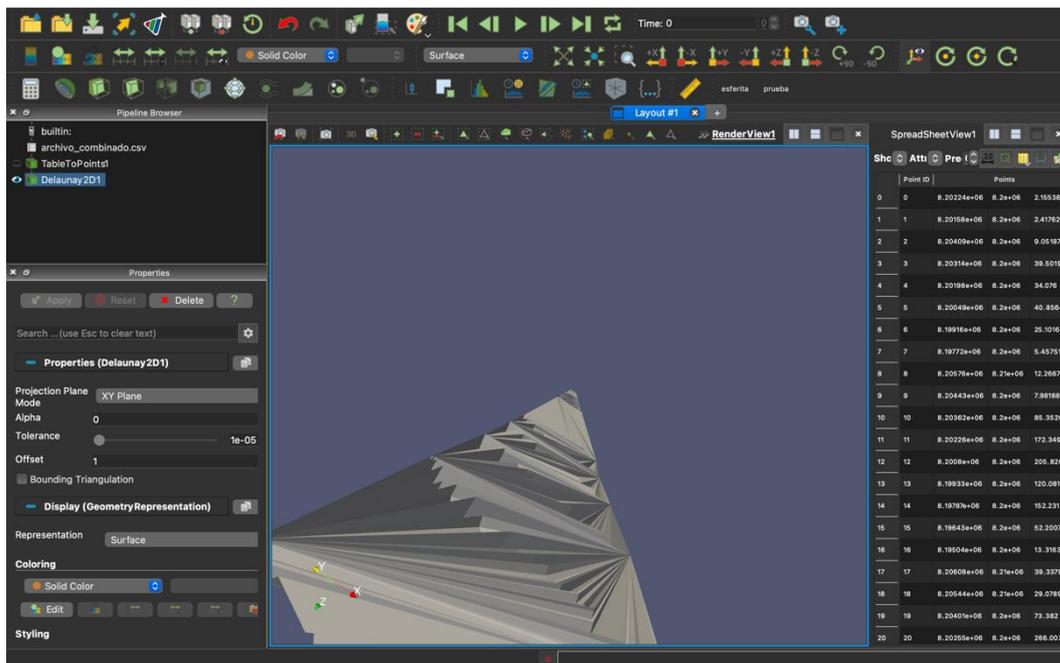


Fig. 53. Resultado con las coordenadas transformadas al sistema X,Y

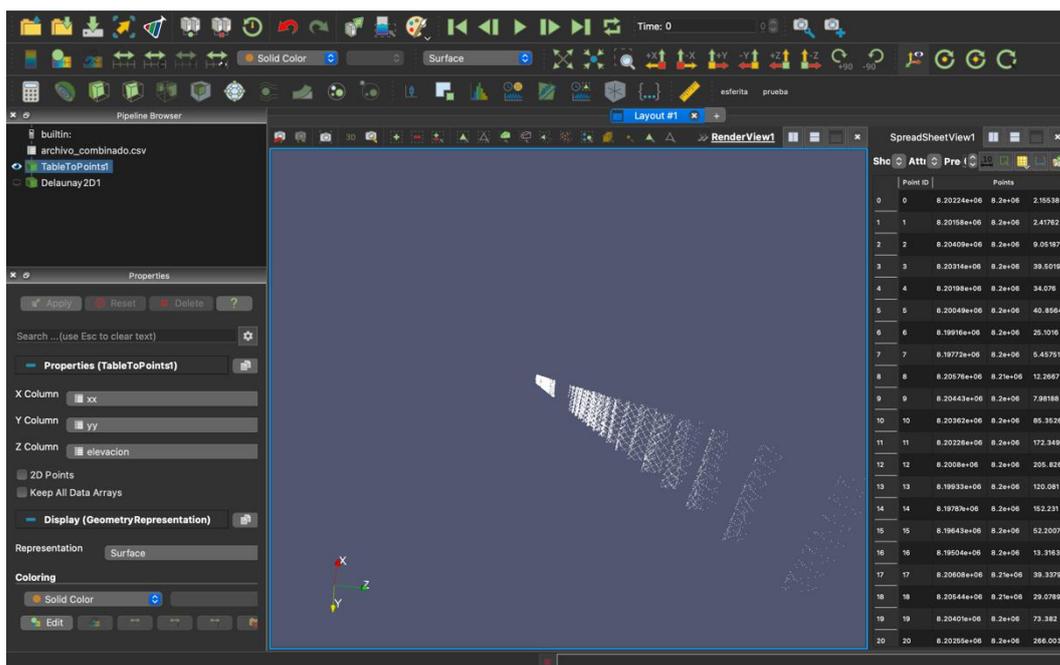


Fig. 54. Resultado con las coordenadas transformadas al sistema X,Y

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

Los resultados obtenidos no se han generado correctamente, debido a que la componente “yy” (latitud) presentan valores similares a los de la componente “xx” (longitud). En la Figura 54 se representa el conjunto de puntos de manera uniforme en un único sentido, es decir ambas componentes no presentan diferencias, una de las dos coordenadas se ha generado de forma incorrecta, y por lo tanto no permite describir la orografía de las islas.

Para resolver el problema, se ha instalado correctamente la librería “pyproj”, además de optimizar el código. Algunos de los cambios realizados con respecto a la versión anterior son los siguientes:

Se ha realizado la lectura del archivo que contiene las tres coordenadas utilizando la librería “Pandas”. A continuación, se ha utilizado la función “head” que permite mostrar las primeras 5 líneas de datos que contiene cada columna. Seguidamente, se han obtenido las nuevas coordenadas geográficas a partir de la función “pp” incluida dentro de la función “lambda”, pasándole por parámetros los valores de longitud y latitud. De este modo se consigue un código más breve y óptimo en una única línea:

```
df[['longitud2', 'latitud2']] =  
df.apply(lambda x: pp(x['longitud'], x['latitud']), axis = 1, result_type = "expand")
```

La sintaxis de la línea de código anterior es la siguientes:

La variable “df” que contiene las columnas “longitud”, “latitud” y “altitud” llama a la función “apply” con el objetivo de aplicar los cambios sobre dicho conjunto de datos tras la ejecución de la función lambda. Uno de los parámetros a destacar es “expand”, que permite modificar el archivo original añadiendo los nuevos datos generados, cuyas nuevas columnas se le han asignado el nombre “longitud2” y “latitud2” respectivamente.

Tras la ejecución de este nuevo script, se ha conseguido obtener valores correctos de latitud y longitud. Finalmente, se han convertido el nuevo conjunto de datos a formato CSV usando la función “to\_csv”, introduciendo por parámetro el nombre del nuevo archivo: “gris\_1000\_2011\_elevation\_unificado.csv”.



## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

que permitiese su correcta visualización en *Paraview*. En el siguiente apartado se describirán los pasos para obtener un resultado más preciso y realista de la orografía de Canarias.

### 3.6.2.2. *Tratamiento de datos geográficos en Paraview.*

Tras conseguir una representación coherente a partir de los datos obtenidos, se ha requerido de diferentes tratamientos para visualizar y analizar la información. Se han empleado técnicas cualitativas y cuantitativas para una mejor visualización de los datos. Los filtros “*Calculator*”, “*Delaunay3D*” y “*TableToPoint*” han permitido explotar los datos de forma óptima.

Tras la importación del archivo CSV, se ha aplicado el filtro “*Calculator*”. Este filtro permite calcular una nueva matriz de datos o nuevas coordenadas de puntos en función de matrices escalares o vectoriales ya existentes. En este caso concreto, se realizan los cálculos a partir de los datos importados.

Como se aprecia en la Figura 57, la elevación en las islas es inapreciable. Por lo tanto, con el filtro “*Calculator*” se ha calculado una nueva matriz, denominada “*elevacion\_final*”, que es el resultado del producto de la altitud original multiplicada por 8. De este modo, los nuevos valores de elevación podrán visualizarse mejor debido a que se ha realizado un escalado proporcional.

Posteriormente, para representar el resultado, se ha empleado el filtro “*TableToPoint*” especificando previamente las columnas en la tabla de entrada para usar como coordenadas X, Y y Z para los puntos de salida. Se ha asignado a la coordenada X la matriz “*longitud2*”, a la coordenada Y la matriz “*latitud2*” y la coordenada Z la matriz “*elevacion\_final*”.

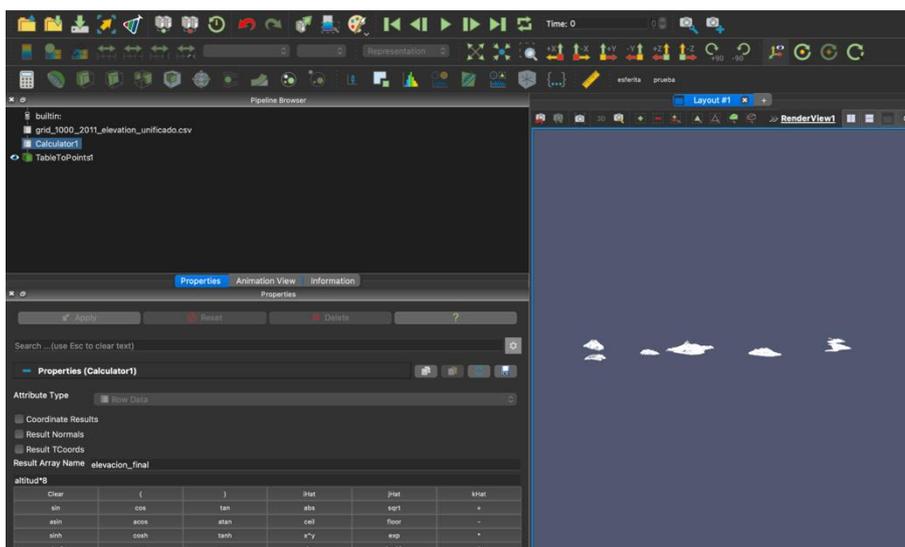


Fig. 57. Escalado de la coordenada altitud

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

El siguiente paso ha consistido en la aplicación del filtro “*Delaunay3D*”. Se trata de un filtro que construye una triangulación a partir de los puntos generados por el filtro anterior. El resultado obtenido tras la aplicación del filtro “*Delaunay3D*” es un conjunto de datos de cuadrícula no estructurado, es decir, se consigue una malla tetraédrica.

Seguidamente, dentro de las propiedades del filtro se ha configurado el parámetro “*alpha*” que permite controlar la salida del mismo. Para un valor “*alpha*” distinto de cero, solo se generarán las caras de los bordes. De lo contrario, solo se producirán tetraedros. Por lo tanto, se ha asignado un valor superior a cero de modo que se encuentren definidos los bordes de las islas.

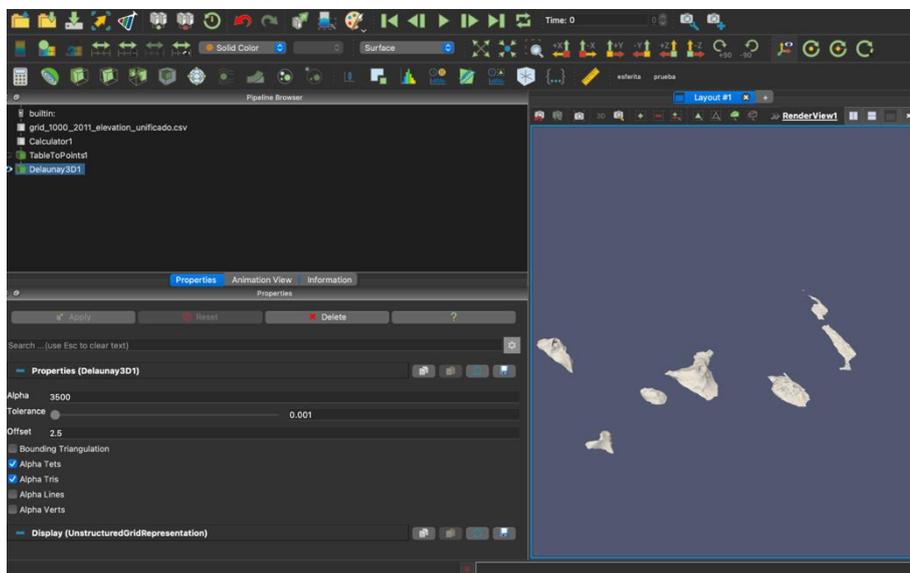


Fig. 58. Aplicación del filtro *Delaunay3D*

Por último, se ha aplicado un mapa de color que permite asignar un color determinado al conjunto de datos de la matriz “*altitud*”. De esta forma permite interpretar de forma intuitiva la elevación de cada isla de acuerdo con la franja de color correspondiente.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

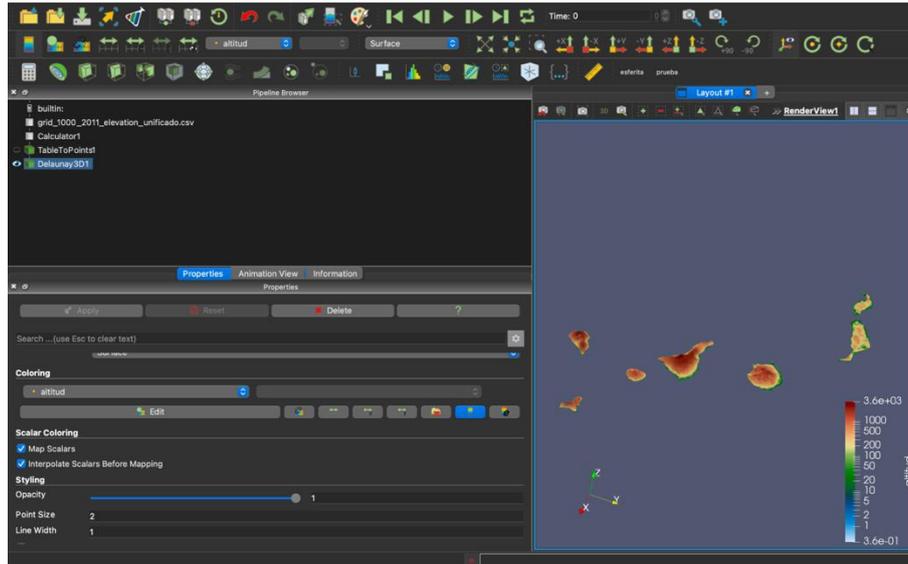


Fig. 59. Asignación del mapa de color

Como se había descrito en la sección 3.6.2.1, la obtención de los datos geográficos en coordenadas UTM se obtuvieron a partir del huso (zona) 10. No obstante, se han obtenido nuevamente los datos geográficos utilizando la zona correspondiente, el huso 28. Posteriormente se han representado ambos conjuntos de datos por separado para apreciar posibles diferencias.

Puede parecer incongruente, pero los datos obtenidos a partir del huso (zona) 28 presentan menos detalle sobre todo en la zona de La Caldera de Taburiente o la cumbre de Gran Canaria a diferencia del huso (zona) 10. No se trata de una representación incorrecta, solamente presenta una mayor precisión en la orografía real de las islas, a diferencia de la otra representación.



Fig. 60. Datos geográficos obtenidos a partir del huso (zona) 10

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

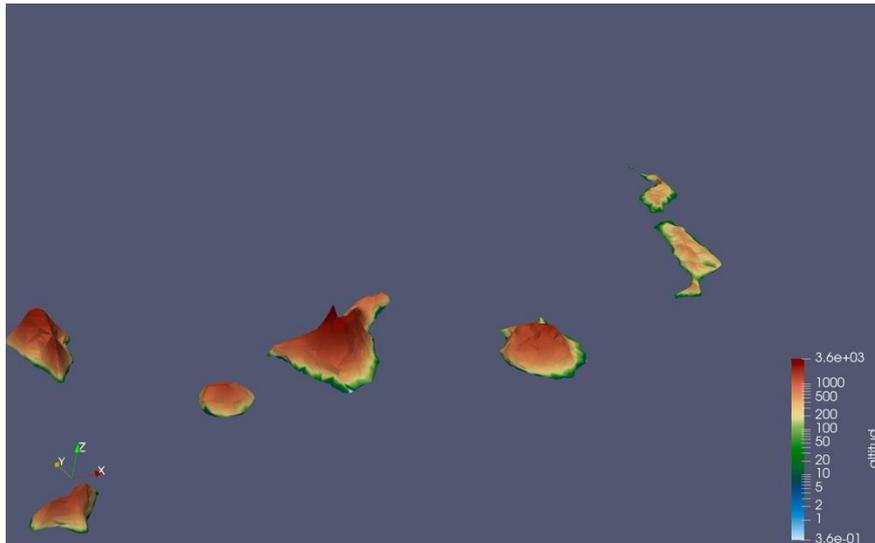


Fig. 61. Datos geográficos obtenidos a partir del huso (zona) 28

En conclusión, se han representado los datos usando la zona UTM 10, debido a que las diferencias apreciadas con respecto al otro uso son mínimas.

### 3.6.3. Representación de los datos de contaminación lumínica y calidad del aire

La situación geográfica de Canarias, nuestro clima y la orografía de las islas nos convierten en enclaves privilegiados para el disfrute de la observación nocturna, tanto para profesionales investigadores como para astrónomos aficionados y para la población en general. Sin embargo, aunque la calidad de los cielos de Canarias sí se ha sabido apreciar en el ámbito astrofísico, desde el punto de vista ambiental es un recurso natural que debe medirse y cuidarse mejor debido al impacto de la actividad humana que genera sobre él.

La protección del cielo oscuro de Canarias comienza siendo de interés para la investigación astronómica, pero también se convierte en un factor de impacto para el medioambiente. Las luminarias y lámparas, perjudiciales para la astronomía, también producen efectos perjudiciales en hábitats y en muchas especies que necesitan la oscuridad de la noche para su supervivencia. Además, recientes estudios demuestran que muchos ciclos hormonales y variables biológicas humanos presentan períodos circadianos, que se ven alterados por la contaminación lumínica produciendo enfermedades y disfunciones.

Por otro lado, aunque Canarias no presenta problemas de contaminación atmosférica, lo cierto es que la calima es uno de los fenómenos que ocasionalmente hace que aumenten los valores de este tipo de contaminación y se superen los mínimos estipulados en Europa. No obstante, es indiscutible la enorme calidad del cielo de las Islas Canarias, por dicha razón el archipiélago cuenta con un gran

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

referente a nivel internacional en relación con la observación del universo: el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC). Este modélico centro de investigación ha crecido sin duda de la mano de los observatorios del Roque de los Muchachos en La Palma y del Teide en Tenerife, que desarrollan una actividad científica esencial para tener acceso a un mejor conocimiento del Universo. Además, de contribuir en tareas específicas de investigación como:

- *“El estudio de parámetros atmosféricos relacionados con las observaciones astronómicas.*
- *Diseño, desarrollo o implementación de nuevos instrumentos para la caracterización de los observatorios.*
- *Coordinar los esfuerzos institucionales para caracterizar y proteger el cielo, actuando como interlocutor en acuerdos formales con agencias o instituciones (AEMet, el Comité Científico Internacional, etc.).*
- *Participar y liderar campañas internacionales de caracterización de localizaciones para futuras infraestructuras.*
- *Publicación de resultados en foros especializados.*
- *Liderando investigaciones en Óptica Atmosférica y nuevas técnicas para la caracterización de lugares para grandes telescopios.*
- *Participar en iniciativas internacionales y como consejero de comités relacionados con el tema.*
- *Extender el conocimiento al público general para mostrar la importancia de conocer y proteger el cielo” [29].*

En esta sección se tiene como objetivo representar dos de los factores que caracterizan la calidad del cielo: la contaminación lumínica y la calidad del aire. A partir de los datos proporcionados por el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) y el Instituto Canario de Estadística (ISTAC), extraídos desde sus más de 11 estaciones de medida ubicadas en la Comunidad de Canarias.

### 3.6.3.1. *Tratamiento de los datos de contaminación del aire*

Los datos de contaminación atmosférica, en concreto de calima, son valores expresados en miligramo/ $m^3$  medidos cada hora durante el día 8 de enero de 2017, desde las 12am hasta las 23pm. En total se tratan de 24 medidas.

El primer paso consistirá en procesar y representar una de las muestras en *Paraview*. Previamente, se deben procesar los datos en Google Colaboratory para obtener correctamente los valores de contaminación. Según se aprecia en la Figura 62 se han sustituido las comas de los datos que se

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

encuentran en la columna “*obs\_measure*” por puntos, para que sean interpretados correctamente por *Paraview*.

```
[ ] df_merged.to_csv("data_estacion.csv")

[ ] df_merged["obs_measure"] = pd.to_numeric(df_merged["obs_measure"].str.replace(',','.'), downcast="float")

df_merged.head()

obs_measure_type      obs_technique  obs_measure  obs_status  marcatiempo  obs_unit  ob
35002001  PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM  MICROBALANZA_DE_ELEMENTO_OSCILANTE      244.0      P      2017-01-13 05:00:00  MG/M_3
35002001  PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM  MICROBALANZA_DE_ELEMENTO_OSCILANTE      236.0      P      2017-01-13 06:00:00  MG/M_3
35002001  PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM  MICROBALANZA_DE_ELEMENTO_OSCILANTE      224.0      P      2017-01-12 22:00:00  MG/M_3
35002001  PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM  MICROBALANZA_DE_ELEMENTO_OSCILANTE      219.0      P      2017-01-12 21:00:00  MG/M_3
35002001  PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM  MICROBALANZA_DE_ELEMENTO_OSCILANTE      217.0      P      2017-01-12 23:00:00  MG/M_3

[ ] df_gr = df_merged.groupby(df_merged.ref_period)
```

Fig. 62. Tratamiento de datos de contaminación atmosférica

Por otro lado, se ha convertido los valores de “*longitude*” y “*latitude*” en el mismo sistema de coordenadas que la variable “*altitud*”. Es decir, se ha empleado el programa desarrollado en la sección 3.6.2.1. y los valores transformados se le han asignado por nombre “*lon2*” y “*lat2*” respectivamente. Finalmente, se han renombrado todos los archivos añadiendo la fecha de cada medida y se han exportado a un formato zip, como se aprecia en la Figura 63.

```
[ ] df_gr = df_merged.groupby(df_merged.ref_period)

[ ] dates = df_merged['ref_period'].unique()
print(len(dates))
168

[ ] for x in dates:
    dfx = df_gr.get_group(x)
    print(x)
    fnx = "pm10/geo_data_pm10_{}.csv".format(x)
    dfx.to_csv(fnx)

[ ] !zip -r file_pm10.zip pm10

[ ] files.download("file_pm10.zip")
```

Fig. 63. Código Python para almacenar todos los archivos en un fichero zip

Una vez procesado los datos se ha importado la primera medida (2017/01/08 00:00:00) a *Paraview* para su representación. Del mismo que en el proceso de representación de los datos geográficos de

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

las Islas Canarias, se ha aplicado el filtro “*TableToPoint*” para convertir el archivo en un conjunto de puntos. Previamente se ha especificado las columnas en la tabla de entrada para usar como coordenadas X, Y y Z para los puntos de salida. A la coordenada X la matriz “*lon2*”, a la coordenada Y la matriz “*lat2*” y la coordenada Z la matriz “*obs\_measure*”. Seguidamente se han aplicado los cambios.

Para una mejor interpretación de los datos, se ha utilizado el filtro “*Glyph*” que permite a partir del conjunto de datos generados convertirlos en cualquier forma como: flecha, cono, cilindro, esfera o glyph 2D. Debido a que se está representando contaminación atmosférica, se ha utilizado la esfera para simular las partículas contaminantes. Además, dentro de las propiedades del filtro se han modificado los siguientes parámetros:

- El radio de las esferas se le han asignado un valor de 0.05, para que puedan ser diferenciadas con respecto a la superficie de las islas.
- “*Maximum Number Of Sample Points*” se trata de una propiedad que especifica el número máximo de puntos de muestra que se usarán para muestrear la escena. Cuanto mayor sea dicho valor, mayor será el número de datos que se mostrarán. Para este caso en concreto se ha asignado un valor de 100000.

Tras configurar las propiedades del filtro, se han aplicado los cambios para visualizarlo en el software.

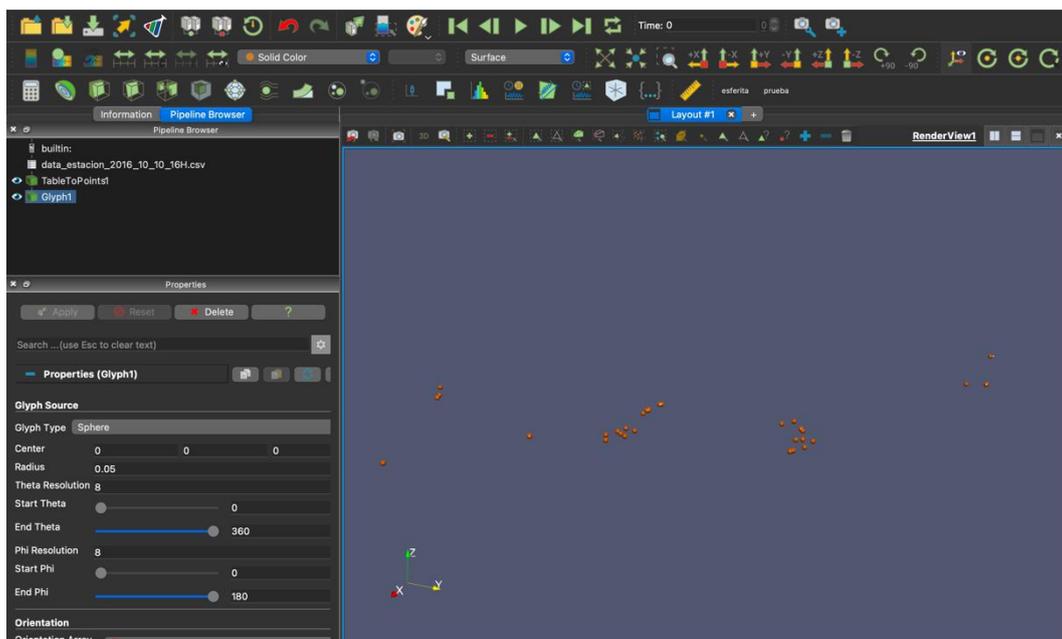


Fig. 64. Representación de la calima en Paraview

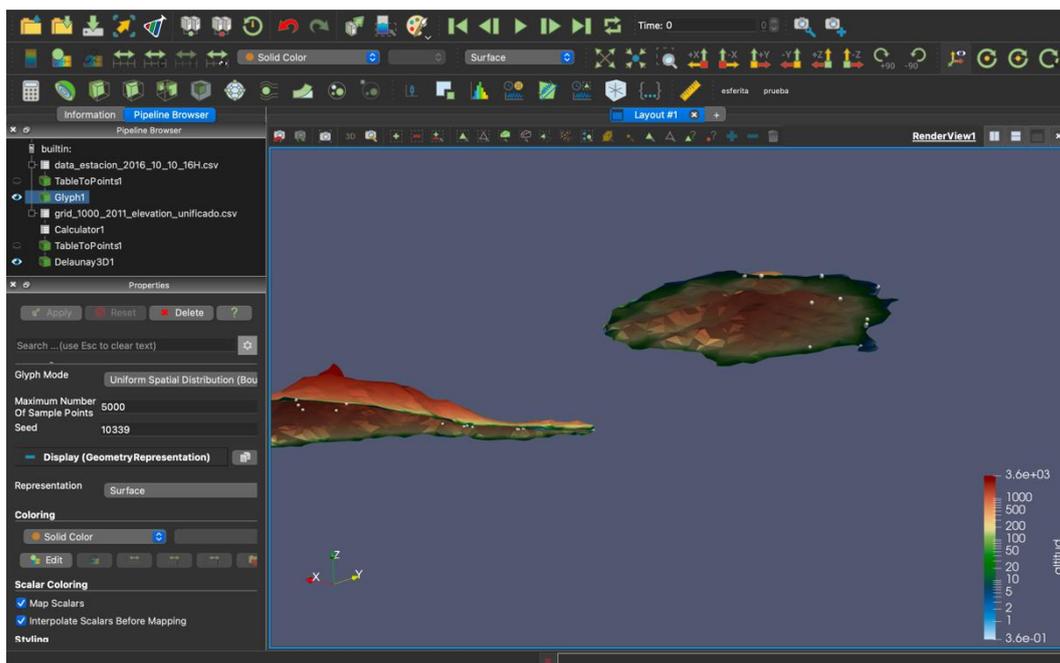
## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

Sin embargo, la representación de ambos conjuntos de datos, los datos geográficos y de contaminación atmosférica, se solapan entre sí como se observa en la Figura 65. Este fallo en la representación se debe a que los datos geográficos se encuentran escalados a diferencia de los atmosféricos. Para solventar este problema, se realiza un pequeño programa en *Python* que permita escalar todos los valores de contaminación de los archivos proporcionados por el IAC.

El próximo objetivo es situar los datos de contaminación por encima de la superficie de las islas, superando el punto de mayor elevación, el Teide. Se empleará la siguiente expresión para obtener los valores correctamente escalados.

$$\text{valor\_Escalado} = \text{alturaTeide} * \text{factorDeEscalado} + \text{obs\_Measure}$$

*Ecuación 13 Escalado de los valores de contaminación atmosférica*



*Fig. 65. Solapamiento de ambos conjuntos de datos*

### 3.6.3.2. Desarrollo del software a través del IDE Pycharm

*PyCharm* es uno de los entornos de desarrollo más completos para *Python*. Forma parte del conjunto de herramientas de programación ofrecidas por JetBrains, que cuenta con entornos para construir código en distintos lenguajes de programación como *PHP* y *Ruby*. La utilización de esta herramienta de debe a sus diferentes ventajas que ofrece.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

*PyCharm* cuenta con un editor inteligente, que permite completar código con diferentes atajos, que se pueden realizar a través del teclado. Asimismo, permite navegar a través del script desarrollado, saltando entre las clases y métodos creados, de este modo se obtiene un flujo de trabajo mucho más dinámico. Una de las características a destacar de *PyCharm* es la posibilidad de refactorizar el código, de esta forma permite modificar el código sin comprometer la ejecución de este. Además, dispone de una gran cantidad de temas y plugins que permite trabajar cómodamente. Estos permiten la integración con otros lenguajes y frameworks (como Node JS) y un acceso más fácil a bases de datos [31]. En esta sección, con la ayuda del IDE de *PyCharm* se ha desarrollado un pequeño programa que permite escalar los valores de calima.

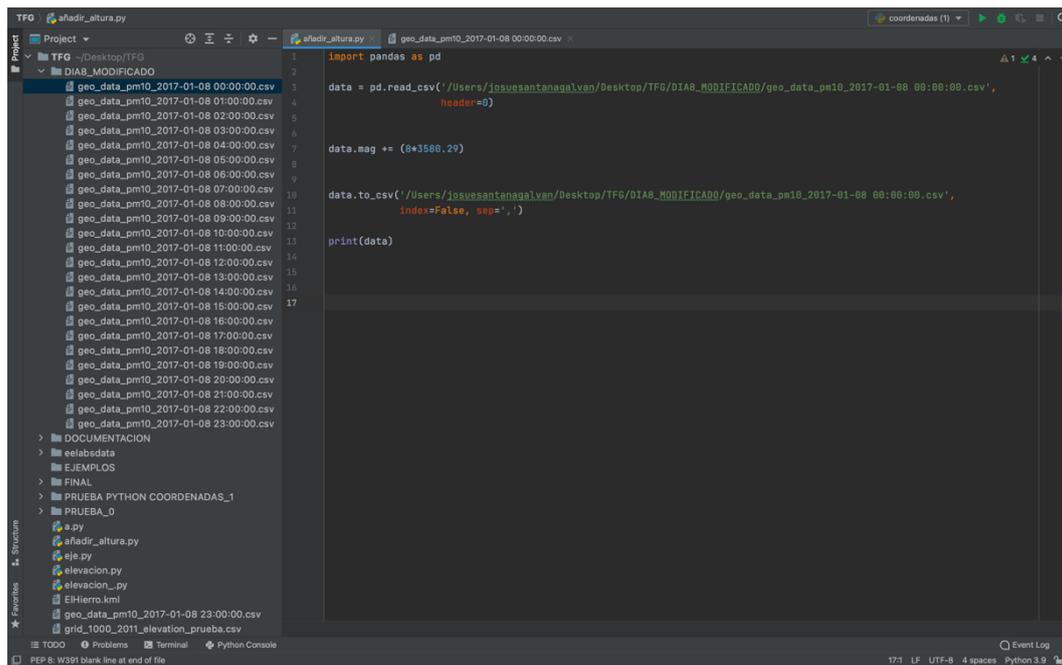
Para la realización del script se ha empleado la librería “*Pandas*”, especializada en el manejo y análisis de estructuras de datos. El conjunto de datos a modificar corresponde con la muestra tomada el día 8 de Enero de 2017 a las 12am, y su lectura se realiza a través de la expresión “*pd.read\_csv*”. De este modo, se logra cargar los datos desde el archivo CSV en *DataFrame* de “*Pandas*”, introduciendo previamente por parámetro la ruta en donde se encuentra el archivo. Dichos datos quedan almacenados en la variable “*data*”. A continuación, se accede a la columna “*obs\_measure*” para modificar todos los valores que se encuentran en dicha matriz. Se incrementa su valor con el producto entre el mayor valor de elevación de las islas y el factor de escalado, el mismo que se ha aplicado para la elevación de las islas en la sección 3.6.2.2.

$$data.mag += (8 * 3580.29)$$

*Ecuación 14 Incremento de la variable mag*

Para guardar los cambios realizados, se llama a la función “*to\_csv*”, pasando por parámetro la ruta en donde se encuentra el archivo. De esta forma, se reescriben los datos.

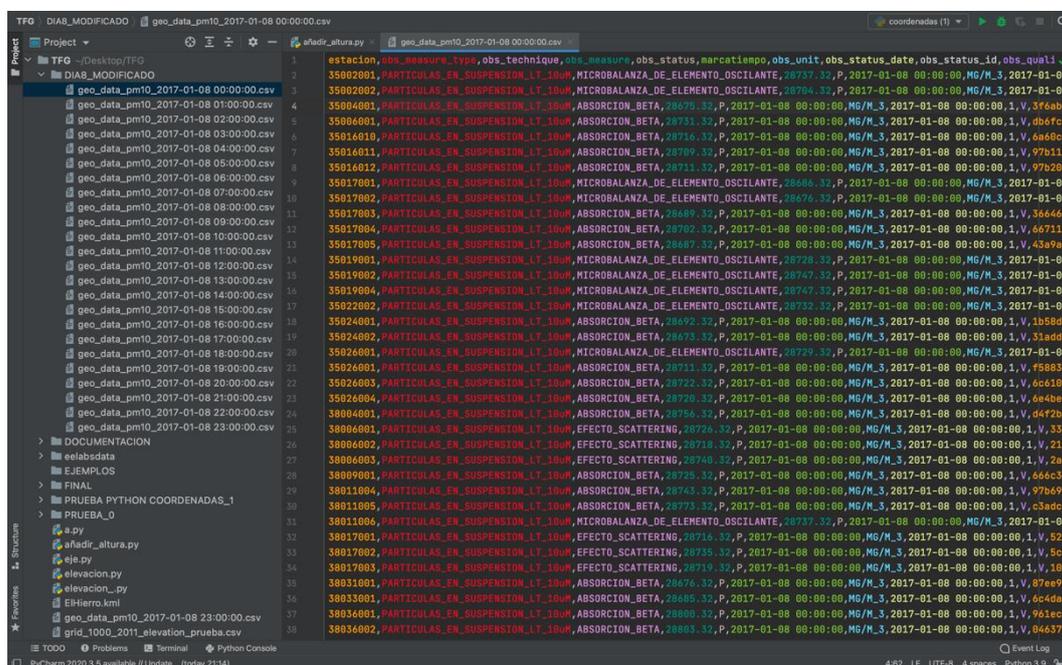
## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.



```
1 import pandas as pd
2
3 data = pd.read_csv('/Users/josuesantaganalvan/Desktop/TFG/DIAB_MODIFICADO/geo_data_pm10_2017-01-08 00:00:00.csv',
4                  header=0)
5
6
7 data.mag += (8*3580.29)
8
9
10 data.to_csv('/Users/josuesantaganalvan/Desktop/TFG/DIAB_MODIFICADO/geo_data_pm10_2017-01-08 00:00:00.csv',
11            index=False, sep=',')
12
13 print(data)
```

Fig. 66. Script de Python en el IDE Pycharm

En la Figura 67 se muestra el conjunto de datos modificados en formato CSV. Ofrece gran variedad de información como: el identificador de la estación, la unidad de medida, fecha, ubicación de la medida, medida del contaminante en  $\text{miligramo}/\text{m}^3$ , entre otros.



estacion	obs_measure_type	obs_technique	obs_measure	obs_status	marcaciempo	obs_unit	obs_status_date	obs_status_id	obs_qual
35002001	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	MICROBALANZA_DE_ELEMENTO_OSCILANTE	28737.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08	1	V
35002002	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	MICROBALANZA_DE_ELEMENTO_OSCILANTE	28704.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08	1	V
35004001	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	ABSORCION_BETA	28675.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08 00:00:00	1	V
35004001	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	ABSORCION_BETA	28751.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08 00:00:00	1	V
35016010	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	ABSORCION_BETA	28716.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08 00:00:00	1	V
35016011	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	ABSORCION_BETA	28709.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08 00:00:00	1	V
35016012	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	ABSORCION_BETA	28711.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08 00:00:00	1	V
35017001	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	MICROBALANZA_DE_ELEMENTO_OSCILANTE	28686.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08	1	V
35017002	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	MICROBALANZA_DE_ELEMENTO_OSCILANTE	28676.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08	1	V
35017003	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	ABSORCION_BETA	28689.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08 00:00:00	1	V
35017004	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	ABSORCION_BETA	28692.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08 00:00:00	1	V
35017005	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	ABSORCION_BETA	28687.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08 00:00:00	1	V
35019001	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	MICROBALANZA_DE_ELEMENTO_OSCILANTE	28728.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08	1	V
35019002	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	MICROBALANZA_DE_ELEMENTO_OSCILANTE	28747.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08	1	V
35022002	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	MICROBALANZA_DE_ELEMENTO_OSCILANTE	28732.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08	1	V
35024001	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	ABSORCION_BETA	28692.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08 00:00:00	1	V
35024002	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	ABSORCION_BETA	28673.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08 00:00:00	1	V
35026001	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	MICROBALANZA_DE_ELEMENTO_OSCILANTE	28729.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08	1	V
35026001	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	ABSORCION_BETA	28711.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08 00:00:00	1	V
35026003	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	ABSORCION_BETA	28722.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08 00:00:00	1	V
35026004	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	ABSORCION_BETA	28720.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08 00:00:00	1	V
38004001	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	ABSORCION_BETA	28709.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08 00:00:00	1	V
38004001	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	EFFECTO_SCATTERING	28726.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08 00:00:00	1	V
38004002	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	EFFECTO_SCATTERING	28719.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08 00:00:00	1	V
38004003	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	EFFECTO_SCATTERING	28740.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08 00:00:00	1	V
38009001	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	ABSORCION_BETA	28725.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08 00:00:00	1	V
38011004	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	ABSORCION_BETA	28743.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08 00:00:00	1	V
38011005	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	ABSORCION_BETA	28773.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08 00:00:00	1	V
38011006	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	MICROBALANZA_DE_ELEMENTO_OSCILANTE	28737.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08	1	V
38017001	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	EFFECTO_SCATTERING	28716.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08 00:00:00	1	V
38017002	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	EFFECTO_SCATTERING	28735.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08 00:00:00	1	V
38017003	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	EFFECTO_SCATTERING	28719.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08 00:00:00	1	V
38031001	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	ABSORCION_BETA	28676.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08 00:00:00	1	V
38033001	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	ABSORCION_BETA	28685.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08 00:00:00	1	V
38034001	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	ABSORCION_BETA	28800.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08 00:00:00	1	V
38034002	PARTICULAS_EN_SUSPENSION_LT_10uM	ABSORCION_BETA	28803.32	P	2017-01-08 00:00:00	Mg/M <sup>3</sup>	2017-01-08 00:00:00	1	V

Fig. 67. Escalado de los datos "obs\_measure" de la muestra tomada a las 12am

Una vez escalado los datos de una única medida se representan en Paraview. Se aplican los mismos filtros que los utilizados en la sección 3.6.3.1.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

Como se observa en la Figura 68, se ha conseguido una correcta representación del contaminante debido a que se sitúa por encima de la superficie de las islas. Por lo tanto, se consigue distinguir ambos conjuntos de datos, el contaminante y la orografía de las islas.

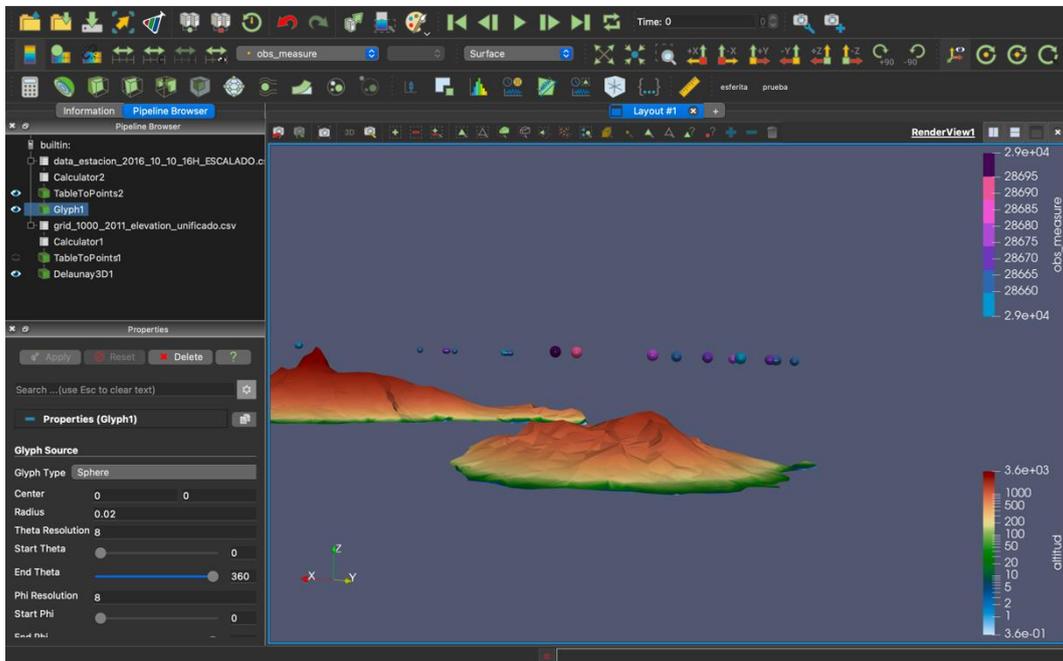


Fig. 68. Escalado de los datos “obs\_measure” de la medida tomada a las 12am

### 3.6.3.3. Animación del conjunto de datos de contaminación del aire

La representación de datos de contaminación atmosférica proporciona una gran cantidad de información visual, sobre las condiciones en la que se encuentra un punto concreto del territorio de Canarias. Sin embargo, ampliamos aún más la cantidad de información si los datos son también representados en la dimensión temporal.

Gracias a los datos proporcionados por el Instituto Canario de Estadística, se puede representar un periodo temporal de la contaminación atmosférica debido a que se dispone de mayor cantidad de datos en la dimensión temporal que en la espacial. El objetivo de esta sección es conseguir una animación con las 23 medidas restantes de contaminación del aire (calima), realizadas durante el día 8 de enero de 2017 desde las 1am hasta las 23pm. Para realizar dicha animación, previamente se han seguido los siguientes pasos:

- ❖ En primer lugar, se ha realizado el escalado del resto de medidas, desde la toma realizada a la 1am hasta la 23pm, utilizando el script desarrollado en la sección 3.6.3.2.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

- ❖ En segundo lugar, se han importado todos los archivos CSV escalados a *Paraview*. A cada uno se ha aplicado el filtro “*Calculator*”, y se ha calculado una nueva matriz denominada “*Result*” cuyo resultado es la matriz “*obs\_measure*”. Se ha realizado dicho procedimiento porque no se puede utilizar una misma matriz en dos filtros o ajustes de propiedades. De este modo tenemos los mismos valores de contaminación del aire en dos matrices distintas.
- ❖ En el siguiente paso, se ha aplicado el filtro “*TableToPoint*” y se ha especificado las columnas en la tabla de entrada para usar como coordenadas X, Y y Z para los puntos de salida. A la coordenada X se le ha asignado la matriz “*lon2*”, a la coordenada Y la matriz “*lat2*” y la coordenada Z la matriz calculada en el paso anterior, “*Result*”.
- ❖ Luego, se ha utilizado el filtro “*Glyph*” que permite a partir del conjunto de datos generados en el paso anterior, convertirlo en cualquier forma como: flecha, cono, cilindro, esfera o glyph 2D. En este caso se ha optado por la forma esférica y se ha configurado sus propiedades del mismo modo que en la sección 3.6.3.1. Posteriormente, se ha establecido el mapa de color a la matriz “*obs\_measure*”. De esta forma permite interpretar de forma intuitiva el grado de contaminación de acuerdo con la franja de color correspondiente.

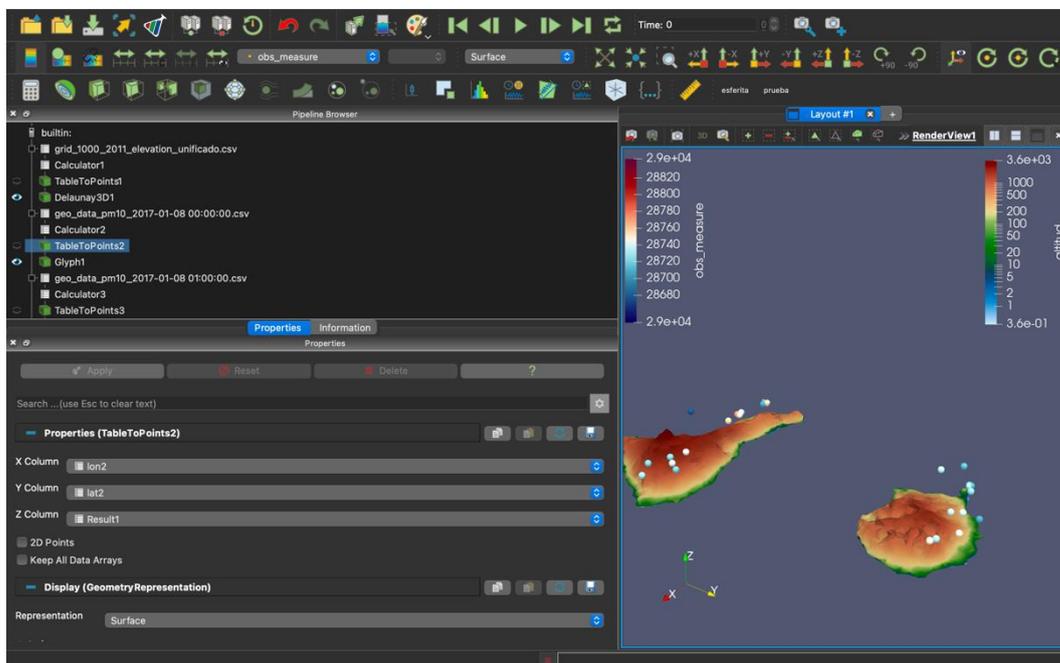


Fig. 69. Importación a Paraview de todas las medidas

Una vez aplicado todos los filtros, se ha accedido a la vista “*Animation*”. Dicha vista se habilita en la pestaña “*View*”. Esta herramienta permite crear animaciones grabando una serie de fotografías. En

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

cada fotograma, se establecen valores para las propiedades de los lectores, fuentes y filtros que componen la canalización de la visualización, así como la posición y orientación de la cámara.

La interfaz de usuario de dicha vista es similar a las aplicaciones populares de animación y edición de fotogramas con la capacidad de crear pistas para animar múltiples parámetros. Como se muestra en la Figura 70, sobre la vista "Animation" se encuentran diferentes controles como: el modo, el tiempo actual de la animación, el tiempo de inicio y final de la pista, y la duración total de la animación. Con respecto al modo, *Paraview* admite tres modos para reproducir animaciones.

- En el modo "Sequence", la animación se reproduce como una secuencia de imágenes (o fotogramas) generadas una tras otra y renderizadas en sucesión inmediata.
- El modo "Snap To TimeSteps", este modo de animación es utilizado para animaciones predeterminadas de *Paraview*: reproducir los valores de tiempo en un conjunto de datos uno tras otro. Sin embargo, el uso de este modo no dará como resultado ninguna animación cuando los datos importados no varían en el tiempo.
- El modo "Real Time", destaca por especificar previamente la duración total de la animación. Una vez asignado el valor, se añaden los fotogramas que se desean insertar en dicha pista.

Por otro lado, a lo largo del lado izquierdo de la vista, hay una lista expandible donde se encontrarán los nombres de las pistas de animación, es decir los objetos o fuentes de datos para animar.

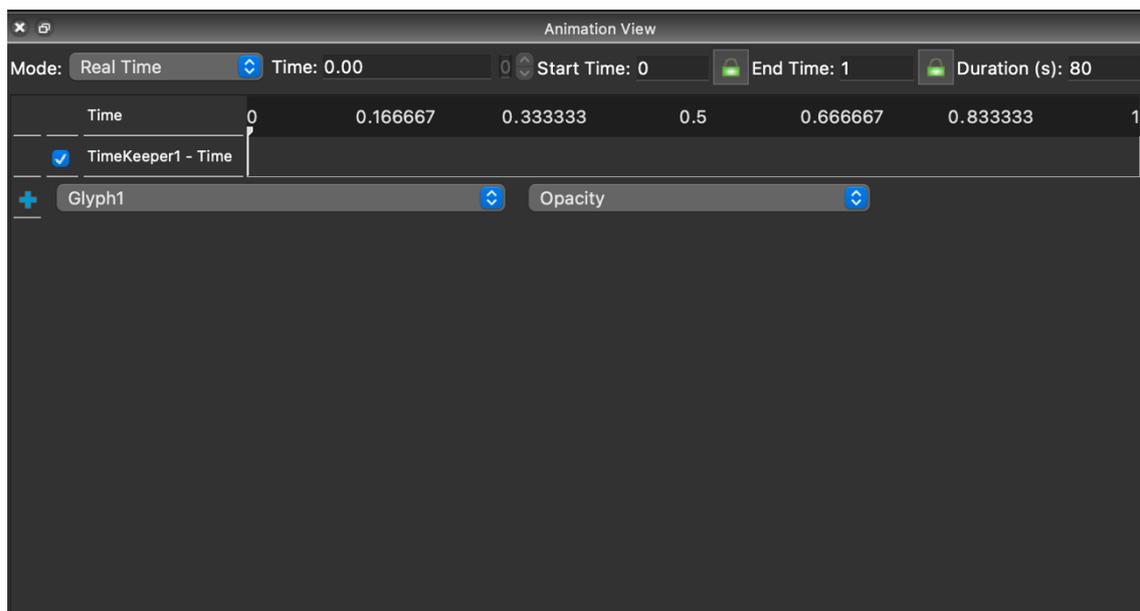


Fig. 70. Ventana de Animación

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

La animación se creará en el modo *“Real Time”*, debido a que el tratamiento de este tipo de datos es conveniente utilizar unidades en segundos en lugar de frames.

Para crear la primera pista se utilizan los dos desplegados situados en la parte inferior de la vista, se elige la fuente de datos, en este caso *“Glyph1”*, el último filtro aplicado a la primera muestra. Seguidamente, se le asigna una propiedad particular a la fuente, en este caso concreto la propiedad *“opacity”*. Dicha propiedad permite añadirle una animación de fundido a la fuente de datos seleccionada anteriormente.

Posteriormente, para crear una pista de animación con las propiedades configuradas, se hace click sobre la opción *“+”*, en el lado izquierdo de la vista. Una vez creada la pista, se hace doble click sobre ella, y se abrirá un cuadro de diálogo. Desde el cuadro de diálogo, se muestran tres propiedades fundamentales para crear la animación de los datos.

- Time. Permite establecer el tiempo de inicio y final de la animación de la muestra.
- Interpolation. Permite establecer el tipo de interpolación a la propiedad durante el periodo de tiempo establecido. Puede ser interpolación de tipo rampa, exponencial, sinusoidal o escalonada.
- Value. Permite establecer el valor inicial y final que debe adquirir la propiedad.

La configuración de la primera muestra ha sido la siguiente:

El tiempo de animación comienza en el segundo 0 y termina en el segundo 3. La interpolación que se le ha aplicado a la propiedad *“opacity”* es de tipo rampa. De este modo la transición se realizará de manera lineal. Y los valores establecidos han sido *“1”* (totalmente opaca la esfera) al inicio de la animación, y *“0”* (esfera totalmente transparente) al finalizar la animación. En esta primera animación, se mostrará al inicio la fuente de datos con forma esférica totalmente opaca, y desaparecerá poco a poco hasta alcanzar los 3 segundos.

Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.



Fig. 71. Transición de opacidad

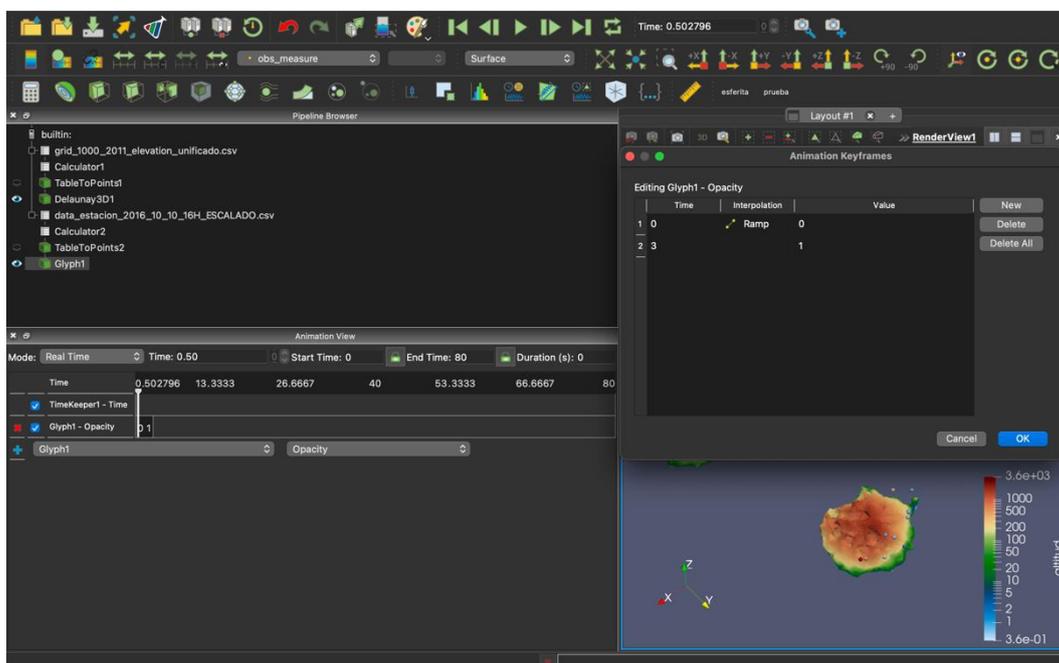


Fig. 72. Configuración de la animación de la primera muestra

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

Para insertar el siguiente conjunto de datos a la animación, en concreto la muestra tomada a la 1am, se realizan los mismos pasos que para la muestra anterior. En el momento de crear la pista, se elige la siguiente fuente de datos, “*Glyph2*”, y se emplea la misma propiedad particular “*Opacity*”. Una vez creada la pista, de deberán disponer de tres fotogramas para definir de forma progresiva la aparición y desaparición de la fuente de los datos. Para añadir el nuevo fotograma se hace click sobre “*New*”.

La configuración de la segunda muestra es la siguiente:

Se establecen tres etapas, la primera corresponde con las esferas totalmente ocultas, la segunda etapa se muestran totalmente las esferas y en la tercera etapa las esferas se ocultan de nuevo. De este modo se consigue una transición lineal de aparición y desaparición de los datos. Los tiempos en cada etapa son de 2 segundos, cuyos comienzos se solapan con la anterior animación de la fuente de datos. De esta forma, realizando el mismo procedimiento para el resto de las fuentes de datos se genera una transición continua de la contaminación del aire.

Finalmente, para visualizar el resultado final basta con presionar el icono de “*play*” situado en la barra de herramientas. De este modo se aprecian los cambios de contaminación del aire (calima) en los diferentes puntos de la geografía de Canarias producidos durante el día 8 de enero de 2017.

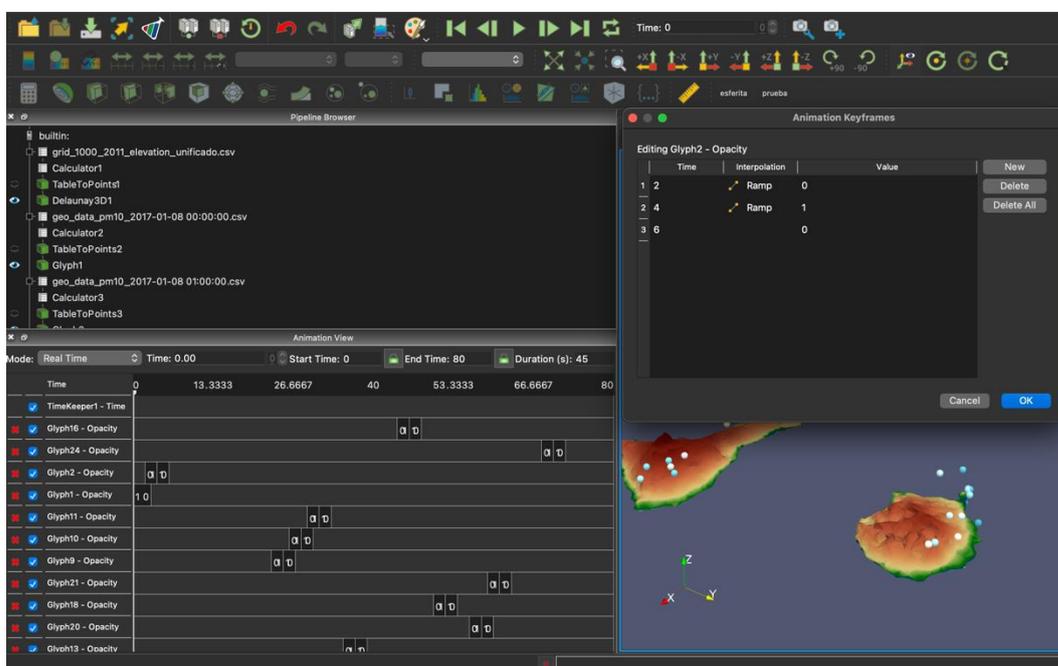


Fig. 73. Configuración de la animación de la segunda muestra

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

### 3.6.3.4. Tratamiento de los datos de contaminación lumínica

La contaminación lumínica es otro objeto de estudio. Aunque se dispone de una menor cantidad de datos con respecto a los de contaminación de aire, es necesario su representación debido a que ofrecen gran cantidad información para el estudio del cielo de Canarias.

Los datos de contaminación lumínica han sido extraídos a partir de 13 sensores distribuidos entre las islas de Tenerife, Gran Canaria y La Palma. Los valores de contaminación están expresados en unidades de magnitudes por segundo de arco al cuadrado ( $mag/(arcsec)^2$ ) medidos cada 15 minutos durante la noche del 7 al 8 de junio de 2021, desde las 9:30pm hasta las 6:30am.

Para procesar los datos ofrecidos por IAC se ha utilizado la herramienta *Google Colaboratory* para obtener correctamente los valores de contaminación. Se ha empleado previamente el script desarrollado en la sección 3.6.2.1. para transformar los valores geográficos de “lat” y “lon”, en los valores “lon2” y “lat2” respectivamente. A continuación, se ha generado un archivo zip con todos los archivos que corresponde con cada medida. Para su mejor identificación, se le ha asignado como nombre la fecha en la se ha tomado la medida.

```
uploaded4 = files.upload()
filename4 = next(iter(uploaded4))

#fichero de datos

df_data = pd.read_csv(filename4).dropna()
df_data.head()
```

Seleccionar archivos ningún archivo seleccionado Upload widget is only available when the cell has been executed in the current browser session. Please rerun this cell to enable.

Saving data\_eelabs\_lat\_lon.csv to data\_eelabs\_lat\_lon.csv

Unnamed: 0	time	mag	Latitude	Longitude	Elevation	Place	lon2	lat2
0	LPL1_011 07-06-21 21:30	14.166333	28.303155	-16.491819	2206.0	Pista Anocheza	8374023.943	13079741.91
1	LPL1_011 07-06-21 21:45	17.138667	28.303155	-16.491819	2206.0	Pista Anocheza	8374023.943	13079741.91
2	LPL1_011 07-06-21 22:00	18.467667	28.303155	-16.491819	2206.0	Pista Anocheza	8374023.943	13079741.91
3	LPL1_011 07-06-21 22:15	18.598667	28.303155	-16.491819	2206.0	Pista Anocheza	8374023.943	13079741.91
4	LPL1_011 07-06-21 22:30	18.686333	28.303155	-16.491819	2206.0	Pista Anocheza	8374023.943	13079741.91

```
[ ]
df_gr = df_data.groupby(df_data.time)

dates = df_data['time'].unique()
print(len(dates))

37

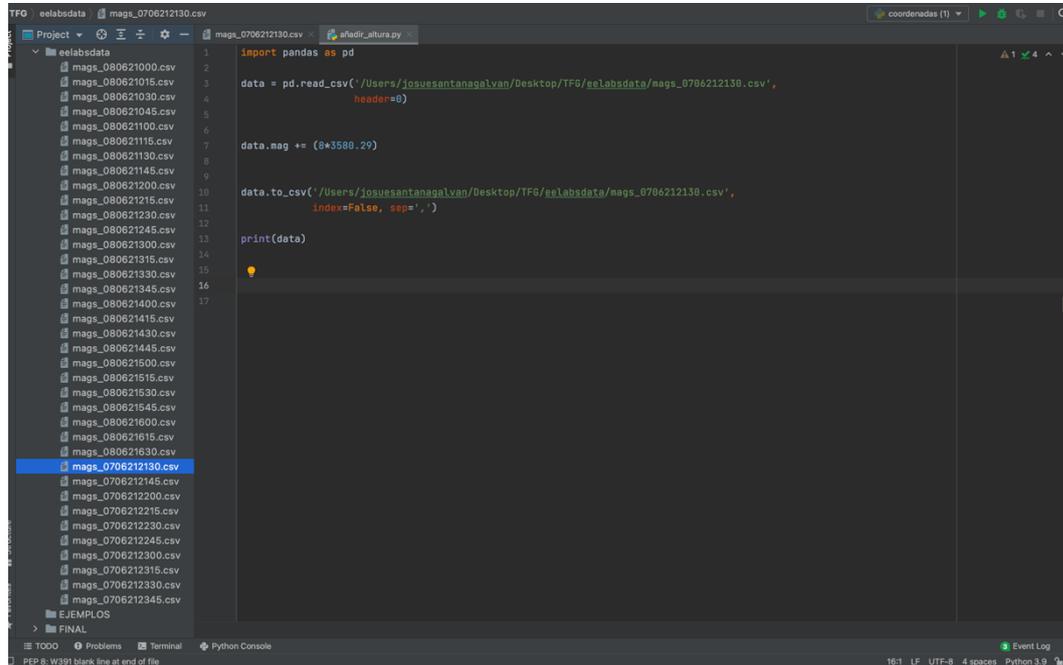
for x in dates:
    dfx = df_gr.get_group(x)
    x=str(x).replace(":", "").replace(" ", "").replace("-", "")
    print(x)
    fnx = "eelabsdata/mags_{}.csv".format(x)
    dfx.to_csv(fnx)

!zip -r eelabsdata.zip eelabsdata
files.download("eelabsdata.zip")
```

Fig. 74. Tratamiento de datos de contaminación lumínica

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

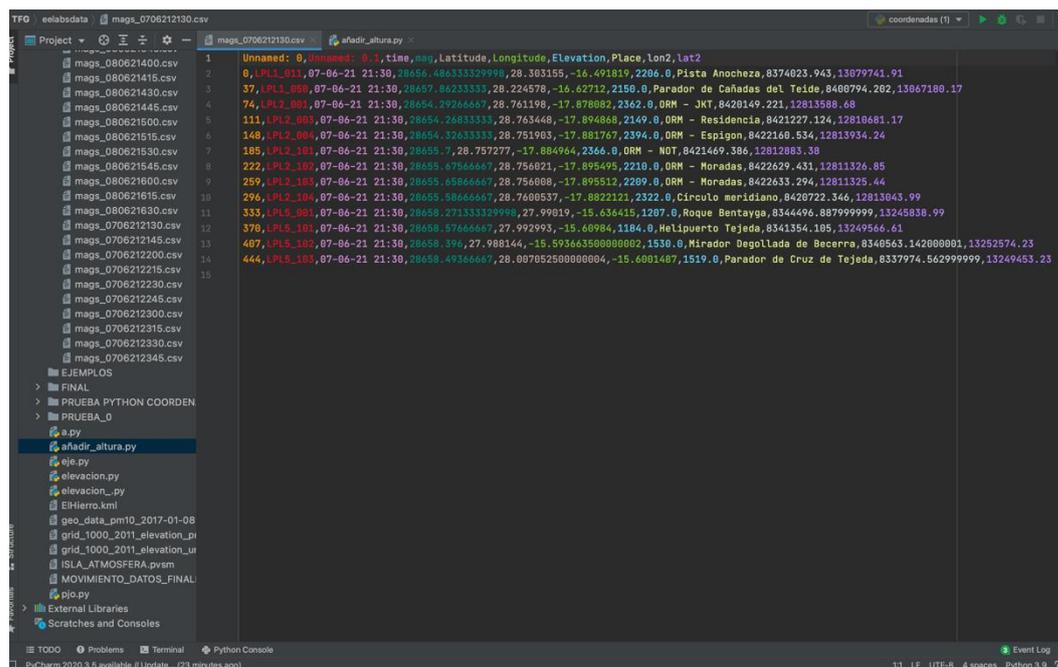
Posteriormente, han sido escalados todos los valores de contaminación lumínica del mismo modo que se realizó con los datos de contaminación del aire. De este modo, se consigue una correcta visualización en Paraview.



```
1 import pandas as pd
2
3 data = pd.read_csv('/Users/josuesantaganalvan/Desktop/TFG/geolabsdata/mags_0706212130.csv',
4                 headers=0)
5
6 data.mag += (8*3580.29)
7
8 data.to_csv('/Users/josuesantaganalvan/Desktop/TFG/geolabsdata/mags_0706212130.csv',
9           index=False, sep=',')
10
11 print(data)
```

Fig. 75. Tratamiento de datos de contaminación lumínica

En la siguiente figura se muestra el contenido del archivo modificado, que además de ofrecer los valores de contaminación (mag), también se muestra la ubicación de cada estación de medida.



```
1 Unnamed: 0,Unnamed: 0,time,mag,Longitude,Longitude,Elevation,Place,lon2,lat2
2 0,LPL1_011,07-06-21 21:30,28656.48633329998,28.303155,-16.491819,2286.0,Pista Anocheza,8374023.943,13079741.91
3 37,LPL1_056,07-06-21 21:30,28657.86233333,28.224578,-16.62712,2158.0,Parador de Cañadas del Teide,8408794.262,13667180.17
4 74,LPL2_001,07-06-21 21:30,28654.29266667,28.761198,-17.878082,2362.0,ORM - JKT,8420149.221,12813588.68
5 111,LPL2_003,07-06-21 21:30,28654.26833333,28.763448,-17.894868,2149.0,ORM - Residencia,8421227.124,12816681.17
6 148,LPL2_004,07-06-21 21:30,28654.32633333,28.751903,-17.881767,2394.0,ORM - Espigón,8422160.534,12813934.24
7 185,LPL2_101,07-06-21 21:30,28656.7,28.757277,-17.884964,2366.0,ORM - NOT,8421469.386,12812883.38
8 222,LPL2_102,07-06-21 21:30,28656.67566667,28.756021,-17.895495,2210.0,ORM - Moradas,8422629.431,12811326.86
9 259,LPL2_103,07-06-21 21:30,28656.65866667,28.756888,-17.895512,2289.0,ORM - Moradas,8422633.294,12811326.44
10 296,LPL2_104,07-06-21 21:30,28656.88666667,28.760857,-17.892212,2322.0,Circulo marítimo,8420722.346,12813043.99
11 333,LPL5_001,07-06-21 21:30,28659.271333339999,27.99019,-15.434445,1287.0,Roque Bentayeg,8344496.887999999,13245838.99
12 370,LPL5_101,07-06-21 21:30,28659.57666667,27.992991,-15.469884,1184.0,Halluerto Tejada,8341354.105,13249846.61
13 407,LPL5_102,07-06-21 21:30,28659.396,27.988144,-15.593635808080802,1530.0,Mirador Degollada de Becerra,8340563.142080801,13252574.23
14 444,LPL5_103,07-06-21 21:30,28658.49366667,28.007852508080804,-15.6801407,1519.0,Parador de Cruz de Tejada,8337974.562999999,13249453.23
```

Fig. 76. Escalado de los datos "mag" de la muestra tomada a las 9:30pm

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

### 3.6.3.5. Animación del conjunto de datos de contaminación lumínica.

Al igual que en la sección 3.6.3.3, el objetivo de este apartado es conseguir una animación con el resto de las medidas de contaminación lumínica, realizadas durante la noche del 7 al 8 de junio de 2021. El procedimiento realizado es exactamente igual a la sección 3.6.3.3.

Se ha creado un nuevo proyecto en *Paraview* para crear la nueva animación. Se ha importado los datos geográficos que representan la orografía de las islas y todas las medidas de contaminación lumínica escaladas. Seguidamente se ha realizado los mismos pasos que en la sección 3.6.3.3, se han aplicado los mismos filtros para cada conjunto de datos, y la configuración de las propiedades han sido semejante excepto las siguientes propiedades:

- La matriz “*mag*” es el dato de contaminación.
- El parámetro “*radio*” del filtro “*Glyph*” ha sido modificado a un valor más pequeño, para poder identificar mejor aquellos datos que se encuentran muy cercanos entre sí. De esta forma no se solapan entre ellos.
- Se ha establecido un mapa de escala de grises a la matriz “*mag*”. De esta forma permite distinguir entre los valores de mayor contaminación (blanco-grises claros) y los de menor contaminación (grises oscuros-negro).
- Se ha ampliado la duración de la pista de animación, debido que este estudio cuenta con un mayor número de muestras. En total 36 medidas, a diferencia de las 24 obtenidas en el estudio de la contaminación del aire.

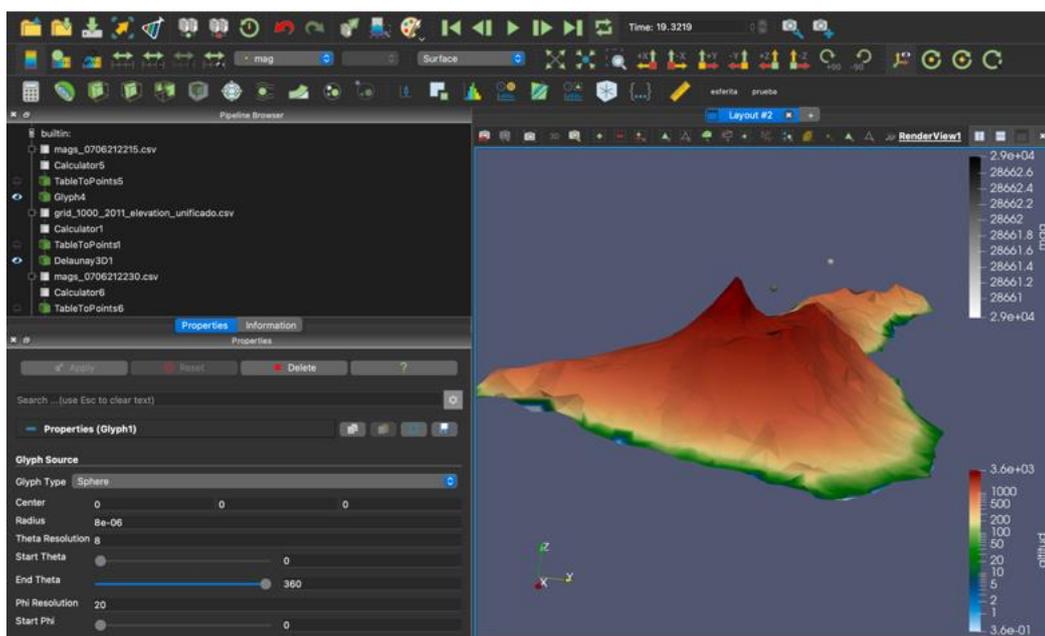


Fig. 77. Configuración de las propiedades del filtro Glyph

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

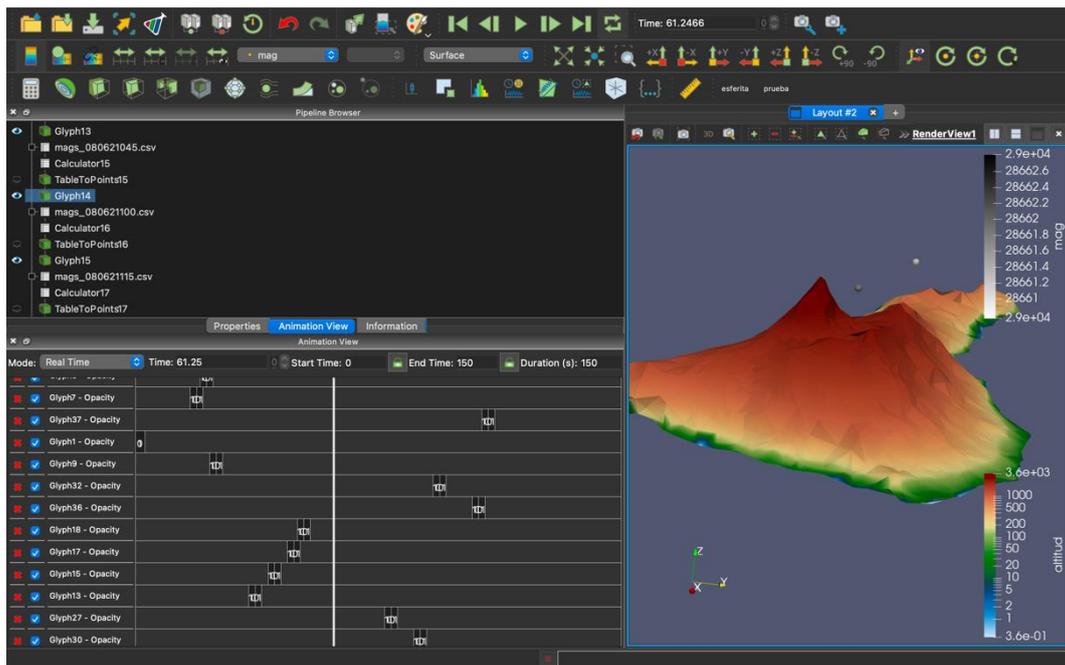


Fig. 78. Ventana de animación de los datos de contaminación lumínica

## 4. Resultados

### 4.1. Visualización de datos en Looking Glass

La tecnología holográfica se caracteriza por jugar con la perspectiva y los efectos ópticos producidos por la luz, con el objetivo de generar imágenes tridimensionales para el ojo humano. Para conseguir esta experiencia con los datos generados a partir de *Paraview* se requiere de un dispositivo que permita representar dicho contenido en realidad holográfica, los displays holográficos [21].

#### 4.1.1. Looking Glass

Looking Glass Factory<sup>11</sup> se trata de la compañía que lanzó el primer kit de desarrollo de pantalla holográfica de escritorio del mundo; en 2019, comenzó a exportar la primera pantalla de campo de luz 8K del mundo; y en 2020, lanzó Looking Glass Portrait, una pantalla holográfica personal [38]. La compañía neoyorquina lleva desarrollando este tipo de pantallas desde hace años.

<sup>11</sup> <https://lookingglassfactory.com>

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

Hasta el momento han ofrecido modelos de 8,9 pulgadas y de 15,6 pulgadas. No obstante, el salto más grande lo han dado con la nueva pantalla de 32 pulgadas. Aseguran que es la pantalla holográfica más grande del mercado y la de mayor resolución que existe.

### 4.1.2. Funcionamiento

La idea fundamental de estas pantallas holográficas es conseguir visualizar elementos en tres dimensiones sin necesidad de unas gafas especiales, cascos de realidad aumentada o dispositivos similares. Para conseguir la visualización tridimensional, se utiliza la técnica holográfica y una tecnología propia de la compañía denominada “*campo luz de 45 elementos*”. Con esta última técnica se consigue un total de 45 perspectivas distintas del objeto a mostrar en tres dimensiones a color, a 60 fps y las proyecta a la vez en la pantalla para crear el efecto 3D.



Fig. 79. Modelos de Looking Glass



Fig. 80. Características de la pantalla holográfica

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

Por otro lado, Looking Glass soporta diferentes softwares como: HoloPlay Core SDK, HoloPlay Unity Plugin for the Looking Glass, Blender Add-On, HoloPlay Plugin for Unreal Engine y VTK. Este último software destaca por su integración en Paraview. Por lo tanto, garantiza la representación de los datos en las pantallas holográficas de Looking Glass.

### 4.1.3. Configuración de Looking Glass

El Instituto Universitario de Investigaciones Biomédicas y Sanitarias (iUIBS) es el centro de investigación de La Universidad de Las Palmas de Gran Canaria en área biomédica, hospitalaria y sociosanitaria [32]. En él se concentran diferentes grupos de investigación, entre ellos el grupo de investigación universitario que ha colaborado con el proyecto de fin de título aportando sus dispositivos holográficos de Looking Glass.

Tras conseguir una correcta visualización de los datos en *Paraview*, el siguiente paso es visualizarlo a través de la pantalla holográfica. Para la visualización de los datos se ha requerido de un ordenador, en concreto el personal, un Macbook Pro de 13", que cuenta con las siguientes características:

- Procesador: 2,3 GHz Intel Core i5 de doble núcleo
- Memoria RAM: 8Gb memoria RAM 2133 MHz LPDDR3
- Gráfica: Intel Iris Plus Graphics 640 1536 MB



*Fig. 81. MacBook Pro 13" 2017*

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.



Fig. 82. Cable USB-C y HDMI para el conexionado entre el ordenador y la pantalla holográfica

Tras el conexionado y configuración del dispositivo holográfico y el ordenador, se ha importado los datos geográficos y de contaminación atmosférica a *Paraview*. Para ello, se ha accedido a la opción de herramientas, se ha seleccionado la opción “*Administrar Plugins*” y se ha ejecutado el plugin “*LookingGlass*”.

Finalmente, para visualizar los datos en la pantalla holográfica se ha hecho click sobre la opción “*Render Active View on Looking Glass*”. Cabe destacar, que a través de las opciones situadas en el lado derecho “*Near Clipping Limit*” y “*Far Clipping Limit*”, se puede ajustar el campo de visión del conjunto de datos que se están observando en la pantalla holográfica.

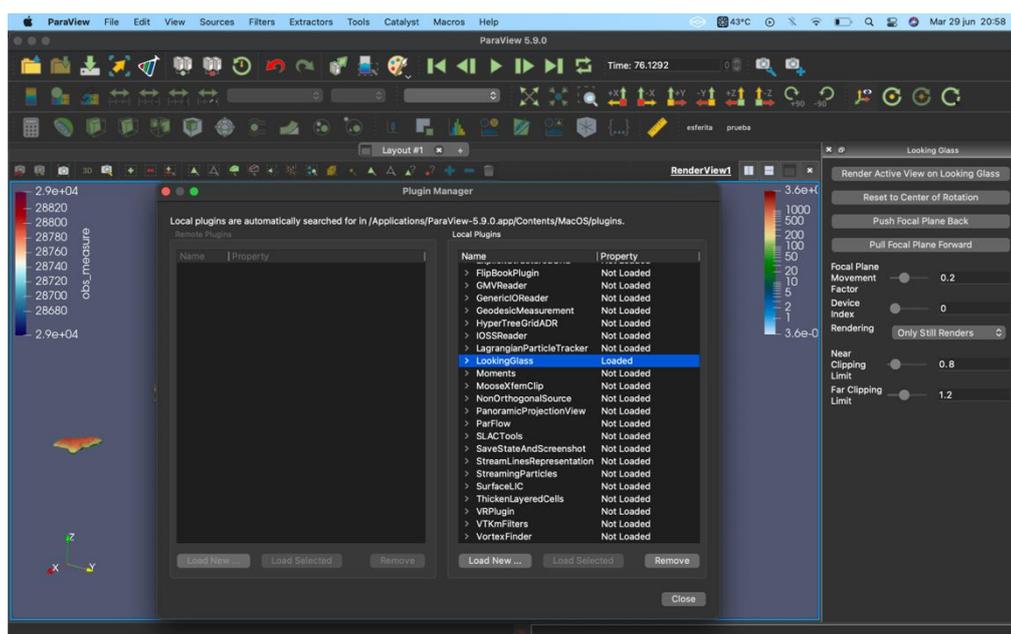
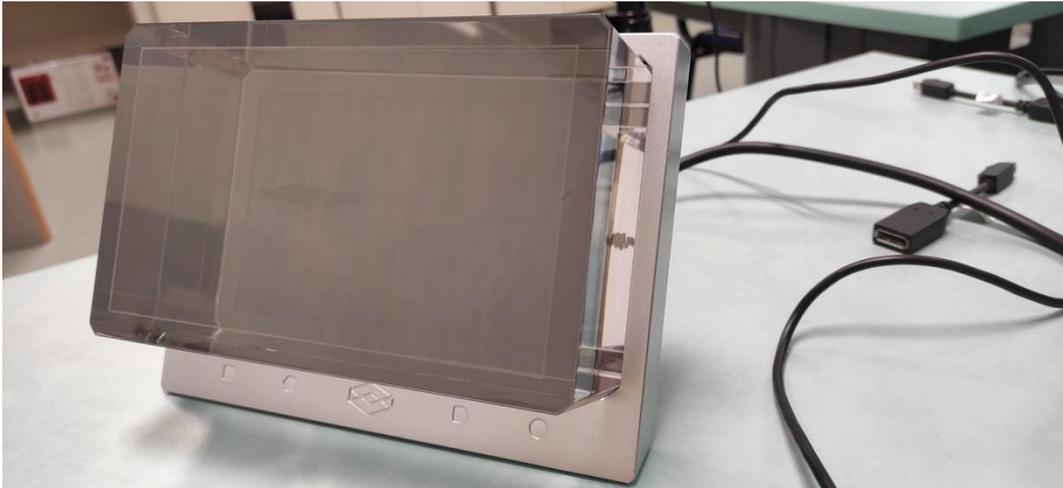


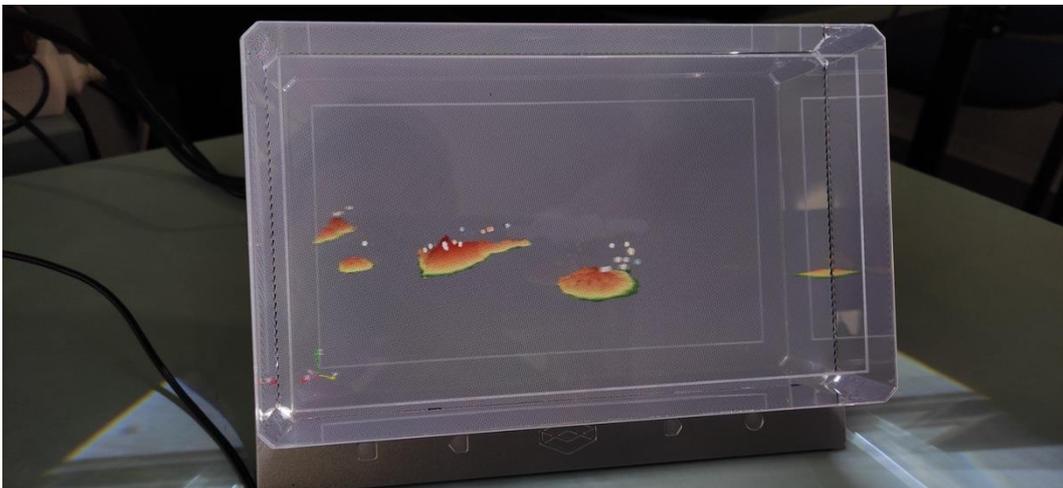
Fig. 83. Activación del plugin Looking Glass en Paraview

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

Como se muestra en la Figura 85, se consigue una correcta visualización de los datos en la pantalla holográfica. Sin embargo, la tecnología presenta alguna limitación como el ángulo de visión, si se observa la pantalla desde los extremos se pierde cierta información o se distorsiona la imagen. En términos generales, se trata de un dispositivo indicado para visualizar el contenido de frente, sin variar demasiado el punto de vista. De todos modos, se consigue una correcta inmersión y permite transmitir la sensación de tridimensionalidad que se deseaba.



*Fig. 84. Looking Glass de 8,9''*



*Fig. 85. Visualización de los datos en Looking Glass*

No obstante, a pesar de obtener un muy buen resultado en la imagen, la animación no se reproduce de forma fluida en el panel holográfico. Existe cierto retardo en la transición entre una muestra y otra de contaminación atmosférica. Este problema se debe principalmente al procesador del ordenador y de la tarjeta gráfica debido a que no permite procesar los datos de forma fluida.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

Como solución se ha optado por utilizar unos de los equipos que dispone el iIUBS, debido a que cuenta con ordenadores de mayores prestaciones, con procesadores y tarjeta gráficas más potentes. Como resultado, la visualización de los datos ha mejorado y la animación se reproduce de forma más fluida que en el caso anterior. No obstante, si se desea rotar, trasladar o ampliar los datos desde *Paraview*, existe un retardo de pocos segundos para visualizar la nueva perspectiva en la pantalla holográfica. No se encuentra respuesta acerca de este bajo procesamiento, a pesar de estar utilizando la tarjeta gráfica NVIDIA, una de las mejores.

### 4.2. Visualización de los datos en Realidad Virtual

La visualización es el puente entre la información cuantitativa de los datos y la intuición y comprensión humana. La visualización tradicional, a una pantalla plana cuyas dimensiones se encuentran limitadas, está relacionado con la restricción de la visualización del contenido audiovisual [33].

Aquí es donde entra en juego la realidad virtual. Esta tecnología hace mucho más que simplemente añadir una dimensión adicional. Se diferencia del resto por tratarse de una tecnología que te sumerge por completo en un entorno virtual. Es decir, permite recrear una experiencia sensorial completa dentro de un ambiente artificial sin ver nada de lo que hay en el exterior.

Cuando la información se presenta en un espacio 3D se puede navegar fácilmente, además de codificar y comprender varias dimensiones de datos mediante el uso de colores, formas, transparencias, animaciones, etc. La exhibición de datos en la tercera dimensión y la situación de un usuario en una simulación 3D permite procesar la información más rápido y retenerla por más tiempo. La característica inmersiva de la realidad virtual, combinada con la presentación de la información, permite al usuario incrementar la cantidad de datos a interpretar.

En esta sección se plantea esta herramienta para visualizar los datos de *Paraview*, con el objetivo de llevar el proyecto a otro entorno de visualización y comprobar su eficacia en la comprensión y recopilación de información del conjunto de datos.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

### 4.2.1. Vive Pro

La compañía HTC incorpora el apartado hardware del producto HTC Vive Pro y presume de ser el sistema de realidad virtual más avanzado. Se trata de la apuesta más interesante de todas las soluciones de realidad virtual del mercado. Dicho dispositivo permite tener una experiencia virtual en la que el movimiento de las manos pasan a ser otro ingrediente de la experiencia mejorando notablemente la sensación de inmersión. Dicho dispositivo proporcionado por el iIUBS será el responsable de visualizar los datos en realidad virtual.

### 4.2.2. Características y configuración

Este es el hardware incluido en el pack de HTC Vive Pro:

- Gafas equipadas con 32 sensores para registrar movimientos de 360 grados.
- Resolución de 2880x1600 píxeles (combinados) y tasa de refresco de 90 Hz.
- Ángulo de visión de 110 grados.
- Dos mandos con control háptico HD y gatillos, equipados con 24 sensores de movimiento cada uno.
- 2 estaciones base con tecnología láser Lighthouse.
- Auriculares con Sonido 3D.



Fig. 86. Hardware de HTC Vive Pro. [34].

La utilización de este dispositivo requiere de espacio, debido a que es necesario la instalación de las dos estaciones base que deben colocarse en esquinas opuestas a una distancia máxima de 3 metros de alto. De esta forma cubre la sala en donde se realiza el experimento. Se debe tener en cuenta que la sala tiene que estar despejada, para andar por ella. Cada estación base posee su propio cable de alimentación, y al estar en alto hay que idear una forma para esconderlo.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

Para la instalación de los cascos VR con el ordenador de sobremesa proporcionado por el iIUBS se han realizado el siguiente conexionado.

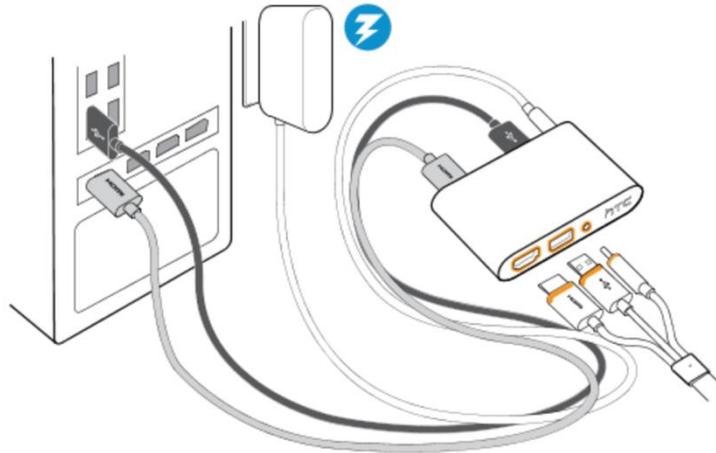


Fig. 87. Conexionado entre el ordenador y las gafas VR. [34].

Posteriormente se han instalado las estaciones base, que se han situado en las esquinas opuestas del espacio de juego, en diagonal. En este caso en concreto, se ha utilizado dos trípodes como soporte para las estaciones. Luego, se ha ajustado las estaciones base de manera que los paneles frontales apunten hacia el centro del área de juego. Seguidamente, se han colocado los cables de alimentación en las estaciones base y se han enchufado cada una en la toma de corriente para encenderlas. Finalmente, se han conectado las estaciones base y se han establecido los canales [34].

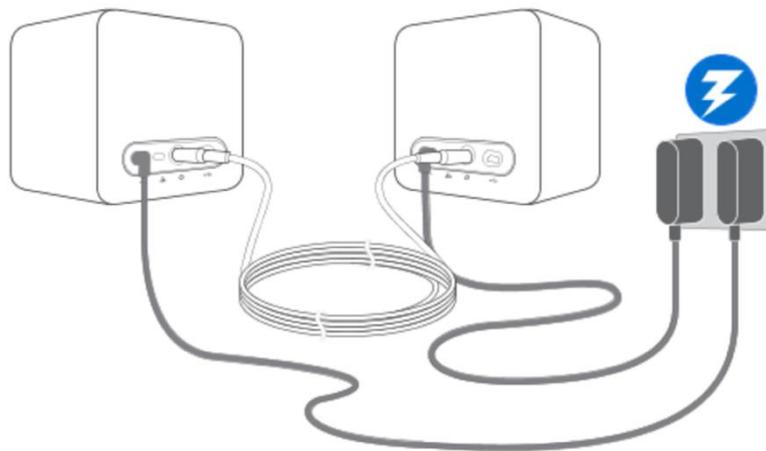


Fig. 88. Conexionado de las estaciones base. [34].

Una vez realizada la instalación, se ha ejecutado *Paraview* y se han importado los datos geográficos y de calidad del aire.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

Para poder visualizar el contenido en las gafas de realidad virtual se ha accedido al plugin “OpenVr” de Paraview. Para usarlo se debe primero cargar desde la opción de menú, Herramientas -> Administrar Plugins. Seguidamente se selecciona “OpenVr” y se carga. Esto permitirá agregar un panel específico de “OpenVr” en la interfaz de usuario. Finalmente, se envía el contenido que se muestra en Paraview a VR pulsando el botón “Enviar a OpenVR” en el panel del plugin OpenVR [35].

Realizado el proceso anterior, se puede visualizar los datos a través de las gafas VR e interactuar con los datos utilizando los dos controladores táctiles. Al apretar el gatillo permitirá agarrar un objeto, sostenerlo o moverlo. Además, si se mantienen presionados ambos botones de pinzamiento al mismo tiempo, permite escalar y extraer valores dependido de la zona seleccionada.



Fig. 89. Manejo de las gafas VR

En términos generales se consigue una inmersión total, ofreciendo la posibilidad de acercarse o observar de forma detallada aquellos datos que son difíciles de apreciar a simple vista. Además, la animación se visualiza de forma fluida, apreciando la transición entre muestra y muestra.



Fig. 90. Visualización de los datos en VR

## 5. Conclusiones y líneas futuras

La visualización de los datos en ambas tecnologías, holografía y realidad virtual ha permitido analizar las ventajas y desventajas que ofrecen una frente a la otra. El uso de estos dos entornos ha supuesto dos experiencias distintas, que podrían orientarse a un tipo de representación de datos u otro, dependiendo de diferentes características como: la sensación de inmersión, la interacción o la percepción con los datos.

A pesar de tratarse la holográfica de un sistema que capta la atención a primera vista por representar los datos en 3D, lo cierto es que no se consigue una experiencia totalmente inmersiva con el contenido que se está visualizando. Sobre todo, si trata de datos que contiene poca densidad de información con respecto a las dimensiones de la pantalla holográfica. Dado que la mayor cantidad de información se concentra en los datos de contaminación atmosférica, su representación es casi inapreciable con respecto a los datos geográficos. Es por ello, que debido al poco volumen que abarca este tipo de datos en la pantalla holográfica, lo hace un sistema poco práctico.

Un mejor aprovechamiento de esta tecnología se puede centrar en otros campos de estudio, como la medicina (modelos anatómicos: cuerpos, órganos, huesos, arterias, entre otros), experiencias turísticas y eventos musicales (personajes célebres), o videollamadas con la llegada de las redes 5G. Todos estos ámbitos tienen un aspecto en común, una mayor cantidad de información.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

Por otro lado, la realidad virtual permite crear un entorno virtual consiguiendo una sensación de estar inmerso en él. En concreto, la visualización de datos a partir de este sistema permite contemplar todo el conjunto de datos sin perder detalle, sobre todo de aquellos datos de menores dimensiones pero que ofrecen gran información para entender la escena, como por ejemplo la contaminación atmosférica. Esta herramienta destaca sobre todo por su capacidad de interacción con los datos, que permite captar mejor la atención y por lo tanto la interpretación de estos.

En conclusión, los objetivos descritos al comienzo del proyecto se han alcanzado con éxito. La representación de datos georreferenciados obtenidos a partir de redes de sensores se ha conseguido gracias al empleo de dos herramientas fundamentales que han permitido la extracción y el procesado de los mismo, la API de *"Google Maps Elevation"* y el lenguaje de programación *Python*.

Por otro lado, la implementación de dichos datos en *Paraview*, ha permitido obtener una representación visual y conseguir una interpretación correcta de los valores geográficos y de contaminación atmosférica.

Por último, se ha conseguido una correcta visualización de los datos georreferenciados en ambas tecnologías, en holografía y realidad virtual. De este modo, se ha logrado con ambas técnicas visualizar e interactuar con los datos de manera diferente, consiguiendo en ambas distintas sensaciones de inmersión.

Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

# *PLIEGO DE CONDICIONES*

## 1. Pliego de condiciones técnicas particulares

### 1.2. Introducción

Las siguientes prescripciones técnicas particulares describen los principales softwares y equipos (hardware) utilizados para la representación de datos georreferenciados en holografía y realidad virtual.

### 1.3. Equipos de visualización

#### Looking Glass 8,9"

Características:

- Dimensiones: 20 x 9,4 x 15,5cm.
- Entada USB-C.
- Entrada HDMI.

#### HTC Vive Pro

Equipo: HTC Vive Pro o similar.

Características:

- Gafas equipadas con 32 sensores para registrar movimientos de 360 grados.
- Resolución de 2880x1600 píxeles (combinados) y tasa de refresco de 90Hz.
- Ángulo de visión de 110 grados.
- Dos mandos de control háptico HD y gatillos, equipados con 24 sensores de movimiento cada uno.
- 2 estaciones bases con tecnología láser Lighthouse.
- Auriculares con sonido 3D.
- Mini DisplayPort o Link Box (caja de conexiones).
- Adaptador de alimentación para las estaciones base y otra para la caja de conexiones.
- Adaptador de corriente para cargar la batería de los mandos de control hápticos.
- 1 cable USB 3.0 -micro USB.
- 2 cables USB 3. 0-USB 3.0.
- 1 cable display port a mini-display port.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

### Ordenador de sobremesa

Equipo: Dell Inspiron o similar

Características:

- Procesador: AMD Ryzen 7 2700X 8-Core, 3,7GHz
- Memoria RAM: 16 GB DDR4 SDRAM
- Disco duro: 1TB +256GB almacenamiento en estado sólido
- GPU: AMD Radon RX 580 o en su defecto NVIDIA GeForce GTX 1060
- Sistema operativo: Windows 10, 64-bits
- Peso: 12,02Kg
- Dimensiones: 508x305x76 mm
- Monitor marca DELL o similar 24"
- Resolución de la pantalla: 1920x1080 LCD
- 1x DisplayPort, 1x VGA, 1XHDMI, 1XUSB 3.0 upstream (Tipo B), 2X USB 3.0 downstream (Tipo A), 2x USB 2.0 downstream (Tipo A)

### 1.4. Softwares

#### Paraview

Software: Paraview 5.9.1

Características:

- Software capaz de analizar y visualizar grandes volúmenes de datos.

#### HoloPlay Service

Software: HoloPlay Service 1.2.0

Características:

- Software que facilita la comunicación entre el ordenador y cualquier dispositivo de Looking Glass conectado.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

### IDE PyCharm

Software: PyCharm 11.0.9.1 o similar

Características:

- Entorno de desarrollo indicado para el lenguaje de programación Python.

### Google Colaboratory

Características:

- Servicio cloud, basado en los Notebooks de Jupyter, que permite el uso gratuito de las GPUs y TPUs de Google para desarrollar código en Python.

# *PRESUPUESTO*

## 1. Presupuesto del proyecto

Es este capítulo se detalla la estimación monetaria para la realización del proyecto especificado en este documento.

### 1.1. Desglose del presupuesto

El coste aproximado del proyecto redactado se basa en las pautas establecidas por el Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos de Telecomunicación (COITT) [41]. Dichas pautas desglosan el presupuesto en los siguientes apartados:

- Recursos materiales.
- Trabajo tarifado por tiempo empleado.
- Costes asociados a la redacción del documento.
- Derecho del visado del COITT.
- Gastos de tramitación y envío.
- Aplicación de impuestos.

### 1.2. Recursos materiales

De acuerdo con los requisitos establecidos por el COITT, para la estimación económica de un proyecto se encuentran los recursos materiales empleados durante el desarrollo del proyecto, los cuales se subdividen en recursos hardware y software, asociados estos últimos, en algunos casos, al requerimiento de licencias para su uso.

Para estimar el coste de amortización se estipula un periodo de cuatro años, y presuponiendo un sistema de amortización lineal en el que el material inmovilizado se desprecia de forma constante durante el período de tiempo evaluado, se obtiene la siguiente expresión:

$$\text{Coste de amortización} = \frac{\text{Valor de adquisición} - \text{Valor residual}}{\text{Años de vida útil}}$$

*Ecuación 15 Coste de amortización*

De acuerdo con que el presente proyecto tiene una duración de trescientas horas distribuidas de manera aproximada en cuatro meses, siendo este periodo inferior a cuatro años, dicho coste serán los derivados de los cuatro meses en los que se ha desarrollado el proyecto.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

### 1.3. Recursos Software

Las herramientas softwares empleadas para el desarrollo este Trabajo de Fin de Título son las siguientes:

- Paraview
- IDE Pycharm
- Google Colaboratory
- HoloPlay Service
- Paquete de ofimática Microsoft Office 365

En este caso, las cuatro primeras aplicaciones son gratuitas. Sin embargo, para la última aplicación se dispone de licencia para su uso al pertenecer a la comunidad universitaria de la ULPGC, por lo que no conlleva costes de amortización asociado. Por lo tanto, el coste total de los recursos softwares utilizados ha sido de cero euros (0€).

### 1.4. Recursos Hardware

Los recursos hardware utilizados para el desarrollo de proyecto son los siguientes:

- Ordenador de sobremesa DELL Inspiron.
- Looking Glass 8,9"
- HTC Vive Pro
- MacBook Pro 17"

Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

Recurso	Valor de adquisición (€)	Valor residual (*) (€)	Vida útil (años)	Cuota anual (€)	Uso (meses)	Cuota aplicable (€)
MacBook Pro 17" Procesador: 2,3 GHz Intel Core i5 de doble núcleo, Memoria RAM: 8Gb memoria RAM 2133 MHz LPDDR3, Gráfica: Intel Iris Plus, Graphics 640 1536 MB	1200	360	5	168	5	168
Pantalla holográfica 8,9", conector USB-C y adaptador 19V (para la alimentación de la pantalla) y un cable HDMI para conectar el dispositivo con el ordenador	2528,56	758,57	7	252,86	1	252,86
Gafas equipadas con 32 sensores para registrar movimientos de 360 grados. Resolución de 2880x1600 píxeles (combinados) y tasa de refresco de 90Hz. Y ángulo de visión de 110 grados. Dos mandos de control háptico HD y gatillos, equipados con 24 sensores de movimiento cada uno. 2 estaciones bases con tecnología láser Lighthouse. Auriculares con sonido 3D. Mini DisplayPort o Link Box (caja de conexiones). Adaptador de alimentación para las estaciones base y otra para la caja de conexiones. Adaptador de corriente para cargar la batería de los mandos de control hápticos. 1 cable USB 3.0 -micro USB. 2 cables USB 3.0-USB 3.0. 1 cable display port a mini-display port.	1219	365,7	5	170,66	1	170,66
Ordenador de sobremesa DELL. Procesador: AMD Ryzen 7 2700X Eight-Core 3.70GHz. Memoria RAM: 32 GB. Sistema operativo Windows de 64 bits. (Incluye monitor)	1500	450	5	210	1	210
MATERIALES AMORTIZABLES	TOTAL					801,52

Tabla 1 Coste de amortización de los recursos hardware

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

(\*) El valor residual puede ser definido como el valor que tiene un bien al final de su vida útil. En este caso en concreto, terminales electrónicos como la placa holográfica, gafas de realidad virtual, y ordenador se desprecian en una tasa del 30% con respecto a su valor. Según Artículo 34, LISR.

En la tabla anterior se deduce que el coste total de recursos hardware utilizados en el presente proyecto es de ochocientos uno con cincuenta y dos céntimos (801,52 €).

### 1.5. Trabajo tarifado por tiempo empleado

Este término contabiliza los gastos que corresponden a la mano de obra, según el salario correspondiente a la hora de trabajo de un Ingeniero Técnico de Telecomunicación

De acuerdo con la tabla “Clasificación y retribución del personal contratado con cargo a proyectos, programas, convenios y contratos” extraído del boletín oficial de la ULPGC del año 2019, este salario, con una dedicación de 20 horas semanales con la figura de personal técnico, asciende a 711,90€ mensuales. Por lo tanto, se aproxima a una retribución de 8,9€/h. La asignatura de “Trabajo de Fin de Título” según se indica en el proyecto docente ha conllevado 300 horas de dedicación, por lo que se calcula el coste total por tiempo empleado en:

$$\textit{Tarifado por tiempo empleado} = 8,9 * 300 = 2670\text{€}$$

*Ecuación 16 Tarifado por tiempo empleado*

Por lo tanto, el trabajo tarifado por tiempo empleado asciende a la cantidad de dos mil seiscientos setenta euros (2670€).

### 1.6. Redacción del trabajo

Se ha empleado la siguiente ecuación para determinar el coste asociados a la redacción de la memoria del presente TFG.

$$R = 0,07 * P * C_n$$

*Ecuación 17 Honorarios por la redacción del trabajo*

Donde:

- R son los honorarios por la redacción del trabajo.
- P es el presupuesto
- $C_n$  es el coeficiente de ponderación en función del presupuesto.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

El “P” se calcula a partir de la suma entre el trabajo tarifado por tiempo empleado y de la amortización del inmovilizado material, tanto hardware como software.

$$P = 801,52 + 2670 = 3471,52€$$

*Ecuación 18 Presupuesto*

De acuerdo con las pautas definidas por el COITT, el coeficiente de ponderación  $C_n$  para presupuestos menores de 30.050,00€ es un valor de 1. El valor R es el siguiente:

$$R = 0,07 * 3471,52 * 1 = 243,01€$$

*Ecuación 19 Cálculo por la redacción del trabajo*

Ascendiendo de esta forma el coste de redacción del trabajo a doscientos cuarenta y tres con un céntimo (243,01€).

### 1.7. Material fungible

No se han contemplado ningún gasto por edición de documentos ni por material de oficina. Por lo tanto, el coste en material fungible es de cero euros (0 €).

### 1.8. Derechos de visado del COITT

De acuerdo con el COITT, se establece para proyectos técnicos de carácter general, que los derechos de visado para 2016 son calculado en base a la siguiente expresión:

$$V = 0,006 * P_1 * C_1 + 0,003 * P_2 * C_2$$

*Ecuación 20 Derechos de visado del COITT*

Donde:

- V es el coste de visado del trabajo.
- P1 es el presupuesto del proyecto.
- C1 es el coeficiente reductor en función del presupuesto.
- P2 es el presupuesto de ejecución material correspondiente a la obra civil.
- C2 es el coeficiente reductor en función a P2.

Para este caso en concreto,  $P_1$  en la suma de los costes del trabajo tarifado por tiempo empleado, la amortización del inmovilizado material y la redacción del documento. El valor  $C_1$  corresponde con

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

coeficiente 1, debido a que el presupuesto del proyecto es inferior a 30.050,00€. Por último, el valor de  $P_2$  es de 0,00€ debido a que no se realiza ninguna obra.

De este modo, aplicando la expresión anterior, los costes por derechos de visado del presupuesto ascienden a veinte y dos con veinte y nueve euros (22,29€).

$$V = 0,006 * (801,52 + 2670 + 243) * 1 = 22,29€$$

*Ecuación 21 Cálculo de derechos de visado del COITT*

### 1.9. Gastos de tramitación y envío

Los gastos de tramitación y documentos están estimados en seis euros (6€) por cada documento visado de forma telemática.

### 1.10. Aplicación de impuestos y coste total

El presupuesto total del proyecto está gravado por el Impuesto General Indirecto Canario (IGIC), que está establecido en la actualidad en siete por ciento (7%). El coste total de este TFT se encuentra desglosado en la siguiente tabla.

Descripción	Subtotal (€)
Amortización de materiales	801,5
Trabajo tarifado por tiempo empleado	2670,0
Redacción del trabajo	243,0
Costes de material fungible	0,0
Derechos de visado del COITT	22,3
Gastos de tramitación y envío	6,0
Suma	3742,8
IGIC (7%)	262,0
TOTAL	4004,8

*Tabla 2 Costes totales del proyecto*

El presupuesto total del TFT *Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual* asciende a: cuatro mil cuatro con ochenta céntimos (4004,8€)

# *ANEXOS*

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

### 1. Software

Para llevar a cabo la representación de datos georreferenciados se han utilizado un paquete de softwares, como *GRASS GIS*, *Google Earth Pro*, *QGIS* o *Paraview*<sup>12</sup>. Sin embargo, los mejores resultados se han obtenido con este último software. En esta sección se analizarán las funcionalidades, las distintas estructuras que emplea para interpretar los datos y la interfaz gráfica de usuario, que ofrece gran cantidad de opciones para trabajar de forma cómoda con grandes volúmenes de datos.

#### 1.1. Paraview

Paraview es una aplicación de análisis y visualización de datos de código abierto y multiplataforma. Un software utilizado por diferentes comunidades para analizar y visualizar conjuntos de datos científicos. Su finalidad principal consiste en analizar conjunto de datos extremadamente grandes utilizando recursos de computación de memoria distribuida. Su uso no se limita solamente a ordenadores portátiles, también se puede ejecutar en superordenadores para analizar grandes cantidades de datos [12].

Es una aplicación construida sobre las bibliotecas de Visualization Toolkit (VTK)<sup>13</sup> y escrito en diversos lenguajes de programación como: Python, C, C++ y Fortran. Paraview se encuentra bien optimizado para áreas científicas que emplean técnicas como el método de los elementos finitos, volúmenes finitos y conjuntos de puntos, tales que se manejan en el espacio 3D o 2D, pudiendo hacer consideraciones temporales.

*ParaView* puede trabajar para diferentes aplicaciones: el análisis estructural (ingeniería mecánica y automotriz), la dinámica de fluidos (ingeniería aeroespacial y automotriz), para astrofísica, Point Cloud (permite trabajar con fuentes de información LiDAR) y por último el campo que nos interesa estudiar, las ciencias climáticas (ciencias medioambientales, geoespaciales y de la tierra).

El campo de las ciencias de la tierra y el medioambiente está adoptando rápidamente el paradigma de la analítica a gran escala e intensiva en datos para entender los constantes cambios que suceden en nuestro planeta. Los avances en tecnologías de detección, modelado y simulación, almacenamiento de datos, capacidades informáticas y software sofisticado han aumentado el tamaño, la complejidad y la variedad de datos analizados en esta área. *Paraview* fue desarrollado

---

<sup>12</sup> Softwares cuya función se basan en el procesamiento, visualización u obtención de datos geográficos.

<sup>13</sup> <https://vtk.org/Wiki/VTK>

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

para manejar conjuntos de datos extremadamente grandes en computadoras de alto rendimiento y por lo tanto es particularmente útil para la comunidad científica. Por ejemplo, “*el proyecto Ultrascale Visualization and Climate Data Analysis (UV-CDAT) está utilizando ParaView junto con otras herramientas de código abierto para crear una aplicación robusta para analizar y visualizar conjuntos de datos climáticos remotos y locales*” [13].

### 1.1.1. Estructura de datos

El proceso de visualización de datos en *Paraview* se basa en toma de datos sin procesar y convertirlos de manera que sea visible y comprensible para el humano. De esta forma nos permite tener una mejor comprensión cognitiva de los datos. Para una correcta visualización se deben tener en cuenta tres procesos básicos: lectura de los datos, filtrar y renderizar.

Primero, los datos deben leerse desde la propia aplicación. A continuación, se puede aplicar cualquier número de filtros que procesen los datos para generar, extraer o derivar características de los datos. Y finalmente, se renderiza una imagen visible a partir de los datos.

Cabe destacar que *ParaView* fue diseñado principalmente para manejar datos con representación espacial. Por lo tanto, los tipos de datos primarios utilizados en *ParaView* son mallas. A continuación, se muestran las distintas estructuras que trabaja el software para el procesamiento de datos.

#### *Malla rectilínea uniforme*

Una malla rectilínea uniforme es una matriz de datos de una, dos o tres dimensiones. Los puntos son ortonormales entre sí y están espaciados regularmente a lo largo de cada dirección [12].

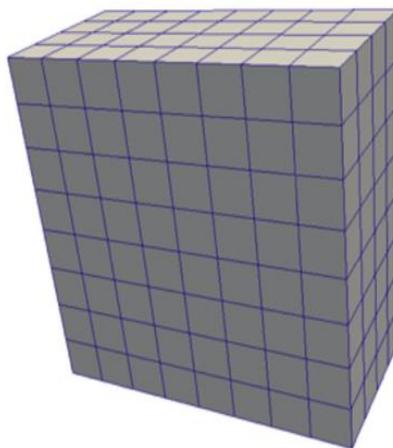


Fig. 91. Ejemplo de cuadrícula uniforme. [12].

### *Malla rectilínea no uniforme*

Se trata de una malla similar a la malla rectilínea y uniforme, excepto que el espaciado entre puntos puede variar a lo largo de cada eje.

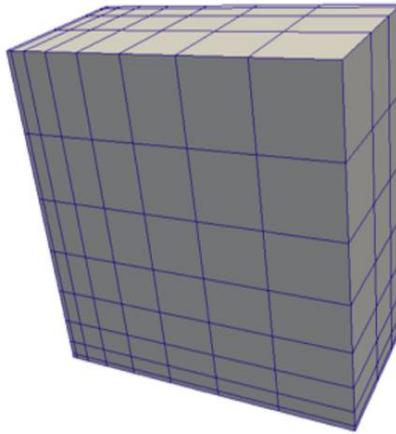


Fig. 92. Ejemplo de cuadrícula no uniforme. [12].

### *Malla curvilínea (malla estructurada)*

Las mallas curvilíneas tienen la misma topología que las cuadrículas rectilíneas. Sin embargo, cada punto de una cuadrícula curvilínea se puede colocar en una coordenada arbitraria. Las rejillas curvilíneas proporcionan la huella de memoria más compacta y la topología implícita de las rejillas rectilíneas, pero también permiten mucha más variación en la forma de la malla [12].

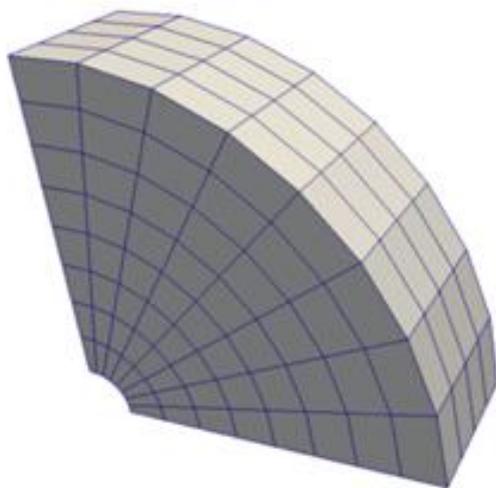
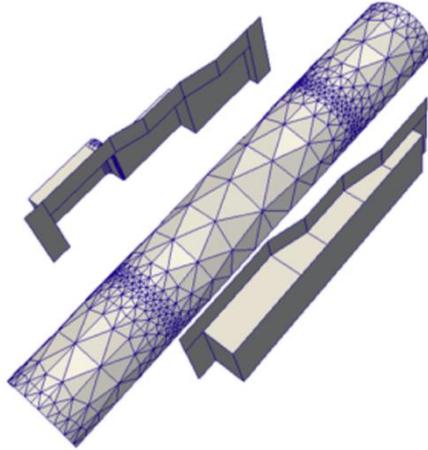


Fig. 93. Ejemplo de cuadrícula curvilínea estructurada. [12].

### *Malla poligonal*

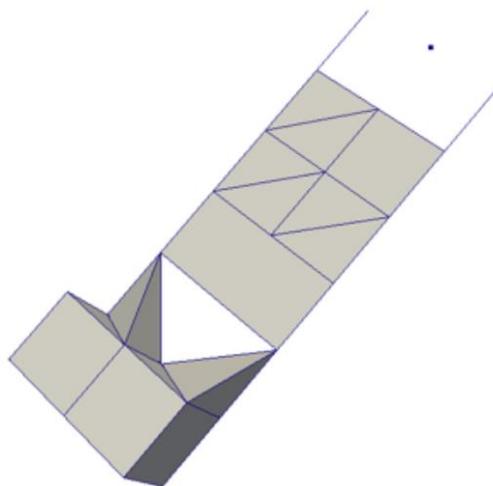
Este tipo de malla se compone de puntos, líneas y polígonos 2D. Las conexiones entre celdas pueden ser arbitrarias o inexistentes. Los datos poligonales representan las primitivas de representación básicas.



*Fig. 94. Ejemplo de cuadrícula poligonal. [12].*

### *Malla no estructurada*

En este caso, los conjuntos de datos no estructurados se componen de puntos, líneas, polígonos 2D, tetraedros 3D y celdas no lineales. Son similares a los datos poligonales excepto que también pueden representar tetraedros 3D y celdas no lineales, que no se pueden renderizar directamente [12].



*Fig. 95. Ejemplo de cuadrícula no estructurada. [12].*

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

### 1.1.2. Entorno de trabajo

La GUI de *Paraview* comprende las siguientes opciones:

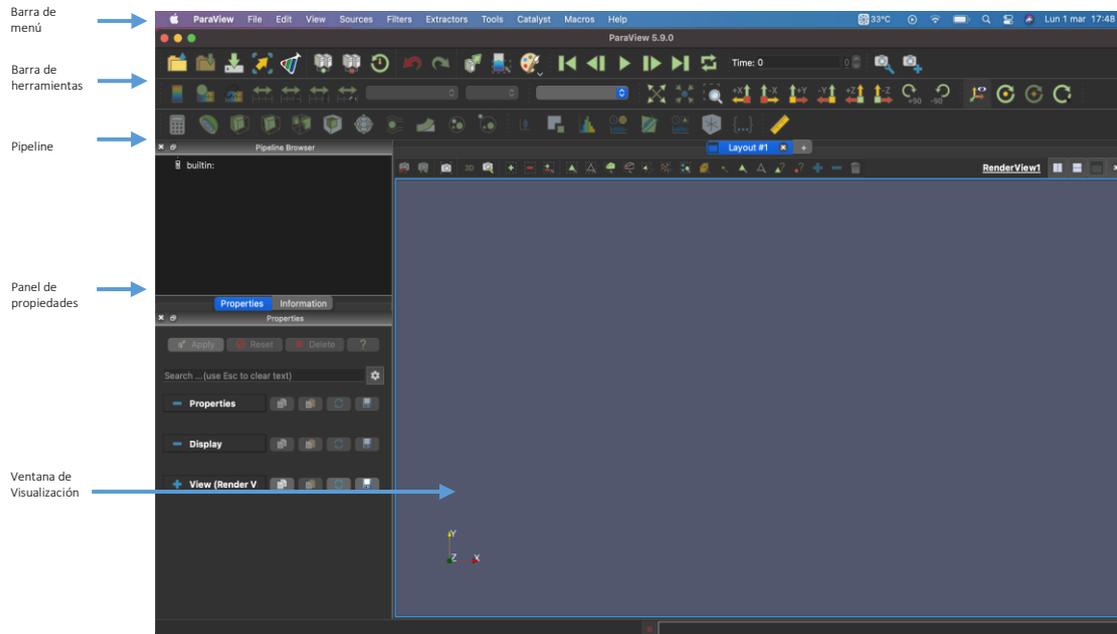


Fig. 96. GUI de Paraview

#### Barra de menú

Permite acceder a la mayoría de las funciones que se encuentran alojadas la barra de herramientas. Algunas de las opciones principales para el manejo del software se sitúan en la pestaña “file”, como por ejemplo la apertura de ficheros o base de datos, o guardar el estado del proyecto.

La pestaña “filters”, una de las propiedades más importantes, que permite visualizar los datos desde diferentes perspectivas. Este acceso rápido permite seleccionar de forma alfabética el filtro apropiado a los datos en estudio.

Por último, una opción a destacar es la “Macro”. Esta permite guardar un archivo script de Python o un proyecto de *Paraview* y ubicarlo en la barra de herramientas. De este modo se obtiene un acceso rápido del proyecto.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

### *Barra de herramientas*

En ella se encuentran las funciones principales para representar los datos [12]. Algunas de las más importantes son las siguientes:

- Reset Session. Permite eliminar todos los cambios realizados en la ventana pipeline, además de la ventana de visualización.
- Edit Color Map. Permite modificar la leyenda de color y sus parámetros.
- Reset. Permite restablecer la ubicación de la cámara.
- Zoom to box. Permite seleccionar los datos que se desean ver más cerca.
- Set view direction to. Permite mostrar los datos en diferentes vistas.
- Rotate 90°. Permite modificar la orientación de los datos.

Por otro lado, se muestran los principales filtros (“*Calculator*”, “*Contour*”, “*Clip*”, “*Slice*”, “*Threshold*”, “*Extract*”, “*Subset*”, “*Glyph*”) que permitirán procesar los datos para generar, extraer o derivar características de los datos.

### *Pipeline*

En dicha ventana se gestiona la lectura y el filtrado de datos. Se proporciona una lista estructurada de todos los filtros aplicados a los datos.

### *Panel de propiedades*

Permite ver y modificar los parámetros del objeto en estudio. Además, permite realizar acciones avanzadas sobre los datos. Por otro lado, cuenta con la pestaña de “*información*” que muestra un resumen básico de los datos tras la aplicación de un filtro.

### *Ventana de visualización*

Permite visualizar los datos, además de interactuar y explorar sus características. En la parte superior cuenta con una serie de herramientas:

- Split horizontal/vertical. Se utiliza para visualizar en dos ventanas distintas los datos en diferentes modos de representación. De este modo, se puede realizar un análisis de los mismos datos, pero de diferente perspectiva.
- Herramientas de selección (“*Select Cells*”, “*Select points on*”). Estas opciones permiten realizar distintos tipos de selección dependiendo de la estructura de los datos.

## Bibliografía

- [1] A. Beléndez, I. Pascual y A. Fimia, “Holografía: Conceptos básicos, Materiales de Registro y Aplicaciones”, Revista Española de Física, Vol. 5, N°3, pp. 40-46, 1991 [En línea]. Disponible en: [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/9208/3/REF\\_v5\\_n2\\_pp40-46\\_1991.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/9208/3/REF_v5_n2_pp40-46_1991.pdf). [Accedido: 5-Feb-2021].
- [2] Miguel A. Pérez, “Hogramas en 3D para estudios médicos”, *Blogthinkbig.com* 2013. [En línea]. Disponible en: <https://blogthinkbig.com/estudios-medicos-con-hogramas-3d> [Accedido: 7-Feb-2021].
- [3] “Holocenter, center for the holographic arts”, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://holocenter.org> . [Accedido: 11-feb-2021].
- [4] Silvia Belletti, Germán Besio, María Eugenia Godino, “Ondas Electromagnéticas” [En línea]. Disponible en: <http://acacia.pntic.mec.es/~jrui27/interf/young.htm> [Accedido: 15-Mar-2021]
- [5] “La naturaleza de la luz”, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://acacia.pntic.mec.es/~jrui27/interf/young.htm> [Accedido: 20-Mar-2021]
- [6] Luciano Angles T, Daniel Velazquez P, “Los principios físicos de la holografía”, Revista Universidad Eafit, 2021. [En línea]. Disponible en <https://repository.eafit.edu.co/xmlui/bitstream/handle/10784/16482/document%20%2856%29.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. [Accedido: 10-Abr-2021]
- [7] Mirta Yuley Porras Lugo, “La holografía digital como una aplicación de los fenómenos de interferencia y difracción, para estudiantes de secundaria y primeros semestres de universidad”, Trabajo Fin de Grado, Universidad Nacional de Colombia, 2014. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/75123/1186770.2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [8] Dr. Ulf Schnars, Prof. Dr. Werner Jueptner, “Digital Holography. Digital Hologram Recording, Numerical Reconstruction, and Related Techniques”, Springer Berlin Heidelberg New York, pp 15-73.

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

[9] Ángel Franco García, “Movimiento ondulatorio”. [En línea]. Disponible en: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/ondas/interfer/difraccion/difraccion.html>. [Accedido: 23-Abr-2021]

[10] Augusto Beléndez Vázquez, “Holografía: Generalidades”, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alicante (1996) [En línea]. Disponible en: [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/11865/1/Holograf%C3%ADa\\_Generalidades.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/11865/1/Holograf%C3%ADa_Generalidades.pdf). [Accedido: 25-Abr-2021]

[11] Borja Somavilla Bolado, “Estudio para la aplicación de la holografía digital a la caracterización de tejidos biológicos”, Trabajo de Fin de Grado, Universidad de Cantabria, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/12191/400844.pdf?sequence=1>. [Accedido: Abr-26-2021]

[12] Kenneth Moreland, “The Paraview Tutorial Version 5.6” [En línea]. Disponible en: <https://www.paraview.org/paraview-downloads/download.php?submit=Download&version=v5.9&type=data&os=Sources&downloadFile=ParaViewTutorial-5.9.1.pdf> [Accedido: 15-Abr-2021]

[13] “Paraview for Climate Science”, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.paraview.org/climate-science/>. [Accedido: 13-Abr-2021]

[14] “Google Earth”, Wikipedia, 2021. [En línea]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Google\\_Earth](https://es.wikipedia.org/wiki/Google_Earth). [Accedido: 23-abr-2021]

[15] “GRASS GIS”, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://grass.osgeo.org/learn/overview/>. [Accedido: 24-abr-2021]

[16] “Qué es un shapefile”, ArcGIS for Desktop, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/shapefiles/what-is-a-shapefile.htm>. [Accedido: 28-abr-2021]

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

[17] Beatriz Ramos López, “¿Qué es GeoPackage y cómo trabajar con dicho formato de datos en GeoServer y SQGIS?”, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.cursosgis.com/que-es-geopackage-y-como-trabajar-con-dicho-formato-de-datos-en-geoserver-y-qgis/>. [Accedido: 2-may-2021]

[18] “¿Qué es KML?”, ArcGIS for Desktop, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/kml/what-is-kml-.htm>. [Accedido: 3-may-2021]

[19] Alejandro Méndez, “Google Earth, gratuito y con numerosas funciones”, Culturavia Magazine, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.culturavia.com/blog/2016/01/13/google-earth-pro-gratuito-funciones/>. [Accedido: 3-may-2021]

[20] “¿Qué es el GIS?”, esri España. [En línea]. Disponible en: <https://www.esri.es/es-es/descubre-los-gis/qu-es-sig/que-es-sig>. [Accedido: 3-may-2021]

[21] “For creators, by creators”. [En línea]. Disponible en: <https://lookingglassfactory.com/about>. [Accedido: 4-may-2021]

[22] Cristian Rus, “Esta pantalla holográfica permite ver en 3D sin necesidad de gafas y una bestial resolución 8K”, Xataka, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.xataka.com/otros-dispositivos/esta-pantalla-holografica-permite-ver-3d-necesidad-gafas-a-bestial-resolucion-8k>. [Accedido: 4-may-2021]

[23] “Future Shock Informe de tendencias sobre tecnología 2020-2022”, GREY, pp. 31-32. [En línea]. Disponible en: [https://www.reasonwhy.es/sites/default/files/informe\\_tendencias\\_tecnologia\\_-\\_2020-2022\\_grey.pdf](https://www.reasonwhy.es/sites/default/files/informe_tendencias_tecnologia_-_2020-2022_grey.pdf). [Accedido: 10-may-2021]

[24] Florencia del Médico, “Guía rápida: ¿cómo obtener la API Key de Google Maps?”, Maplink, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://maplink.global/es/blog/como-obtener-google-maps-api-key/>. [Accedido: 10-may-2021]

[25] Yúbal Fernández, “API: qué es y para qué sirve”, Xataka, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.xataka.com/basics/api-que-sirve>. [Accedido: 11-may-2021]

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

[26] “Qué son las API y para qué sirven”, Red Hat. [En línea]. Disponible en: <https://www.redhat.com/es/topics/api/what-are-application-programming-interfaces>. [Accedido: 11-may-2021]

[27] “Google Colaboratory ¿Qué es, para qué sirve y cómo podemos aprovechar Colab?”, Internet paso a paso. [En línea]. Disponible en: <https://internetpasoapaso.com/google-colaboratory/>. [Accedido: 11-may-2021]

[28] Raúl Estévez, “Librerías Python GIS para manipular y analizar datos espaciales”, geomapik, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://www.geomapik.com/desarrollo-programacion-gis/librerias-python-gis/>. [Accedido: 11-may-2021]

[29] “Sky quality”, IAC. [En línea]. Disponible en: <https://www.iac.es/es/observatorios-de-canarias/calidad-del-cielo>. [Accedido: 20-may-2021]

[30] Arminda Suárez y Francisco Castro, “El cielo de Canarias, un recurso de gran valor didáctico”, ecologistas en acción. [En línea]. Disponible en: <https://www.ecologistasenaccion.org/25186/el-cielo-de-canarias-un-recurso-de-gran-valor-didactico/>. [Accedido: 25-may-2021]

[31] “Pycharm: uno de los mejores IDE para Python”, Escuela de Python Cursos online de Python. [En línea]. Disponible en: <https://www.escuelapython.com/pycharm-uno-de-los-mejores-ide-para-python/>. [Accedido: 2-jun-2021]

[32] “iUIBS”, Instituto Universitario de Investigaciones Biomédicas y Sanitarias. [En línea]. Disponible en: <https://www.iuibs.ulpgc.es/>. [Accedido: 3-jun-2021]

[33] “La Realidad Virtual, una herramienta para entender el Big Data”, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.vectoritcgroup.com/tech-magazine/data-ecosystem/la-realidad-virtual-una-nueva-herramienta-para-entender-el-big-data/>. [Accedido: 10-jun-2021]

[34] “Conectar el casco a su computadora”, VIVE. [En línea]. Disponible en: [https://www.vive.com/mx/support/vive/category\\_howto/connecting-the-headset-to-your-computer.html](https://www.vive.com/mx/support/vive/category_howto/connecting-the-headset-to-your-computer.html). [Accedido: 17-jun-2021]

## Visualización de datos georreferenciados mediante holografía y realidad virtual.

[35] Ken Martin, David DeMarle, Sankhesh Jhaveri y Utkarsh Ayachit, "Taking Paraview into Virtual Reality", Kitware Blog, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://blog.kitware.com/taking-paraview-into-virtual-reality/>. [Accedido: 20-jun-2021]

[36] AristaSur, "Sistema de Coordenadas Geográficas: UTM", 2014. [En línea]. Disponible en: <https://www.aristasur.com/contenido/sistema-de-coordenadas-geograficas-utm>. [Accedido: 7-jul-2021]

[37] Ignacio Alonso Fernández-Coppel, "Localizaciones Geográficas. Las Coordenadas Geográficas y la Proyección UTM", [En línea]. Disponible en: <https://www.cartesia.org/data/apuntes/cartografia/cartografia-geograficas-utm-datum.pdf>. [Accedido: 12-Jul-2021]

[38] "A big and bigger day for holograms", [En línea]. Disponible en: <https://lookingglassfactory.com/about>. [Accedido: 12-jul-2021]

[39] Eduardo Pardos, "Realidad Virtual y medicina: usos y aplicaciones", [En línea]. Disponible en: <https://baboonlab.odoo.com/blog/noticias-de-marketing-inmobiliario-y-tecnologia-1/post/realidad-virtual-y-medicina-usos-y-aplicaciones-27>. [Accedido: 23-jul-2021]

[40] "Realidad Virtual | 10 hitos en la historia de la VR", [En línea]. Disponible en: <https://www.deusens.com/hitos-historia-realidad-virtual/>. [Accedido: 23-jul-2021]

[41] "COIT | Colegio Oficial Ingenieros de Telecomunicación", [En línea]. Disponible: <https://www.coit.es/>. [Accedido: 23-jul-2021].