

CONSTRUCCIÓN DE MAPAS DE EXTERIORES CON UN LIDAR 3D EMBARCADO EN UN ROBOT MÓVIL

Autor: FRANCISCO ANAYA PALACIOS

Tutor: CIPRIANO GALINDO ANDRADES

Cotutor: JAVIER GONZÁLEZ JIMÉNEZ



ESCUELA DE
INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN
2. HERRAMIENTAS UTILIZADAS
 - 2.1. HERRAMIENTAS HARDWARE
 - 2.2. HERRAMIENTAS SOFTWARE
3. IMPLEMENTACIÓN
 - 3.1. GENERACIÓN DE LOS MAPAS
 - 3.2. POST-PROCESAMIENTO
 - 3.3. VISUALIZACIÓN Y COMPARACIÓN
4. UTILIZACIÓN EN LOCALIZACIÓN
5. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS



1. INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo de Fin de Grado se centra en la realización de mapas densos de puntos en exteriores mediante tecnología LIDAR.

Objetivos:

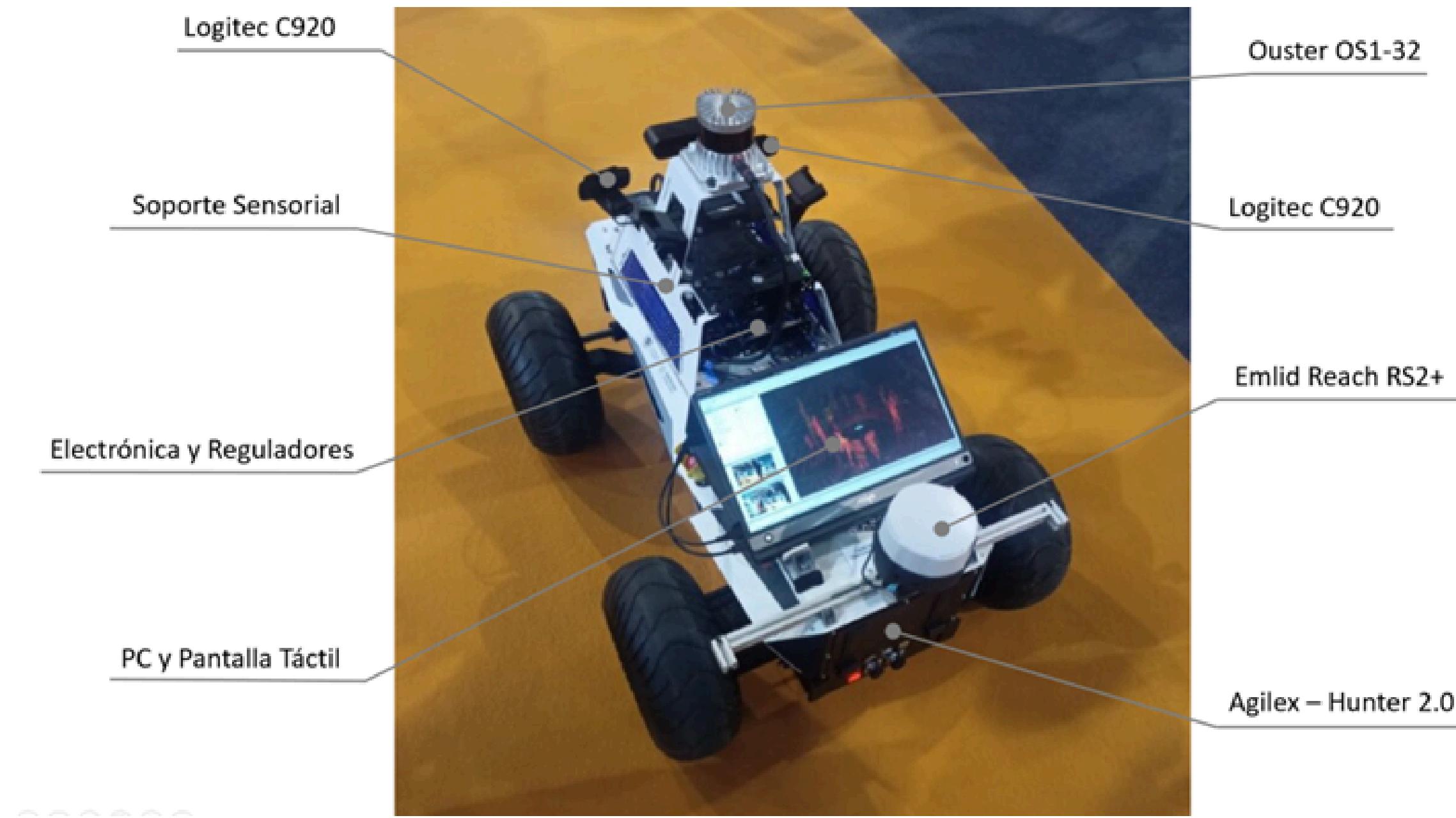
- Construcción de mapas de puntos
- Georreferenciación de los mapas
- Utilización en aplicaciones de localización



2. HERRAMIENTAS UTILIZADAS

2.1. HERRAMIENTAS HARWDARE

Sistema robótico móvil utilizado:





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

2. HERRAMIENTAS UTILIZADAS

2.1. HERRAMIENTAS HARWDARE

Sensores utilizados:



Sensor LiDAR + IMU Ouster OS1-32

Fuente: <https://ouster.com/>



Sensor GPS Emlid Reach RS2

Fuente: <https://emlid.com/reachrs2plus/>

2. HERRAMIENTAS UTILIZADAS

2.2.1. HERRAMIENTAS SOFTWARE: FAST-LIO2

- Odometría LIO y SLAM
 - Posibilidad de funcionamiento online
 - Optimización con estructura de datos IKD-Tree y procesamiento de datos directo

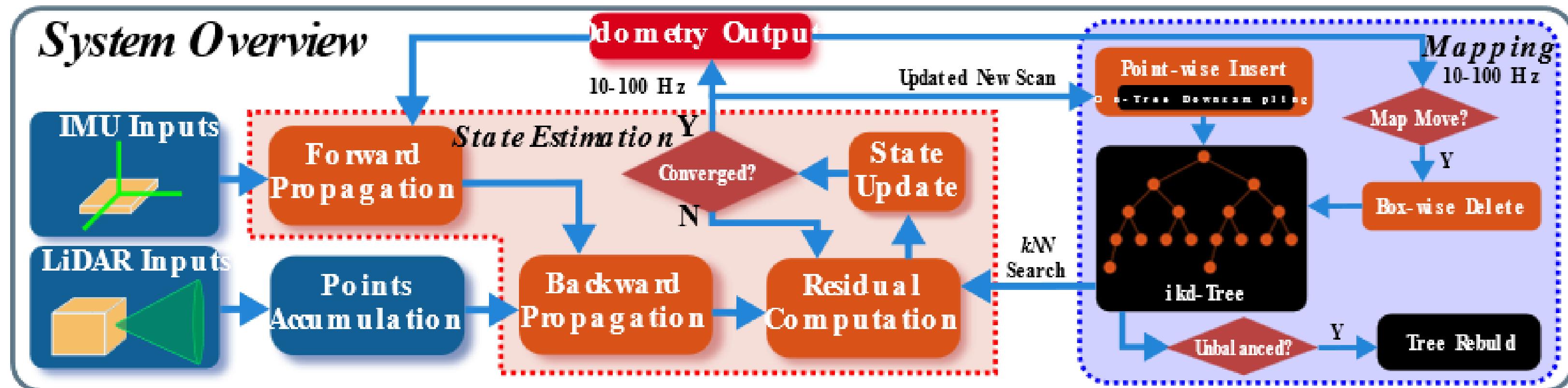


Diagrama de funcionamiento de Fast-LIO2. Fuente: https://github.com/hku-mars/FAST_LIO?tab=readme-ov-file



2. HERRAMIENTAS UTILIZADAS

2.2.1. HERRAMIENTAS SOFTWARE: FAST-LIO2

Configuración:

- Adecuación para Ouster OS1-32
- Modificación del código principal para almacenar los mapas de forma periódica

2.2.2. HERRAMIENTAS SOFTWARE: ARCGIS

- Visualización de datos geoespaciales
- Comparación con modelos de la zona mapeada

3. IMPLEMENTACIÓN

3.1. CREACIÓN DE LOS MAPAS

Durante el desarrollo del proyecto se han realizado 2 mapeados:

- Mapeado 1: Patio exterior.
 - Distancia recorrida 90.80 metros
- Mapeado 2: Edificio completo.
 - Distancia recorrida 959.18 metros



Edificio objeto del mapeado: Facultad de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática.

3. IMPLEMENTACIÓN

3.1. CREACIÓN DE LOS MAPAS

La configuración para la construcción de los mapas con estos archivos bag presenta el siguiente diagrama:

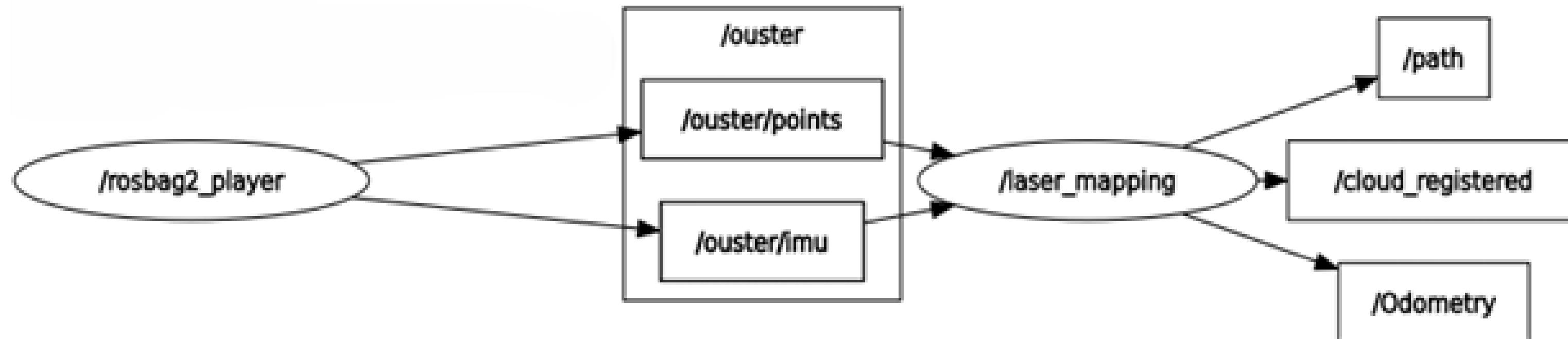


Diagrama de comunicación rqt_graph de FAST-LIO2 durante la reproducción de un archivo bag de ROS2.

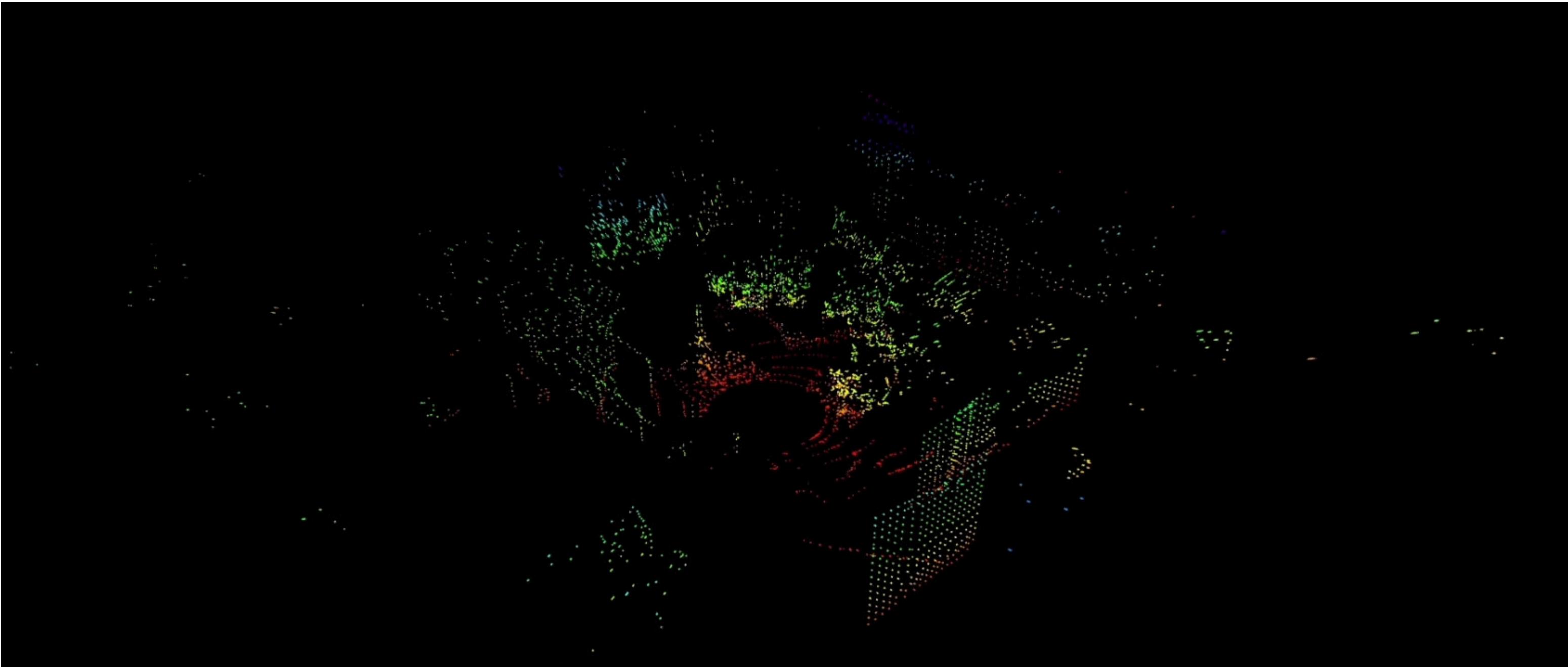


UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

3. IMPLEMENTACIÓN

3.1. CREACIÓN DE LOS MAPAS

Generación del Mapa 1:



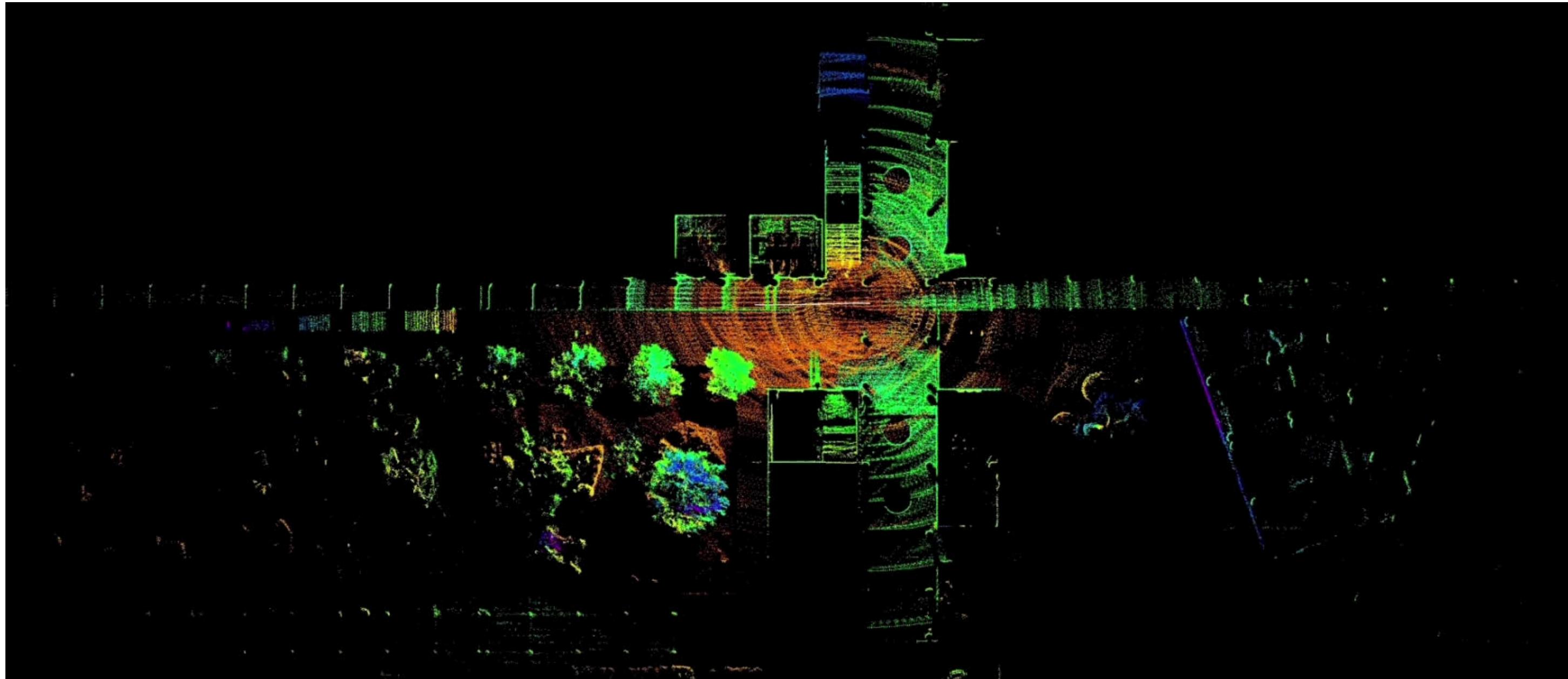


UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

3. IMPLEMENTACIÓN

3.1. CREACIÓN DE LOS MAPAS

Generación del Mapa 2:





3. IMPLEMENTACIÓN

3.2. POST-PROCESAMIENTO

Una vez se han generado los archivos pcd necesarios, se lleva a cabo un post-procesamiento:

- Combinación
- Filtrado
- Voxelización
- Georreferenciación

3.2.1. POST-PROCESAMIENTO: COMBINACIÓN

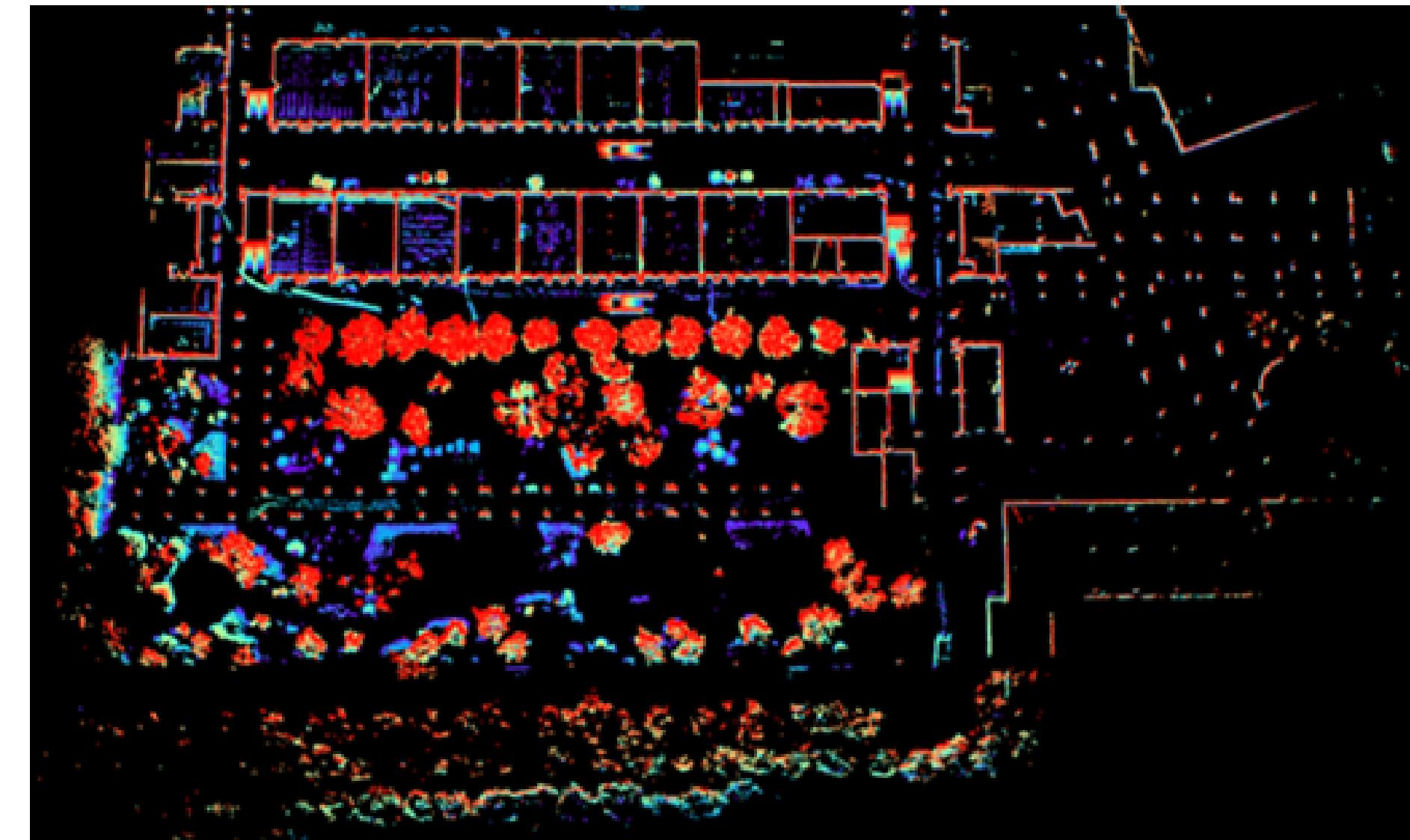
La combinación de los diferentes archivos generados da lugar a mapas de mayores dimensiones.



3. IMPLEMENTACIÓN

3.2.2. POST-PROCESAMIENTO: FILTRADO

Las diferentes técnicas de filtrado se pueden utilizar tanto para eliminar los puntos más alejados del núcleo del mapa como para visualizar cortes a diferentes alturas o seleccionar zonas de interés.



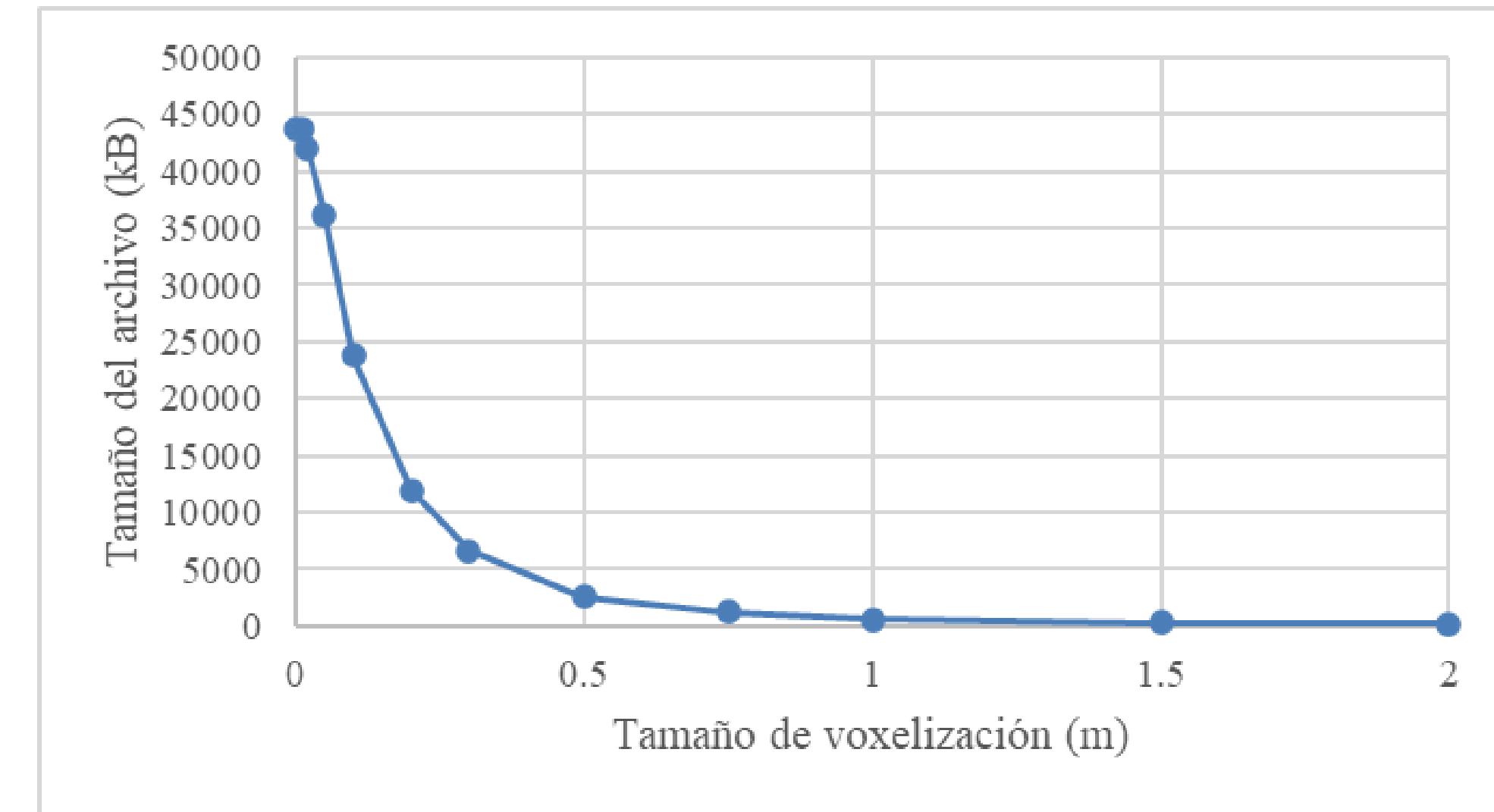
Mapa 2 filtrado para z igual a 2 metros.

3. IMPLEMENTACIÓN

3.2.3. POST-PROCESAMIENTO: VOXELIZACIÓN

La voxelización permite una disminución sustancial del volumen de datos.

Sin embargo, es necesario analizar el tamaño de voxelización para evitar la pérdida de información en exceso.



Tamaño de un archivo pcd en función del tamaño de voxelización aplicado.



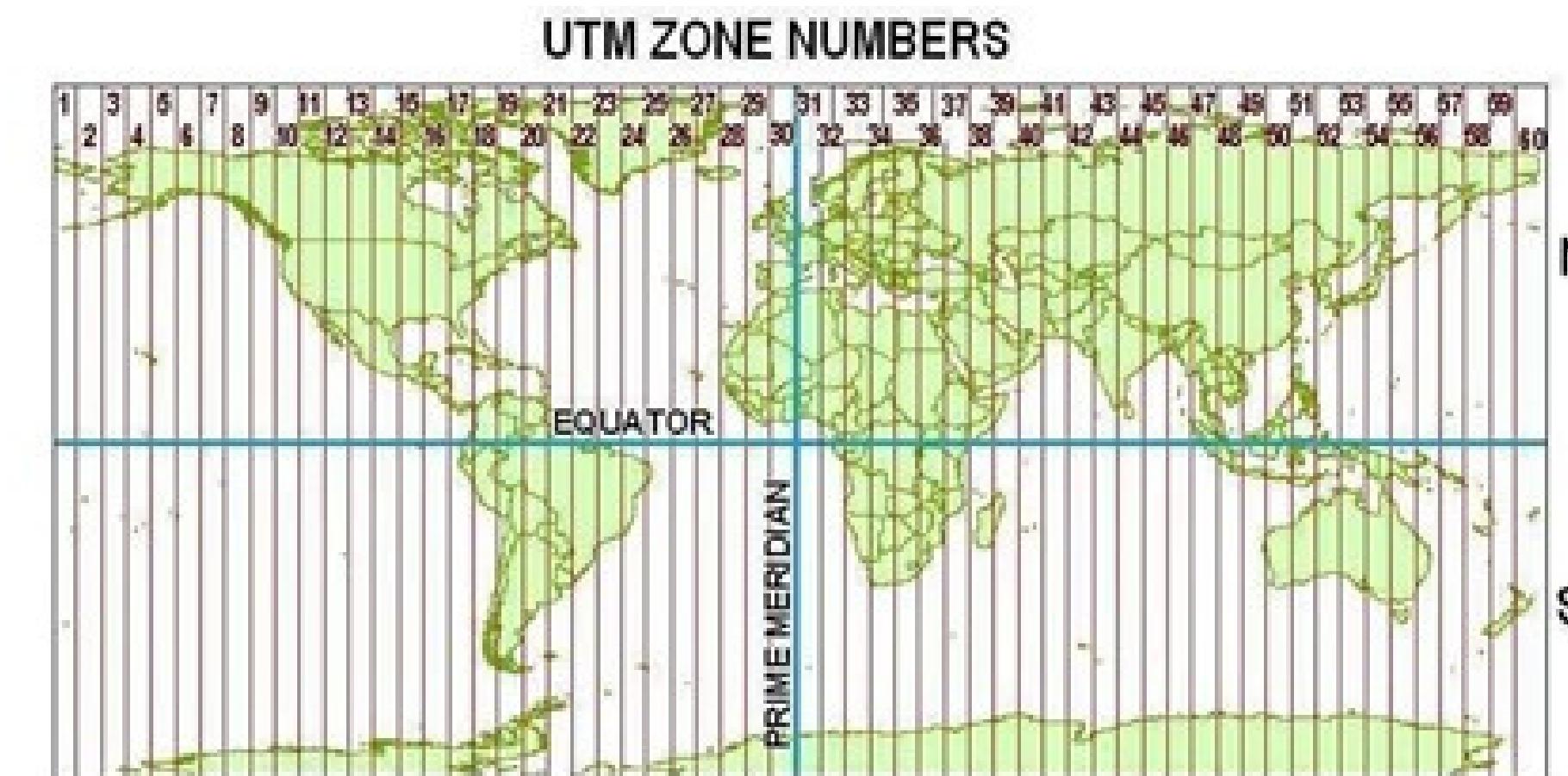
3. IMPLEMENTACIÓN

3.2.4. POST-PROCESAMIENTO: GEORREFERENCIACIÓN

Rotación: se utiliza el ángulo que genera el vector de coordenadas GPS producido durante el recorrido inicial en línea recta.

Traslación: se requiere de la transformación de sistemas de referencias:

EPSG:4326 → EPSG: 25830



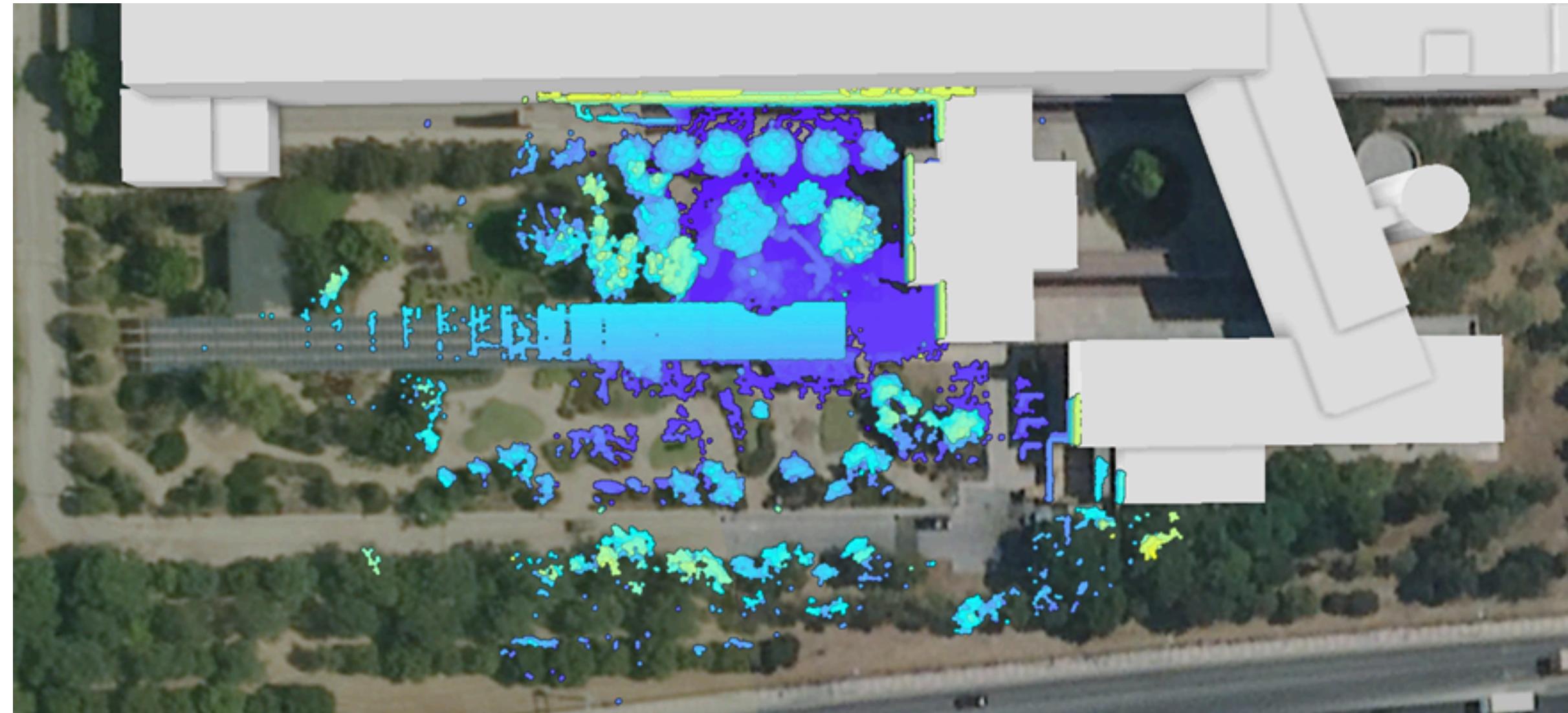
Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Universal-Transverse-Mercator-UTM-coordinate-system-is-a-standard-set-of-map_fig3_342330834

3. IMPLEMENTACIÓN

3.2.4. POST-PROCESAMIENTO: GEORREFERENCIACIÓN

La georreferenciación permite la visualización junto a capas 2D y 3D de la zona mapeada en herramientas GIS como ArcGIS.

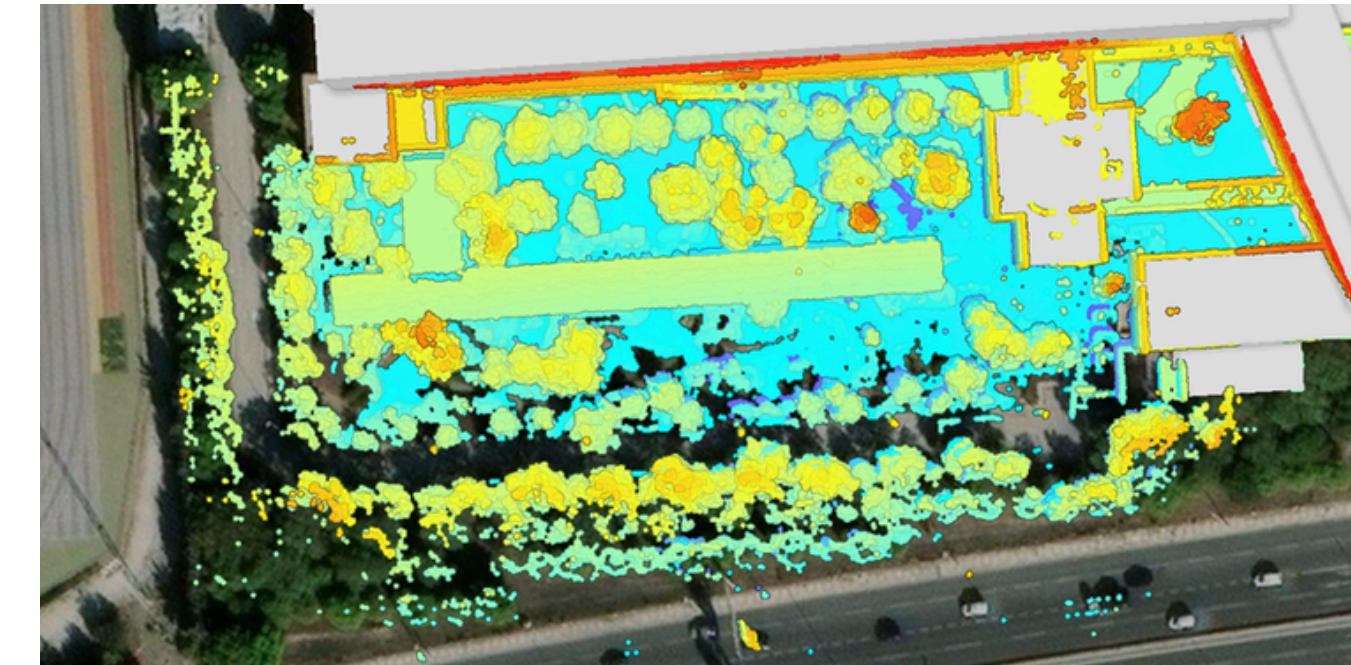
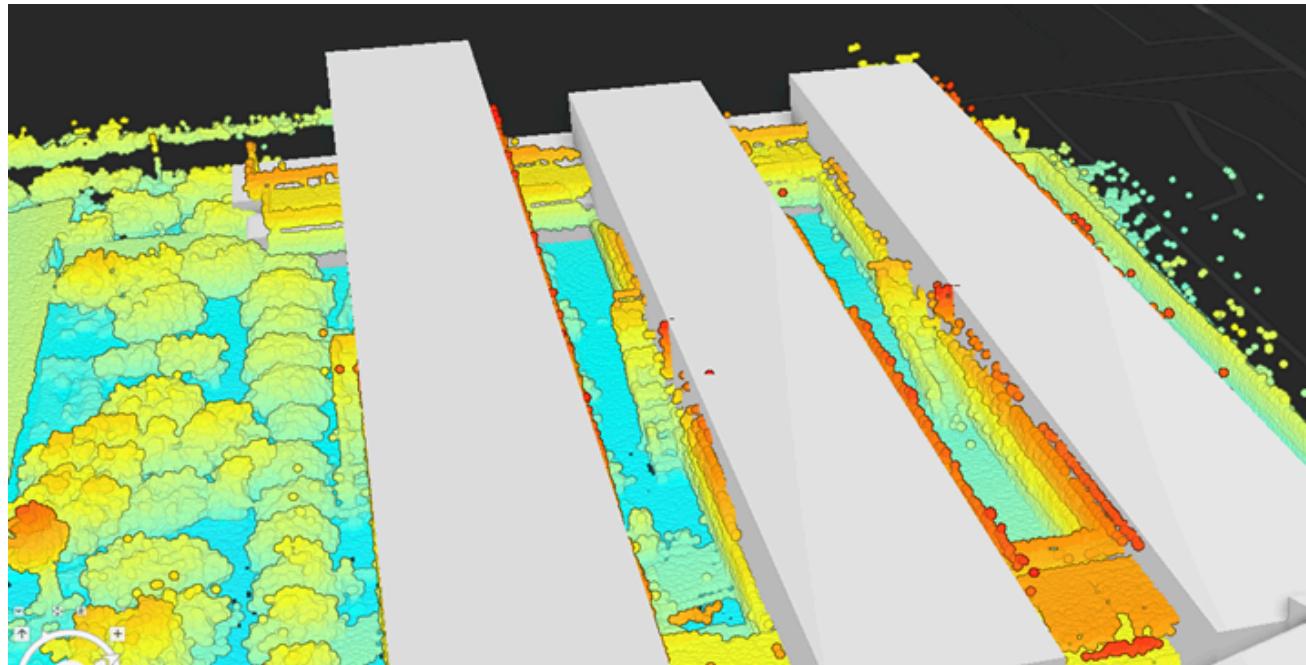
En la imagen se muestra la superposición del mapa 1 a los modelos del edificio:



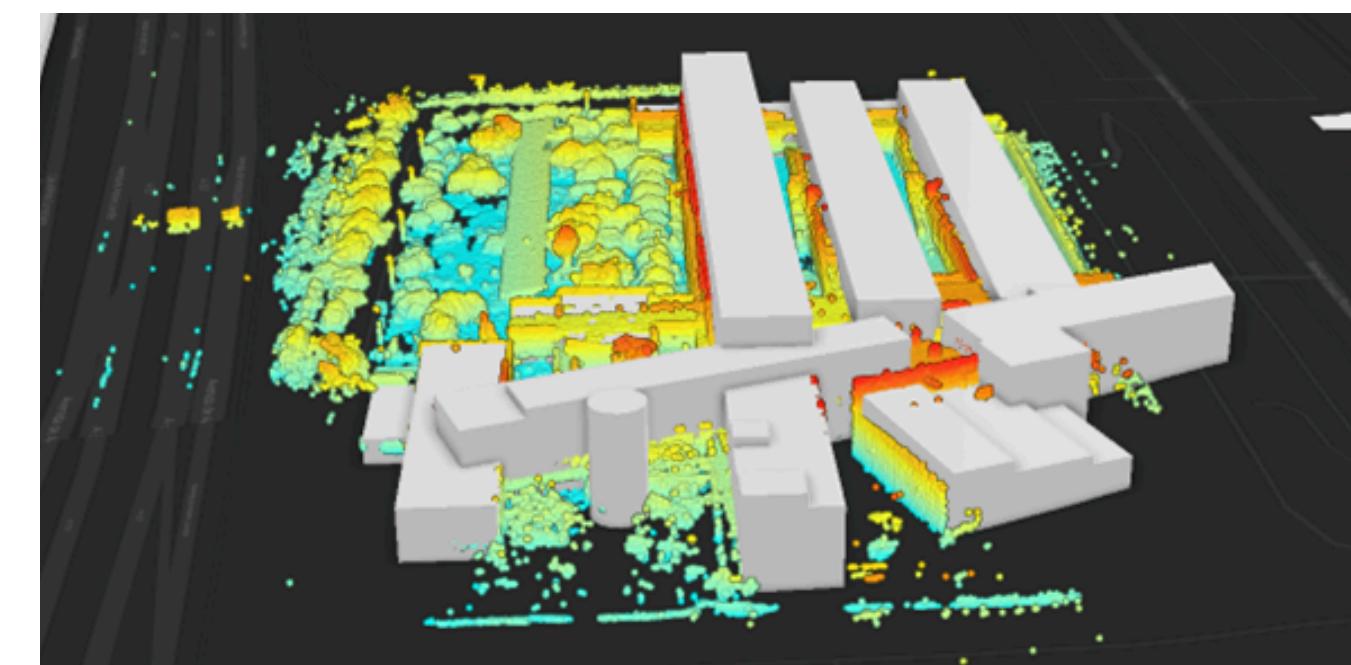
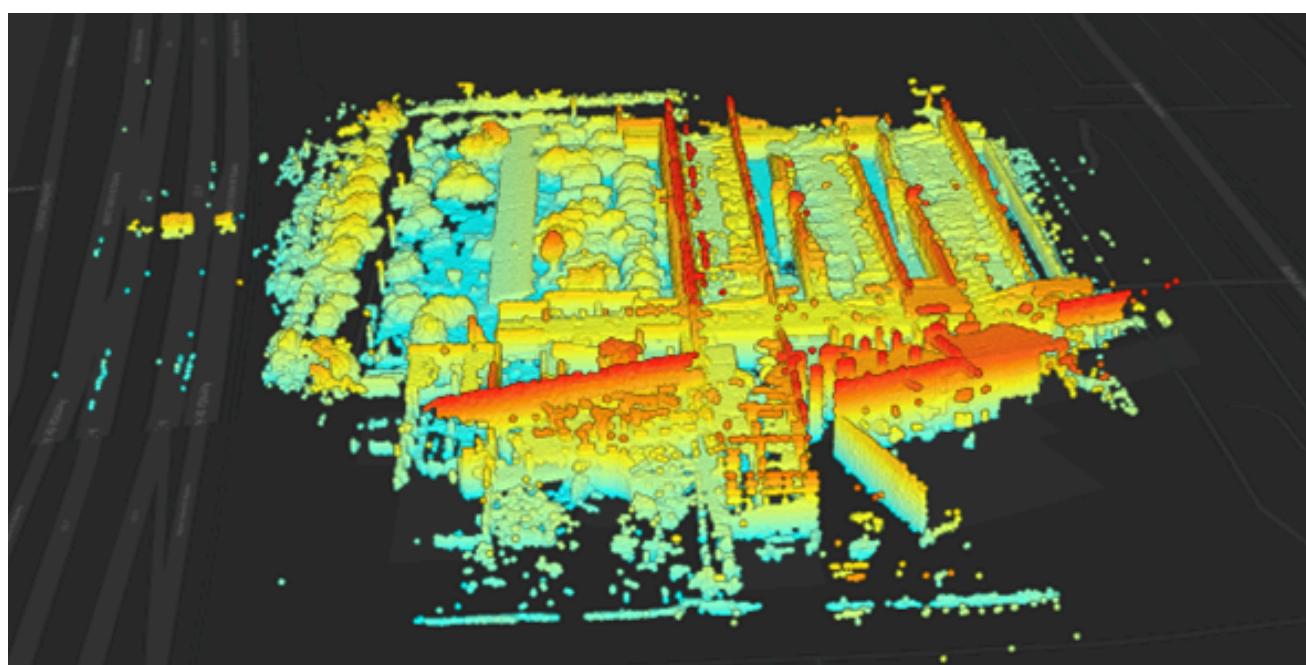
3. IMPLEMENTACIÓN

3.2.4. POST-PROCESAMIENTO: GEORREFERENCIACIÓN

Vistas del Mapa 2:



Comparativa del Mapa 2 y el modelo 3D del edificio:

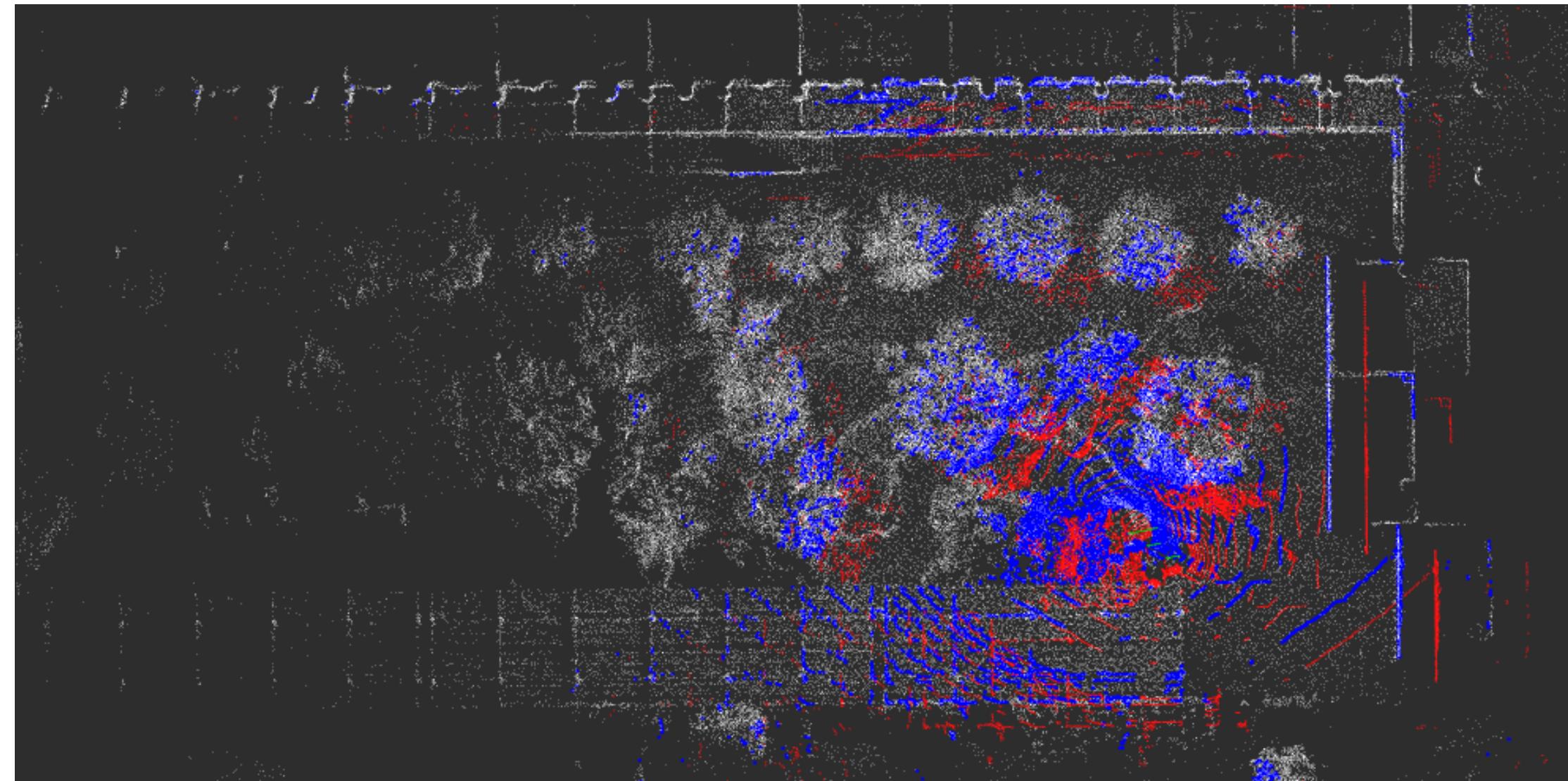




4. UTILIZACIÓN EN APLICACIONES DE LOCALIZACIÓN

La información tridimensional con alto nivel de detalle presente en estos mapas resulta de gran utilidad en aplicaciones de localización.

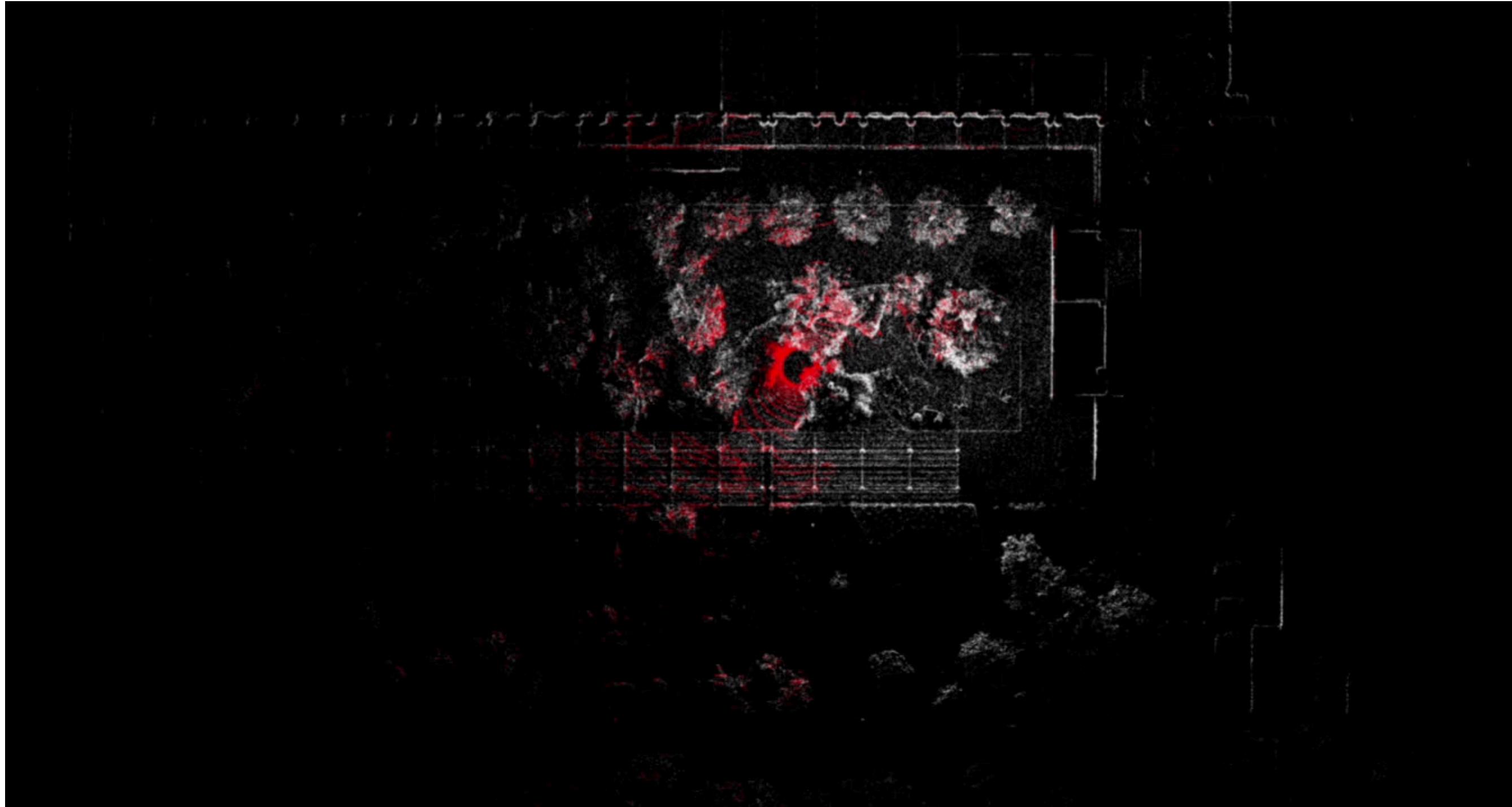
Algoritmo ICP: Recibe dos nubes de puntos y realiza el registro entre ambas.



Registro de nubes de puntos por ICP en el Mapa 1.



4. UTILIZACIÓN EN APLICACIONES DE LOCALIZACIÓN



Nubes de puntos LiDAR durante el recorrido del mapeado sobre el Mapa 1.

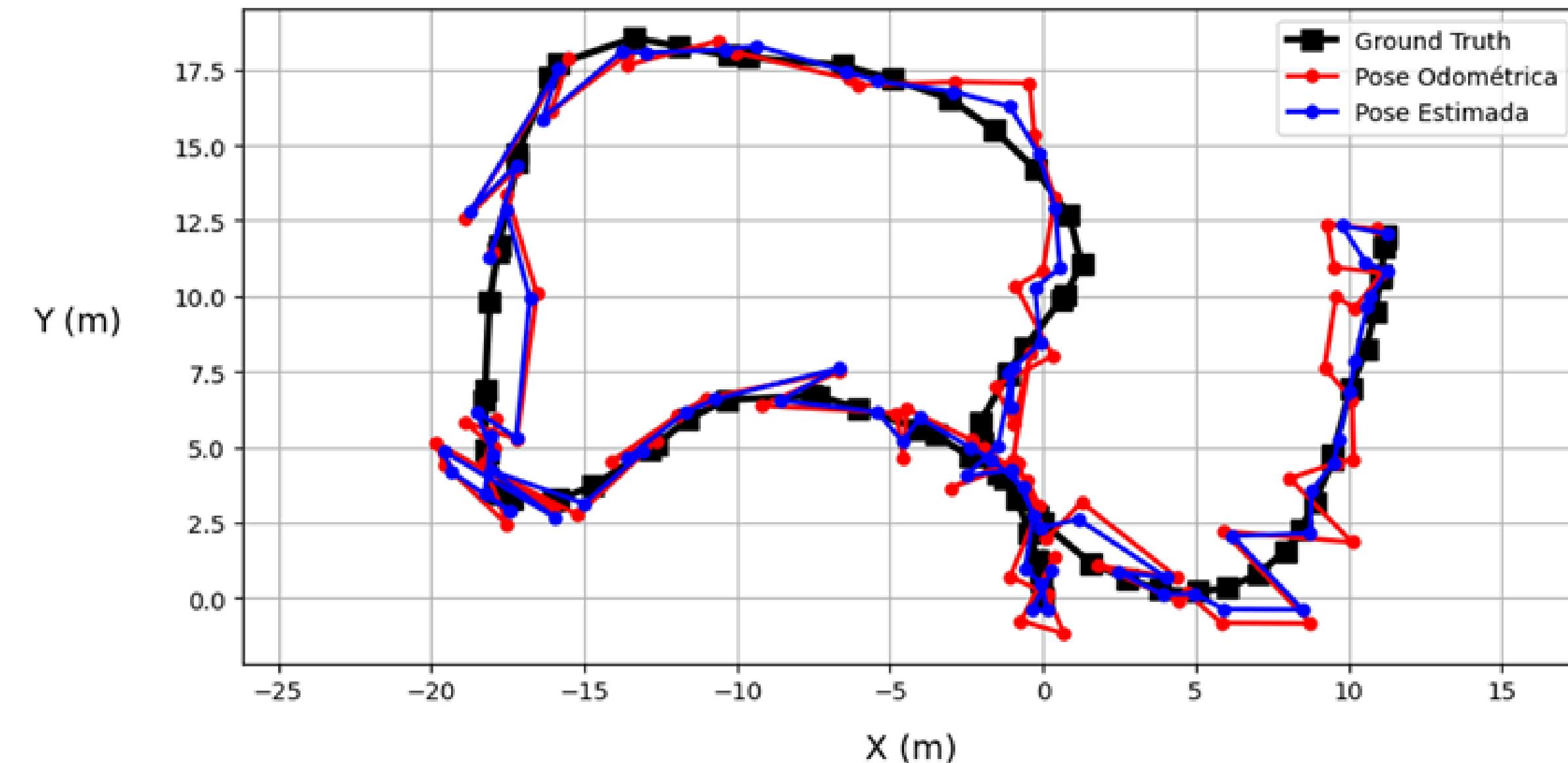
4. UTILIZACIÓN EN APLICACIONES DE LOCALIZACIÓN

Pruebas de localización: Límite de iteraciones igual a 10.

Ground Truth: Pose generada por Fast-LIO2

Pose Odométrica: Ground Truth con error añadido

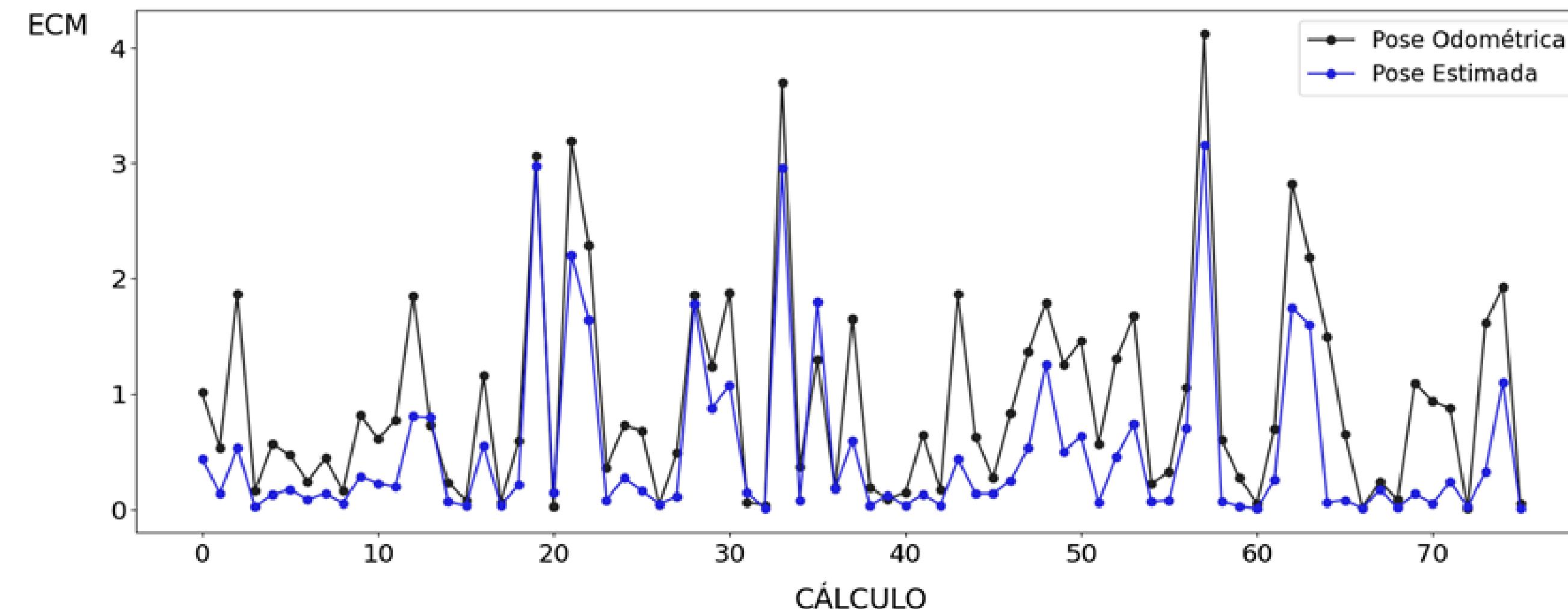
Pose Estimada: Estimación tras la ejecución de ICP



Comparación de trayectorias para limitación de ICP a 10 iteraciones.

4. UTILIZACIÓN EN APLICACIONES DE LOCALIZACIÓN

Pruebas de localización: Límite de iteraciones igual a 10.

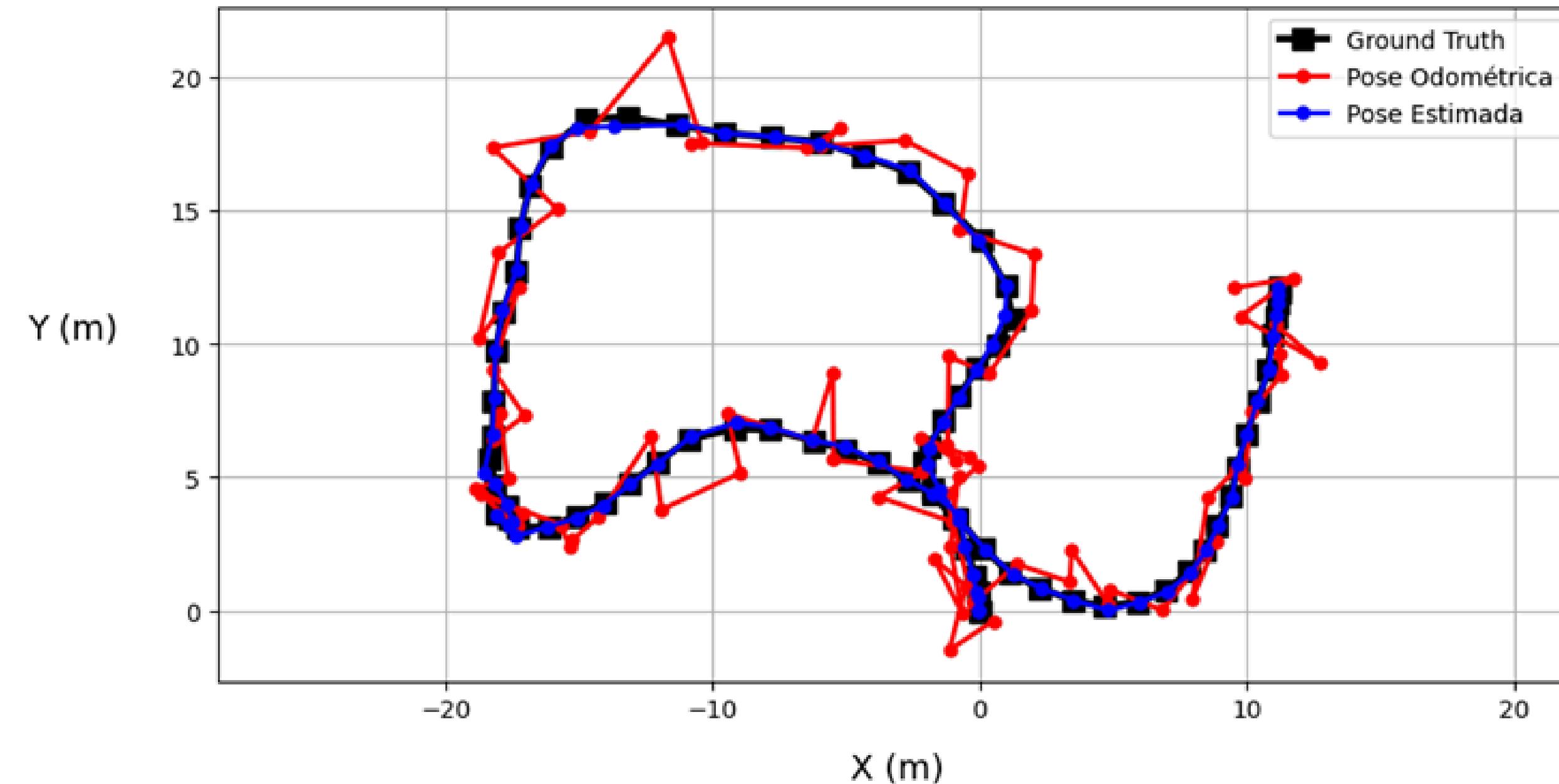


Evolución del error cuadrático medio para la pose odométrica y la pose estimada.

4. UTILIZACIÓN EN APLICACIONES DE LOCALIZACIÓN

Pruebas de localización: Límite de iteraciones igual a 1000.

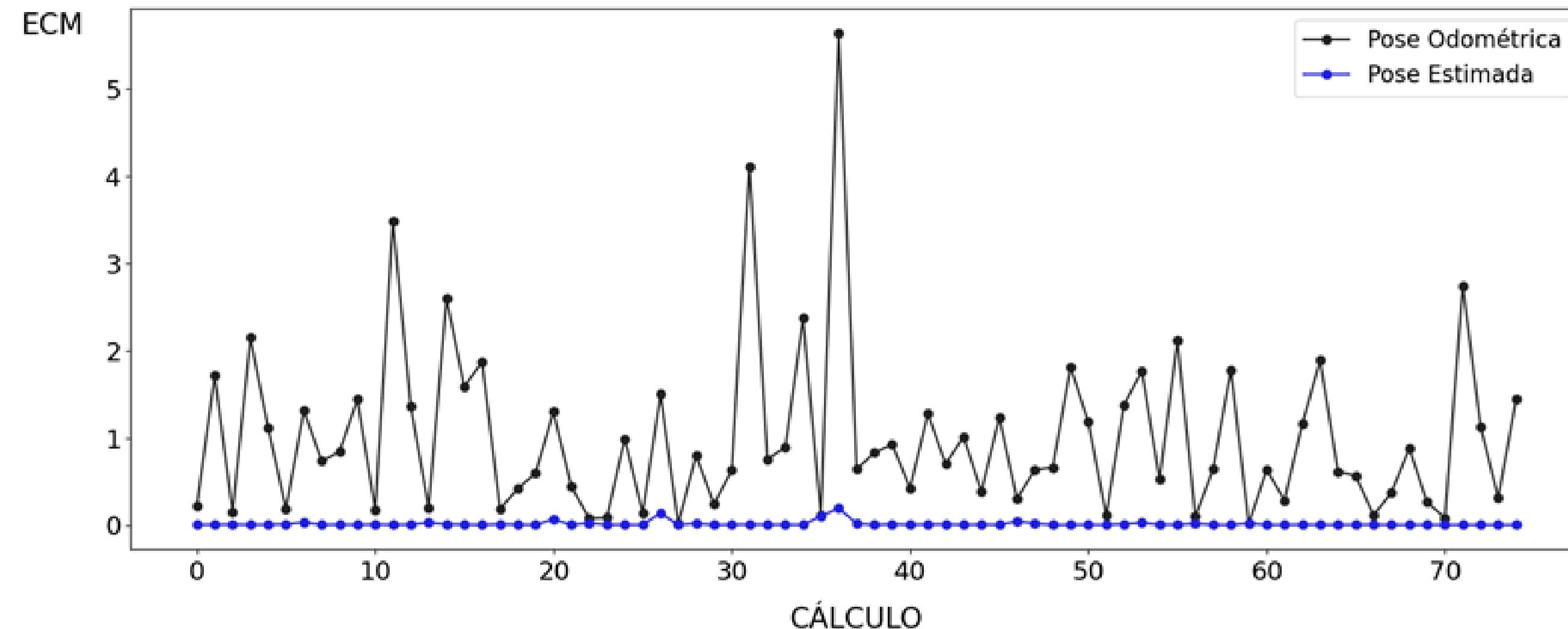
Más iteraciones → Mejores resultados



Comparación de trayectorias para limitación de ICP a 1000 iteraciones.

4. UTILIZACIÓN EN APLICACIONES DE LOCALIZACIÓN

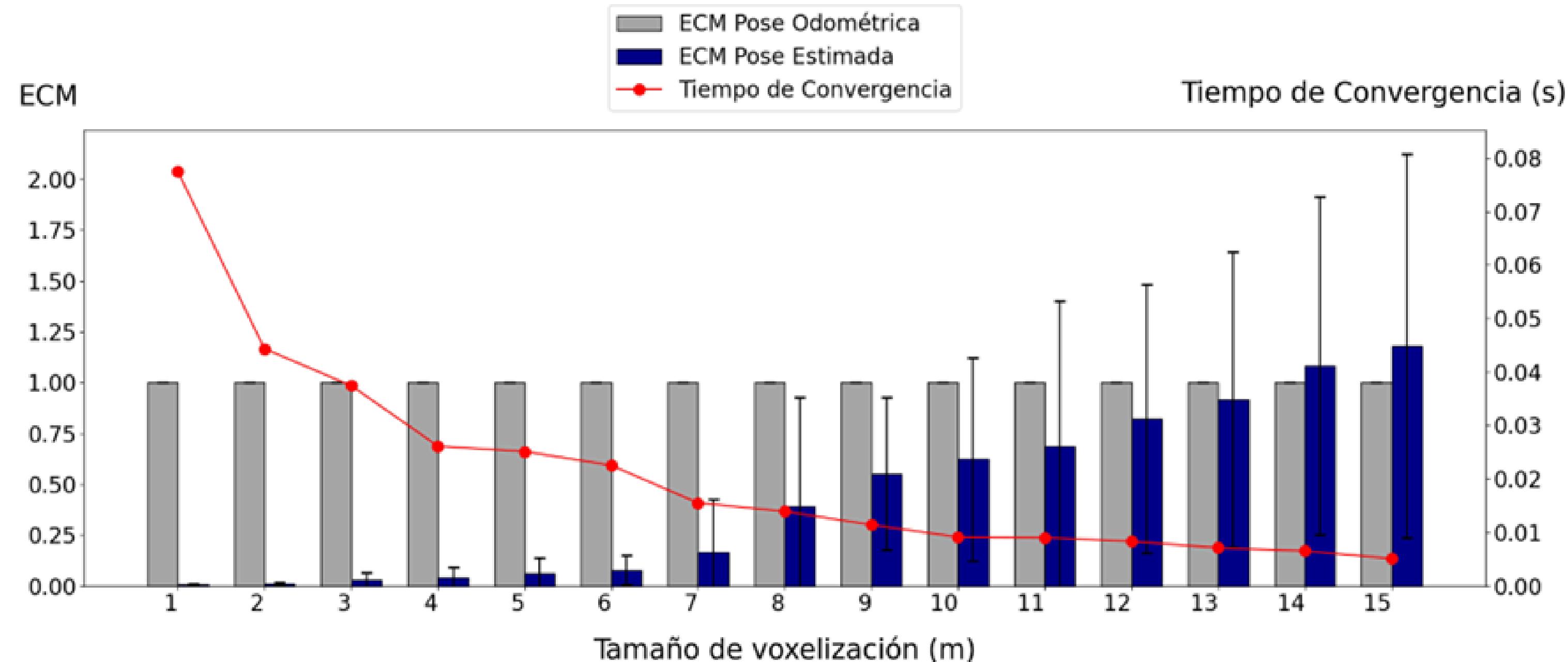
Pruebas de localización: Límite de iteraciones igual a 1000.



Evolución del error cuadrático medio para la pose odométrica y la pose estimada.

4. UTILIZACIÓN EN APLICACIONES DE LOCALIZACIÓN

Pruebas de localización: Desempeño en función del tamaño de voxelización.



Variación del ECM y del tiempo de convergencia de ICP en función del tamaño de voxelización.



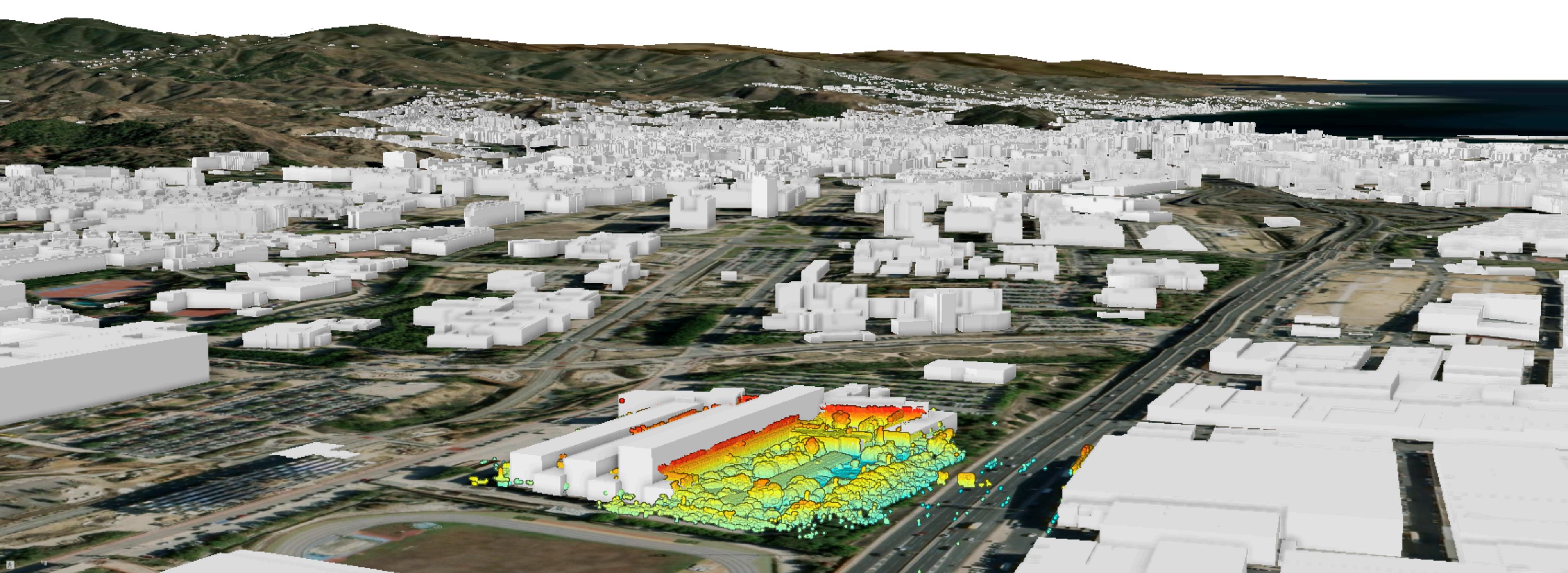
5. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Durante el desarrollo de este proyecto se han conseguido alcanzar los objetivos definidos:

- Construcción de mapas de puntos
- Georreferenciación de los mapas
- Utilización en aplicaciones de localización

Líneas futuras:

- Construcción de mapas de forma online
- Adición de información (color, textura, etc)
- Integración en navegación autónoma



CONSTRUCCIÓN DE MAPAS DE EXTERIORES CON UN LIDAR 3D EMBARCADO EN UN ROBOT MÓVIL

Autor: FRANCISCO ANAYA PALACIOS

Tutor: CIPRIANO GALINDO ANDRADES

Cotutor: JAVIER GONZÁLEZ JIMÉNEZ



ESCUELA DE
INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA