



Fecha: 8 de septiembre de 2025
Cliente: Comunidad de Madrid
Subdirección General de
Concesiones, Patrimonio y
Conservación

Análisis histórico de deformaciones en los municipios de Coslada y San Fernando de Henares (Madrid) utilizando tecnología InSAR satelital

1. Introducción y alcance del proyecto.....	2
2. Ejes de medición de movimientos con InSAR.....	3
3. Tareas realizadas.....	5
4. Resultados.....	7
4.1. Resultados periodo ERS (febrero 1996- enero 2000).....	8
4.2. Resultados período Envisat (agosto 2003- sept 2010).....	9
4.3. Resultados período Sentinel-1 (feb 2015 - julio 2025).....	11
4.3.1 San Fernando de Henares.....	14
4.3.1.1 Entorno de la Avenida de La Coruña.....	14
4.3.1.2 Entorno de la Calle de Rafael Alberti.....	16
4.3.1.3 Entorno de la Avenida de San Sebastián.....	17
4.3.2 Coslada.....	18
4.3.2.1 Entorno de la Calle Luxemburgo con Avenida de Europa.....	18
4.3.2.2 Entorno de la Avenida de Aleu i Riera con Avenida de Marie Curie.....	18
4.4. Resultados COSMO-SkyMed (julio 2023 - mayo 2025).....	20
5. Conclusiones y recomendaciones.....	26
5.1 Recomendaciones.....	26
5.2 Conclusiones.....	26

Referencia S25-3

Versión 3

Fecha última modificación: 8 de septiembre de 2025

1. Introducción y alcance del proyecto

El presente documento detalla los **principales resultados** obtenidos del análisis de **movimientos y deformaciones del terreno e infraestructuras en los municipios de Coslada y San Fernando de Henares utilizando tecnología InSAR**.

Se ha tenido en cuenta en el análisis el **trazado de La línea 7B del metro de Madrid**. Esta línea de metro **se inauguró en mayo de 2007** como una ampliación de la línea 7 para dar servicio a los municipios de Coslada y San Fernando de Henares. El área de interés se muestra en la Figura 1.

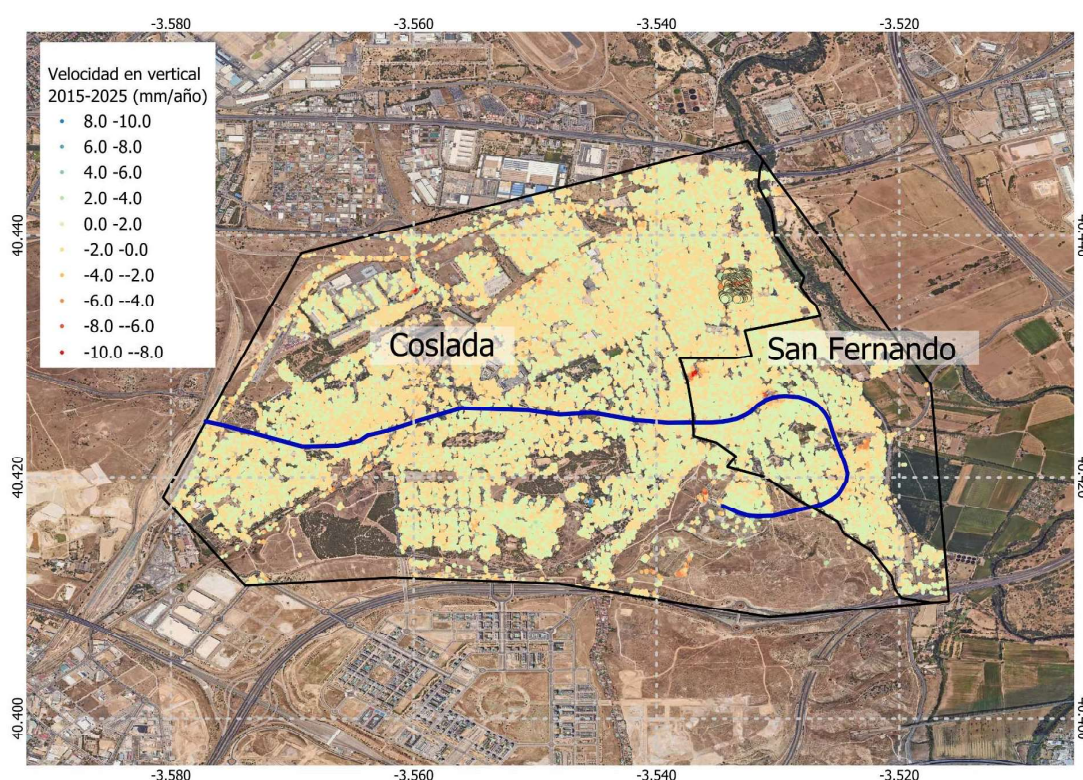


Figura 1. Área analizada en los municipios de Coslada y San Fernando de Henares (Madrid). Se aprecia sobre el mapa las velocidades de deformación (mm/año) en el eje vertical para el periodo 2015-2025. La línea azul en el mapa muestra el trazado de la línea 7B del metro de Madrid.

Se han procesado con **tecnología InSAR imágenes de los satélites Envisat y Sentinel 1** cubriendo un periodo de **8 y 10 años respectivamente**, desde **agosto de 2003 a septiembre 2010** en el caso de **Envisat** y de **enero de 2015 hasta julio de 2025** con **Sentinel-1**.

En el procesado InSAR se han utilizado técnicas PSDS, que explotan tanto **reflectores persistentes como reflectores distribuidos**, Persistent Scatterer (PS) y Distributed Scatterer (DS) por su nombre en inglés. Además, se ha puesto en valor la **información del proyecto European Ground Motion Service (EGMS)** para el área de estudio.



También se ha incorporado al análisis toda la información InSAR disponible hasta el momento, en concreto los resultados de procesados InSAR de **ERS** (banda C, de 1996 a 2000) y **COSMO-SkyMed** (banda X, de 2023 a 2025) realizados por la empresa Sixense.

Tanto en los procesados InSAR específicos para el proyecto como utilizando los datos del proyecto EGMS, se ha trabajado en las **dos geometrías de adquisición del satélite** (ascendente y descendente) **descomponiendo los movimientos en el eje vertical y planimetría Este-Oeste**. La información ya procesada de los satélites **ERS** y **COSMO-SkyMed** está disponible únicamente en geometría descendente.

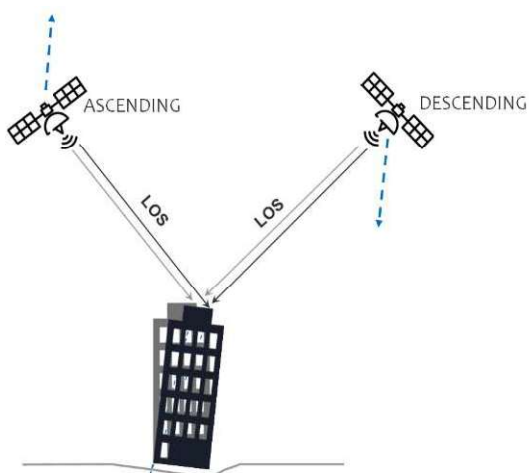
Toda la información está disponible en la **plataforma web, plugin de QGIS y notebooks de Detektia** para su análisis e interpretación.

El análisis de los datos obtenidos de las lecturas satelitales culmina en una serie de conclusiones y recomendaciones encaminadas a **detectar tendencias en los movimientos del terreno**. Esta detección permitirá **anticipar cualquier posible daño** y ayudará en la **búsqueda de la causa** que los haya ocasionado.

2. Ejes de medición de movimientos con InSAR

Un aspecto importante para interpretar correctamente los resultados InSAR y el análisis realizado en el presente trabajo, es **conocer los ejes en que medimos los movimientos con esta tecnología satelital**.

El instrumento radar de apertura sintética (SAR) a bordo de satélites ilumina, con cierto ángulo de incidencia, una misma zona en su **paso ascendente** (cuando el satélite orbita de sur a norte) como en su **paso descendente** (cuando viaja de norte a sur). La siguiente muestra cómo una misma zona puede verse desde estos dos puntos de vista diferentes (geometría ascendente y geometría descendente).



Las mediciones realizadas con tecnología InSAR son **unidimensionales** (Figura 2), limitándose a la **línea que une el satélite con cada punto observado** (lo que llamamos **movimientos en LOS**, line of sight/línea de vista del satélite, por sus siglas en inglés).

Figura 2. Esquema de adquisición de datos satelitales con geometría ascendente y descendente.



Para obtener los **desplazamientos** en el eje **vertical y planimetría** es necesario **descomponer los movimientos** en LOS teniendo en cuenta la geometría del sistema.

La Figura 3 muestra un **esquema con la línea de medición** de los **movimientos en geometría ascendente**, así como el **código de color utilizado por Detektia** en sus informes y plataforma web.

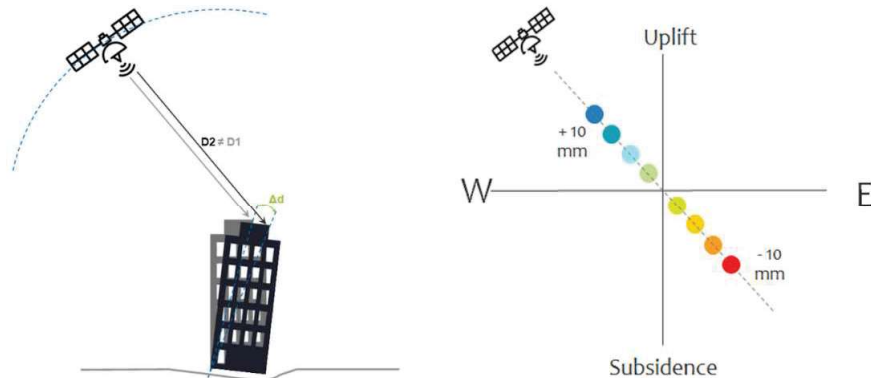
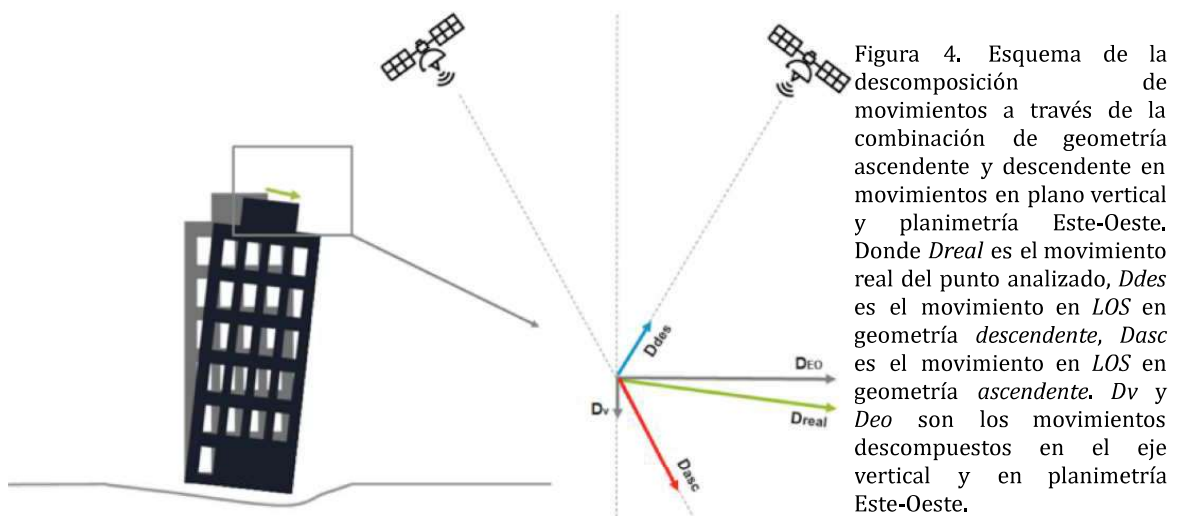


Figura 3. Esquema de adquisición de imágenes radar satelital. Izquierda) configuración de adquisición en modo *ascendente*. Derecha) Esquema de colores para los movimientos analizados en esta geometría.

Como hemos comentado, **los resultados InSAR obtenidos** en las **dos geometrías de adquisición del satélite** (ascendente y descendente) permiten **descomponer** los movimientos en el **eje vertical y planimetría** (Figura 4), como es el caso de Sentinel-1 (2015-2025). En el caso de Envisat (2003-2010), a pesar de que se han obtenido resultados InSAR en las dos geometrías, no es posible realizar la descomposición de movimientos. La baja densidad de puntos hace que prácticamente no haya información en ascendente y descendente sobre la misma zona.





3. Tareas realizadas

El presente trabajo permite conocer el **comportamiento de ciertas áreas de los municipios de Coslada y San Fernando de Henares en los períodos 1996-2000, 2003-2010 y 2015-2025 en diferentes ejes** y geometrías de adquisición. Se han comparado zonas con presencia de infraestructuras ferroviarias y otras zonas sin presencia de obra ferroviaria, tanto en superficie como subterráneas, para esclarecer el origen de los movimientos detectados. Estos movimientos pueden ser de índole natural o debidos a actividades antrópicas.

Toda la información se ha integrado toda la información en un sistema común para que pueda ser analizada y comparada, para ello se utiliza la **plataforma web, plugin de QGIS y Jupyter notebooks de Detektia**. Estas herramientas permiten **integrar otras fuentes de información** como **series temporales de temperatura, precipitación o niveles piezométricos** que, en algunos casos, pueden mejorar la interpretación del dato.

Las principales tareas realizadas con las siguientes:

- **Extracción, preparación y carga en una base de datos común de las series temporales** provenientes del proyecto EGMS tanto en geometría ascendente como descendente para el periodo 2015-2021.
- **Descarga y procesado InSAR de las imágenes Envisat** del área de interés en **geometría ascendente y descendente** para el periodo 2003-2010.
- **Descarga y procesado InSAR de las imágenes Sentinel-1** del área de interés tanto en **geometría ascendente como descendente** para el periodo 2021-2025.
- **Descomposición de movimientos** de las series de deformación InSAR en el eje vertical y planimetría este-oeste. La descomposición de movimientos se ha realizado tanto para el periodo 2015-2021 como para el periodo 2021-2025.
- Preparación y carga de los **procesados InSAR** de ERS y COSMO-SkyMed realizados por la empresa **Sixense**.
- Preparación y carga de **variables externas que pueden tener relación con los movimientos** del terreno o infraestructuras, como son las **series temporales de temperatura y precipitación**.

Toda la información generada se encuentra disponible en una **base de datos relacional accesible vía API**. La API permite integrar la información de forma ágil en cualquier software. Un usuario con credenciales puede acceder y analizar de forma interactiva y visual toda la información en la **plataforma web EyeRADAR, plugin QGIS o Jupyter notebooks específicos para el análisis de resultados InSAR**.

Las bases de datos disponibles para su análisis con estas herramientas se detallan en la siguiente tabla:



Tabla 1. Bases de datos disponibles (nombre, satélite, proveedor del dato InSAR, periodo, geometría y número de imágenes)

<i>Nombre</i>	<i>Satélite</i>	<i>Proveedor</i>	<i>Fechas</i>	<i>Geometría</i>	<i>Nº Imágenes</i>
upm_s1_vertical_2015_2025	Sentinel-1	UPM	2015-2025	Vertical	465
upm_s1_east_2015_2025	Sentinel-1	UPM	2015-2025	Plan E-O	465
upm_s1_desc_2015_2025	Sentinel-1	UPM	2015-2025	Descendente	465
upm_s1_asc_2015_2025	Sentinel-1	UPM	2015-2025	Ascendente	471
upm_env_desc_2003_2010	Envisat	UPM	2003-2010	Descendente	14
upm_env_asc_2003_2010	Envisat	UPM	2003-2010	Ascendente	29
six_s1_vertical_2015_2023	Sentinel-1	Sixense	2015-2023	Vertical	415
six_s1_east_2015_2023	Sentinel-1	Sixense	2015-2023	Plan E-O	415
six_s1_desc_2015_2023	Sentinel-1	Sixense	2015-2023	Descendente	415
six_s1_asc_2015_2023	Sentinel-1	Sixense	2015-2023	Ascendente	423
six_ers_desc_1996_2000	ERS	Sixense	1996-2000	Descendente	19
six_csk_desc_2023_2025_MP9	Cosmo-SkyMed	Sixense	2023-2025	Descendente	34
six_csk_desc_2023_2025_MP1	Cosmo-SkyMed	Sixense	2023-2025	Descendente	26
six_csk_desc_2023_2024	Cosmo-SkyMed	Sixense	2023-2024	Descendente	20



4. Resultados

De cara a **mejorar el acceso, análisis y comparación de los datos** se han dividido los resultados por municipio (Coslada y San Fernando de Henares). La siguiente tabla muestra tanto el **número de puntos como la densidad de puntos** obtenida para cada periodo de análisis.

	Coslada	San Fernando de Henares
Superficie analizada	12 km ²	2.4 km ²
N puntos/densidad ERS geometría descendente (1996-2000)	21.585 puntos 1.799 puntos/km ²	4.609 puntos 1.920 puntos/km ²
N puntos/densidad Envisat geometría ascendente (2003-2010)	2.540 puntos 212 puntos/km ²	617 puntos 257 puntos/km ²
N puntos/densidad Envisat geometría descendente (2003-2010)	558 puntos 47 puntos/km ²	126 puntos 53 puntos/km ²
N puntos/densidad Sentinel-1 vertical/planimetría (2010-2015)	49.332 puntos 4.111 puntos/km ²	12.154 puntos 5.064 puntos/km ²
N puntos/densidad Cosmo-SkyMed geometría descendente (2023-2025)	212.465 puntos 17.705 puntos/km ²	52.110 puntos 21.712 puntos/km ²

En los siguientes apartados analizamos los resultados por orden cronológico.

4.1. Resultados periodo ERS (febrero 1996- enero 2000)

Este periodo muestra los **movimientos en ambos municipios** antes del inicio de las obras de tunelación de la línea 7B de metro de Madrid.

El procesado InSAR disponible para la **misión ERS (de febrero de 1996 a enero de 2000)** posee 19 imágenes en geometría descendente y un número de puntos de 21.585 para el municipio de Coslada y 4.609 puntos para San Fernando de Henares. Esto significa una densidad de puntos aproximada de 1.799 puntos/km² para Coslada y 1.920 puntos/km² para San Fernando.

En este periodo se alcanzan en geometría descendente velocidades mínimas y máximas de -8 mm/año y +7 mm/año respectivamente para ambas geometrías. Los puntos con las velocidades más extremas se encuentran aislados y repartidos por toda el área de interés.

De acuerdo con los estudios geológicos y geotécnicos existentes, estos datos ponen de manifiesto que ambos municipios presentan **movimientos del terreno dispares** debidos a las diferentes composiciones de los estratos geológicos y que, dada su heterogeneidad, se manifiestan **en puntos aislados**.

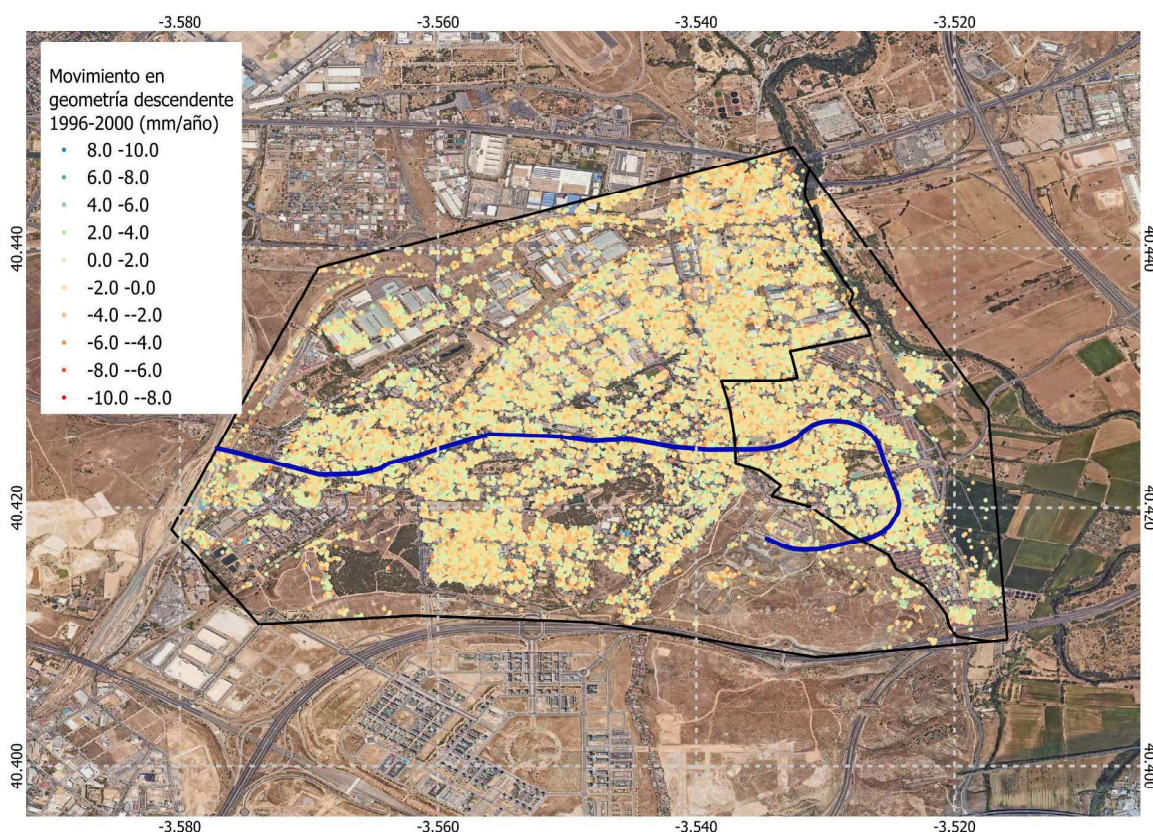


Figura 5. Área analizada en los municipios de Coslada y San Fernando de Henares (Madrid) con imágenes ERS. Se aprecia sobre el mapa las velocidades de deformación (mm/año) en geometría descendente para el periodo 1996-2000.

4.2. Resultados período Envisat (agosto 2003- sept 2010)

Para el **periodo 2003-2010** se han obtenido un total de **3.157 series temporales en geometría ascendente** entre ambos municipios. Se han analizado las **29 imágenes/fechas** disponibles para el periodo comprendido entre el **5 de agosto de 2003** y el **7 de septiembre de 2010**. Este periodo incluye las obras de tunelación de la línea 7B de Metro de Madrid en estos municipios, que se llevaron a cabo entre 2003 y 2007.

En **geometría descendente** se han obtenido en ambos municipios un total **684 series temporales** con el procesado de las **14 imágenes/fechas** disponibles para el periodo comprendido entre el **17 de diciembre de 2003** y el **14 de abril de 2010**.

Como en el caso del periodo ERS, los **puntos con valores más extremos en cuanto a velocidad de deformación** (tanto en ascendente como en descendente) se encuentran **aislados y repartidos por toda el área analizada**. No se aprecia ningún cluster de puntos continuo con velocidades absolutas mayores a 3 mm/año (Figuras 6 y 7).

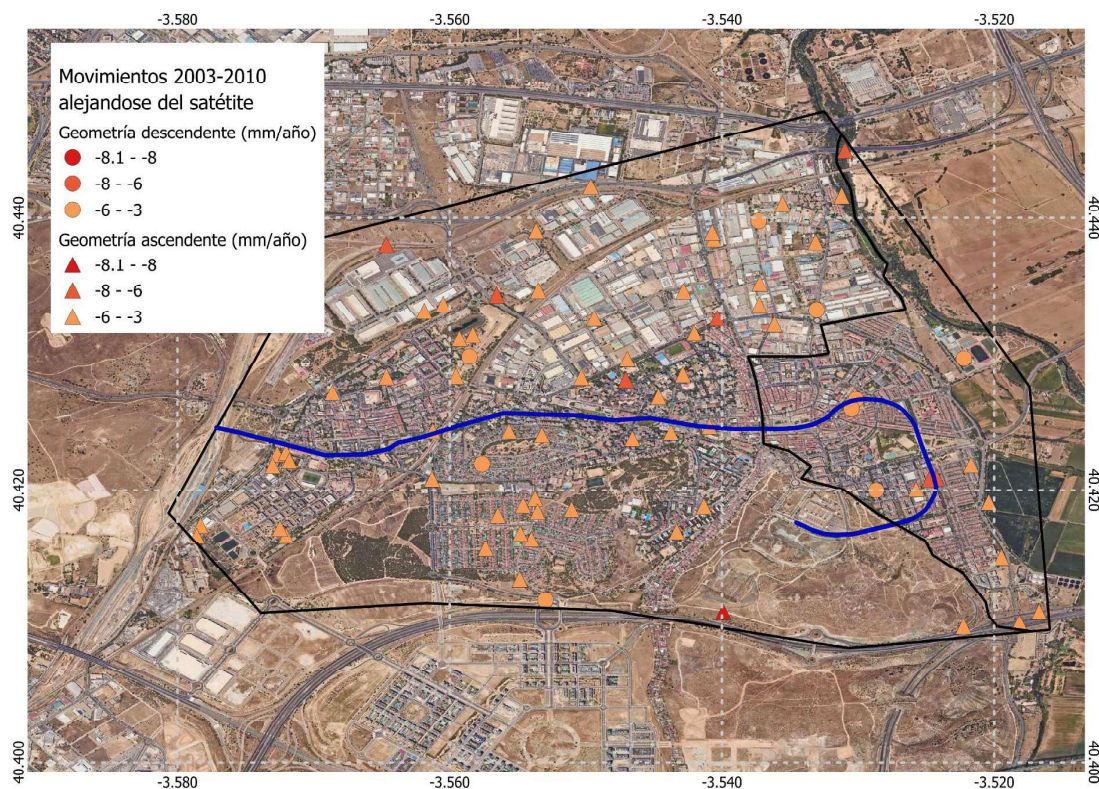


Figura 6. Puntos en geometrías ascendente y descendente con velocidades mayores a -3 mm/año en el periodo 2003-2010.

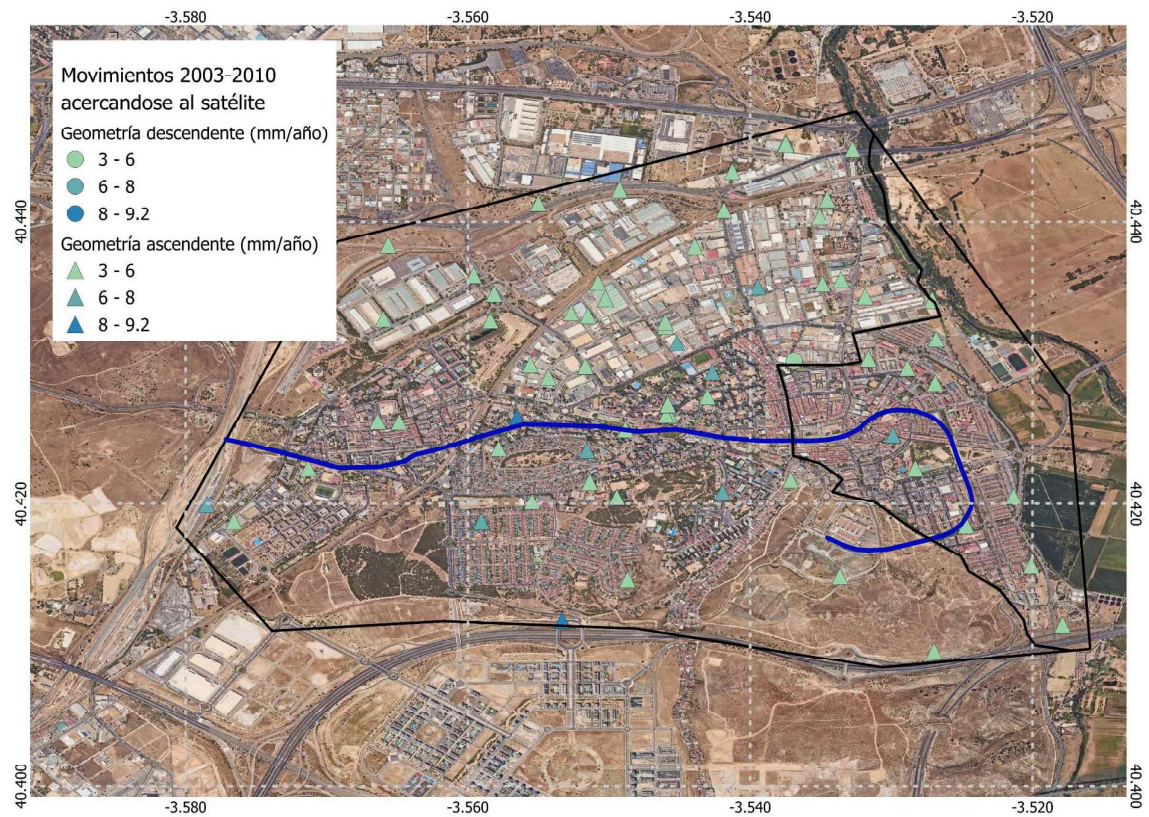


Figura 7. Puntos en geometrías ascendente y descendente con velocidades mayores a +3 mm/año en el periodo 2003-2010.

Por tanto, como se ha comentado, en este periodo **no se aprecian clusters de puntos con velocidades de movimiento significativas**, más allá de los **puntos aislados** que figuran en las imágenes y cuyo **número es muy reducido** cuando se establece un patrón de movimientos superiores a 3 mm/año.

En estas figuras 6 y 7 se observa que aquellos puntos con velocidades superiores a 3 mm/año (en valor absoluto) no tienen un patrón atribuible solo a la acción antrópica, ya que se observan zonas con movimientos de este orden alejadas de la traza de las obras del metro.

4.3. Resultados período Sentinel-1 (feb 2015 - julio 2025)

Para el **período Sentinel 1** que va del **8 de febrero de 2015** al **22 de junio de 2025** se han obtenido un total de **61.486 series temporales** con **465 imágenes/fechas** tanto en vertical como en planimetría este-oeste sobre los municipios de Coslada-San Fernando de Henares (Figura 8). Este periodo es posterior a las obras de tunelación de la línea 7B del Metro de Madrid en los municipios de Coslada y San Fernando.

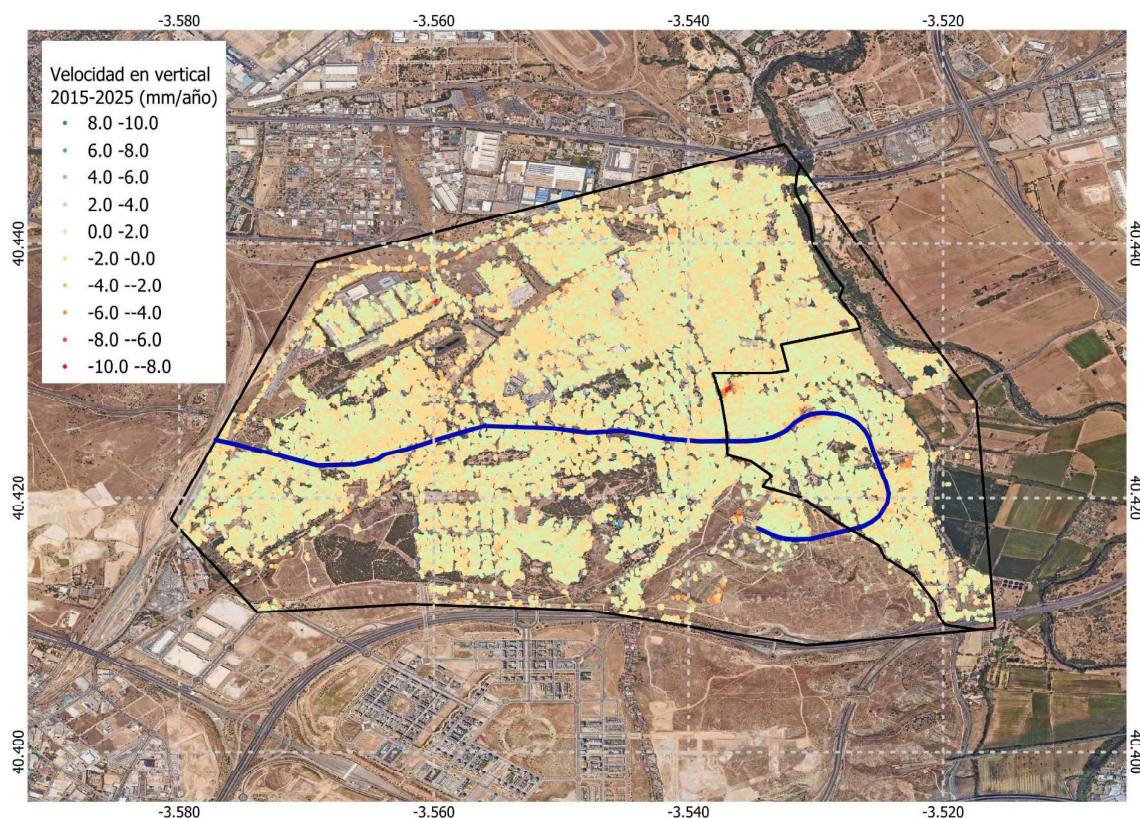


Figura 8. Velocidad media de subsidencia (mm/año) en el periodo 2015-2025 en los municipios de Coslada y San Fernando de Henares (Madrid) con imágenes Sentinel-1.

En la figura 9 se observan las velocidades medias de subsidencia mayores a 4 mm/año durante el periodo 2015-2025 en ambos municipios. Se han destacado las **áreas continuas (cluster de puntos)** que tienen las **velocidades más significativas en el eje vertical** en ambos municipios.

En **San Fernando de Henares** se **identifican tres áreas**: el área 1 (figura 9 arriba) se encuentra a 450 metros aproximadamente de la traza del túnel, el área 2 se encuentra prácticamente sobre la traza del túnel y el área 3 a 190 metros de distancia.

En **Coslada**, el área 1 (figura 9 abajo) se encuentra a más de 1 km de distancia de la traza del túnel, mientras que el área 2 se encuentra cercana al final de la línea.

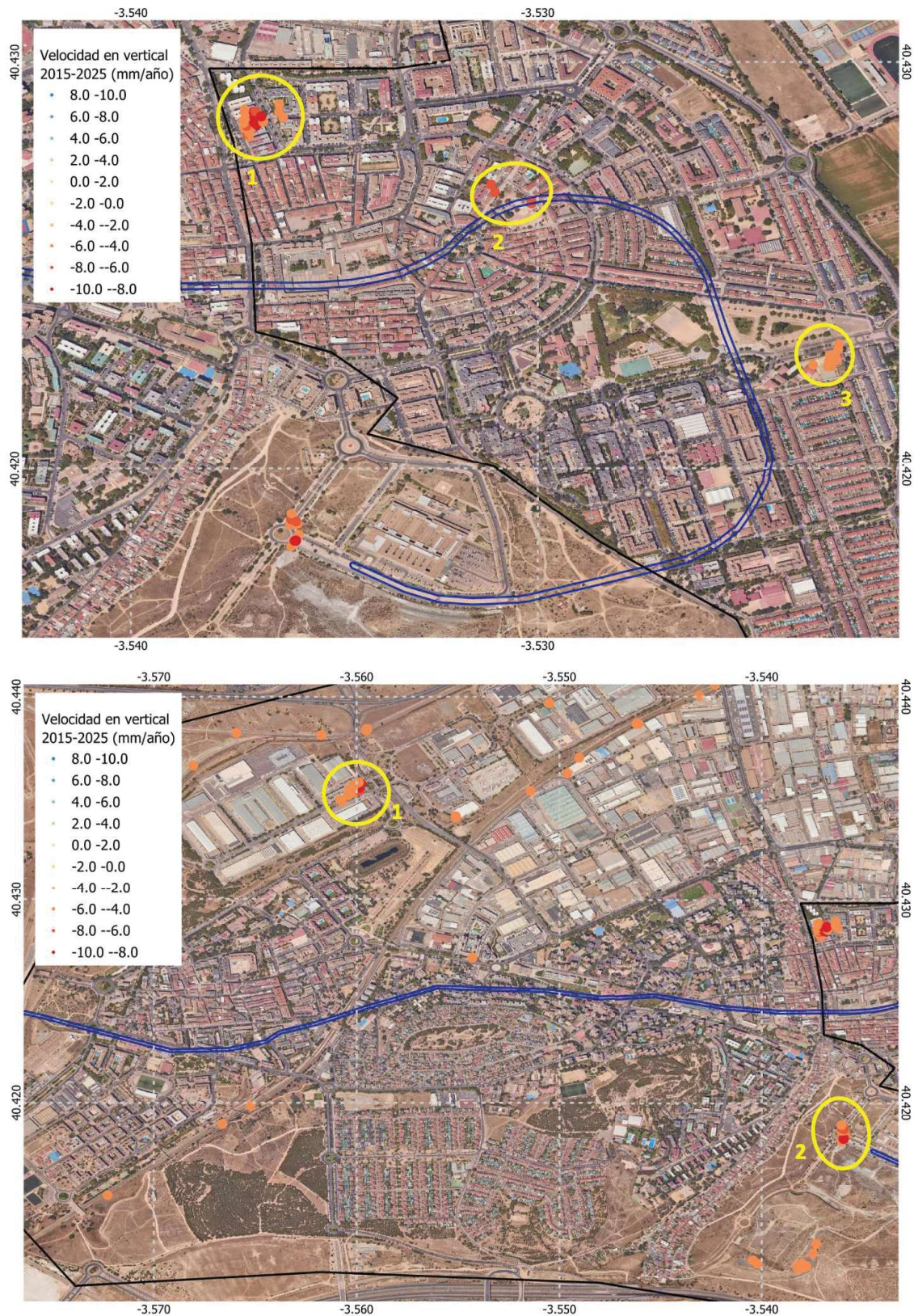


Figura 9. Puntos con velocidades medias de subsidencias (colores naranjas/rojos) mayores a -3 mm/año en el periodo 2015-2025 para arriba) San Fernando de Henares y abajo) Coslada.

En el municipio de San Fernando de Henares, desde la Avenida La Coruña hasta Av. San Sebastián pasando por Calle de la Presa y de Rafael Alberti (Figura 10), en el **perfil de velocidades medias de subsidencia** desde la Avenida La Coruña hasta Av. San Sebastián pasando por Calle de la Presa y de Rafael Alberti (Figura 10), se aprecian las **tres áreas con mayores movimientos** en el **periodo que va de 2015 a 2025**. Se trata de las tres áreas que veíamos en la figura 9 situadas a 450 metros (Avenida La Coruña), 0 metros (Calle de la Presa y de Rafael Alberti) y 190 metros (Av. San Sebastián) de la traza del túnel.

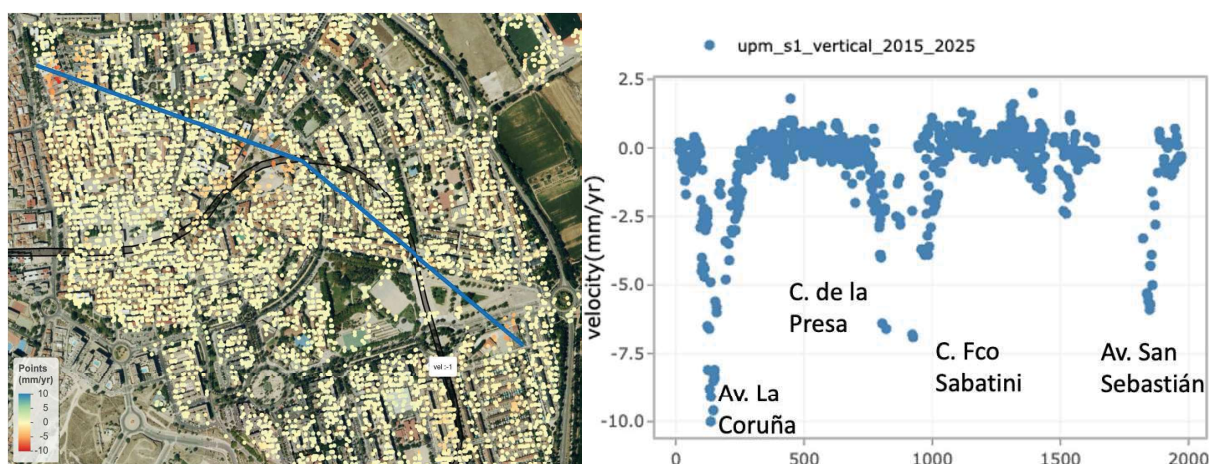


Figura 10. Izquierda) Velocidades medias de subsidencia para el periodo 2015-2025 a partir de imagen Sentinel-1, con el perfil de velocidades en color azul en el mapa. Derecha) evolución de las velocidades medias a lo largo del perfil, con el 0 en el extremo oeste del perfil (cercano a Av. La Coruña).

De similar manera, los movimientos en planimetría (movimientos horizontales) muestran muy **pocos puntos que exceden velocidades superiores a 3 mm/año**. La figura 11 muestra las mayores velocidades en planimetría (velocidades mayores a 3 mm/año) en San Fernando de Henares.

Se ha elegido un **umbral de 3 mm/año** ya que este umbral permite localizar las áreas más activas en el periodo analizado. La velocidad de 3 mm/año considerada como umbral tanto en positivo como negativo muestra aproximadamente el **1% de los puntos con mayores movimientos** para los diferentes periodos y geometrías consideradas.

Se aprecian **dos áreas con movimientos reseñables en planimetría tanto hacia el este como hacia el oeste**, una de ellas (Avenida de A Coruña) situada a 450 metros de la traza del túnel y la otra prácticamente sobre la traza del túnel.

Por ejemplo, el lado oeste de la Avenida de A Coruña posee movimientos hacia el este (colores azules en la figura 11) mientras que al otro lado de la calle dominan los movimientos hacia el oeste (colores naranjas/rojos en la figura 11). Algo similar ocurre entre la calle de La Presa y la calle Rafael Alberti.

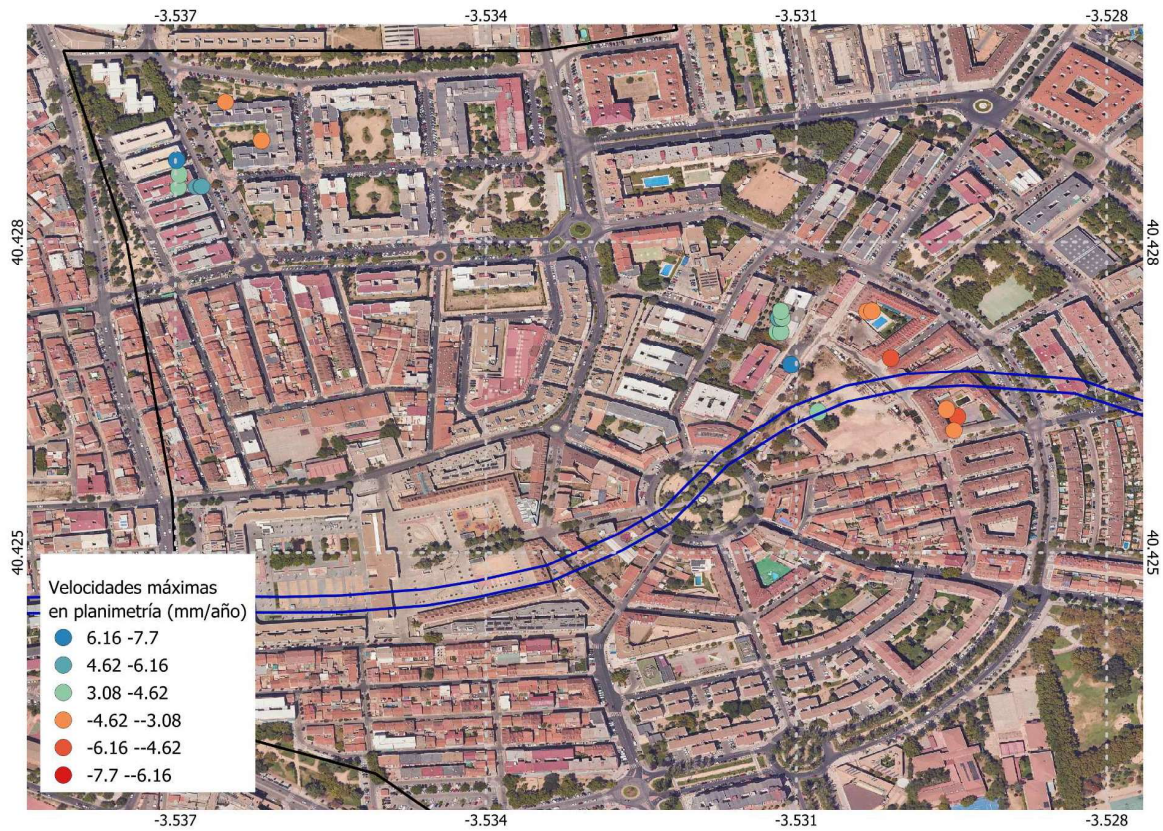


Figura 11. Puntos con velocidades en planimetría hacia el Este y en planimetría hacia el Oeste mayores a 3 mm/año en el periodo 2015-2025 para arriba) en San Fernando de Henares.

En el municipio de Coslada se aprecian estos comportamientos en dos zonas, una muy alejada de la infraestructura ferroviaria y otra en su propia traza. Esta última zona ha sido objeto de obras que después se comentarán.

4.3.1 San Fernando de Henares

En este apartado vamos a analizar en detalle las zonas con mayores velocidades medias de subsidencia (más de 3 mm/año en el periodo 2015-2025) que hemos visto en la figura 9.

4.3.1.1 Entorno de la Avenida de La Coruña

En el entorno de la Avenida de A Coruña se aprecian tanto **movimientos en vertical como en planimetría** tal y como veíamos en las figuras 9 y 11. Esta área se encuentra a unos 450 metros al norte de la traza del túnel.

Ambos lados de la avenida poseen subsidencia, con **mayor magnitud en el lado oeste**. El lado oeste de la Avenida de A Coruña posee movimientos hacia el este mientras que en el lado más al este de la avenida dominan los movimientos hacia el oeste (Figura 12).

Se observa una aceleración del movimiento tanto en vertical como en planimetría en torno a abril de 2018. **A partir de 2021-2022 las velocidades de deformación se reducen de forma considerable a ambos lados de la avenida**, sobre todo en el lado oeste de la calle (Figura 12).

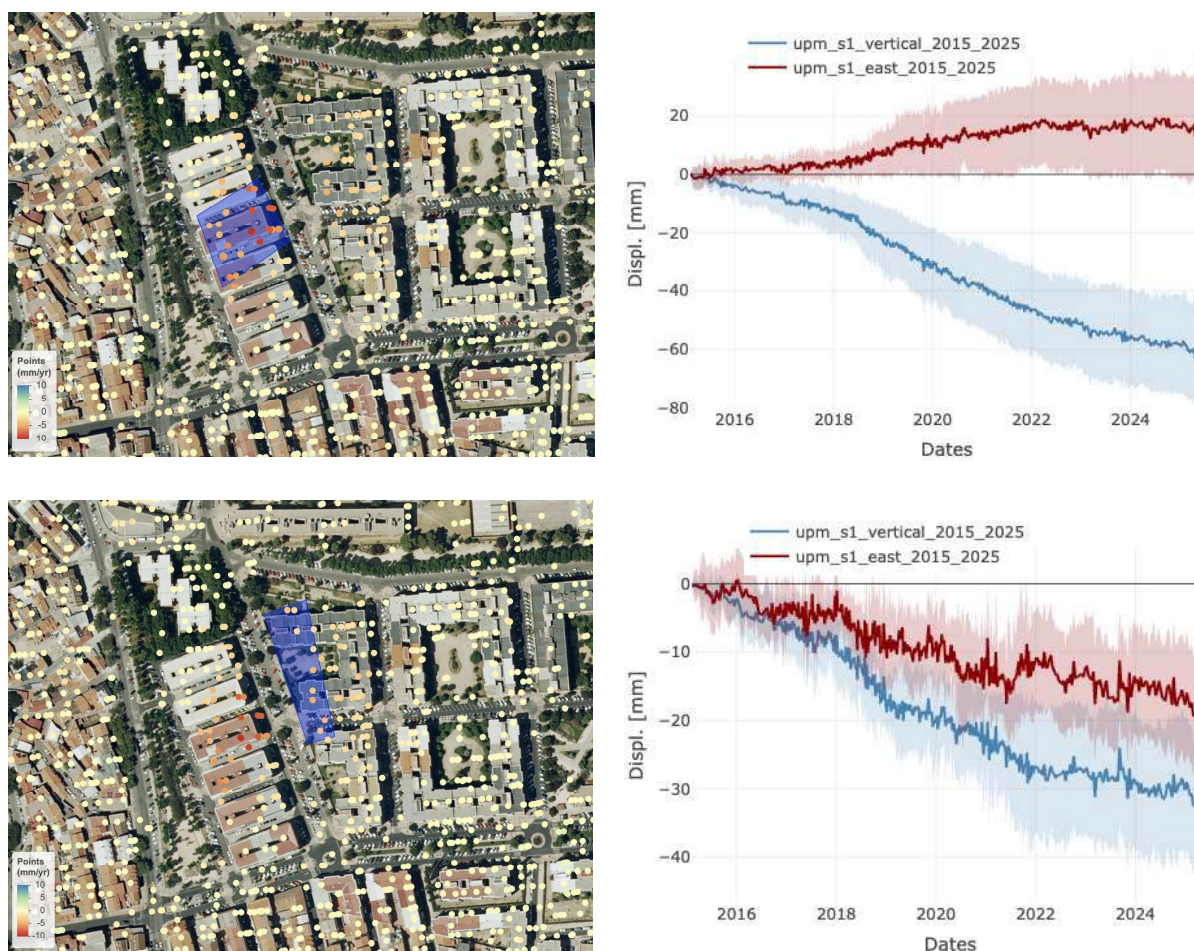


Figura 12. Arriba) Velocidades medias de subsidencia para el periodo 2015-2025 con las series temporales de subsidencia en color azul y planimetría hacia el este (valores positivos) en color rojo para el polígono seleccionado en el mapa. Abajo) Velocidades medias de subsidencia para el periodo 2015-2025 con las series temporales de subsidencia en color azul y planimetría hacia el oeste (valores negativos) en color rojo para el polígono seleccionado en el mapa.

No se ha analizado el origen de estos movimientos.

4.3.1.2 Entorno de la Calle de Rafael Alberti

En el entorno de las calles Rafael Alberti y de la Presa **se observan diferentes comportamientos** (Figura 13). Este área se encuentra sobre la traza del túnel.

Se aprecian **movimientos claros de subsidencia** que tienden a estabilizarse en mayor o menor grado a partir de 2023. Tal y como hemos visto en la figura 11, en el área más al oeste (zona A en la figura 13) dominan los **movimientos en planimetría** hacia el este y en el área más al este (zonas D en la figura 13) dominan los movimientos en planimetría hacia el Oeste. Tanto en las zonas A como D de la figura 13 los movimientos en planimetría tienden a estabilizarse en 2023-2024.

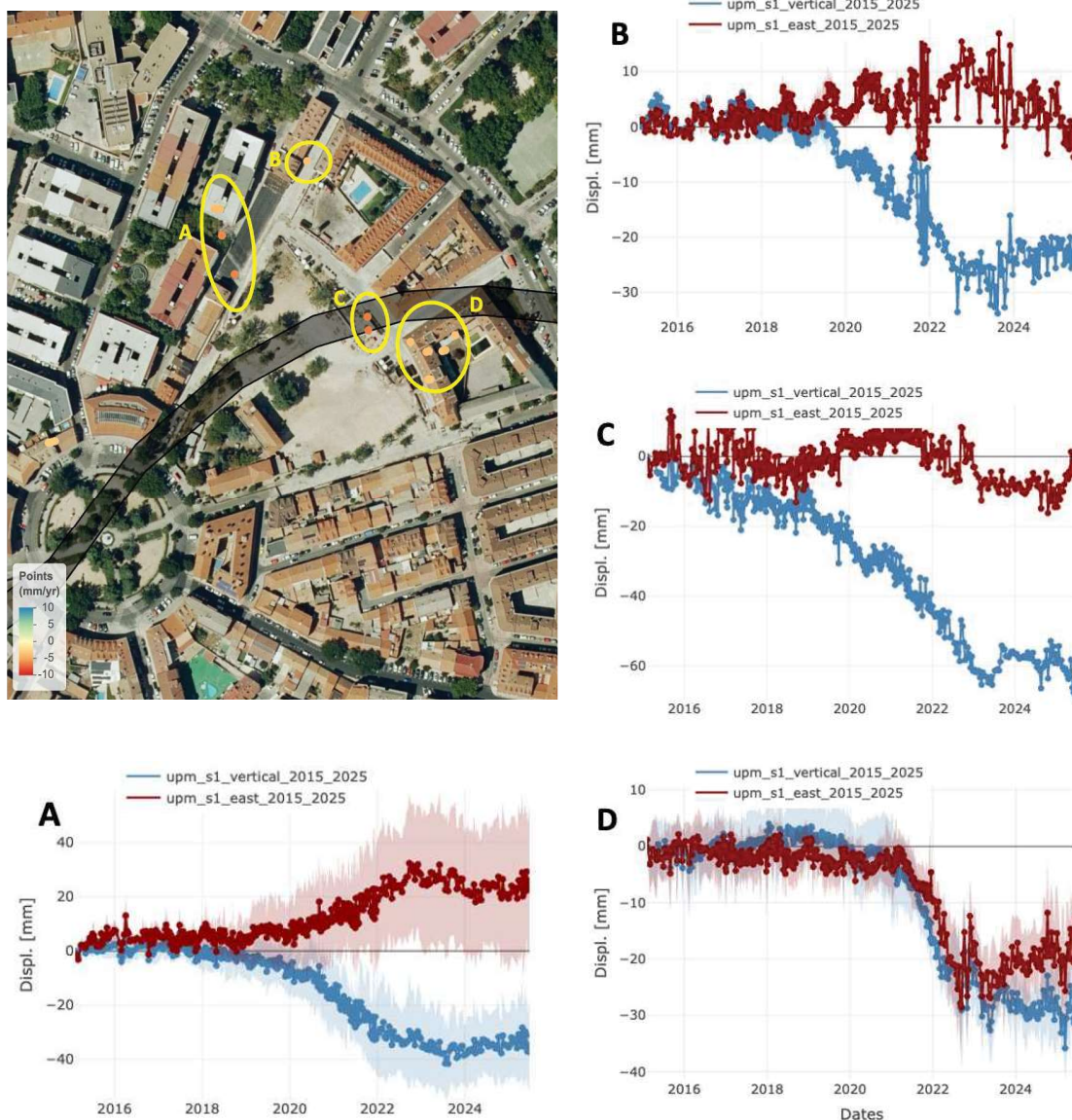


Figura 13. Series temporales para los 4 grupos de puntos con velocidades medias de subsidencias mayores a -3 mm/año. Para cada localización, se observa la serie temporal de movimientos en el eje vertical (color azul) y en planimetría este-oeste (color rojo).

En este periodo de tiempo se puede afirmar que el conjunto del territorio analizado presenta velocidades de movimientos mayores de +3 y -3 mm/año en diferentes zonas, la mayoría separadas.

No obstante y de acuerdo con la información recibida de la Comunidad de Madrid, conviene resaltar que, entre los puntos con mayores velocidades de movimiento que se visualizan en la figura 7 aparecen uno con valores de -3/-4 mm/año detectado a finales del año 2021 y que dio origen a la redacción e implantación del Plan Integral presentado en la Asamblea de Madrid el año 2022.

De acuerdo con los informes de las obras llevadas a cabo, el posible origen de estos movimientos en el cruce de la calle Presa y Rafel Alberti de San Fernando de Henares pudo tener causa en varios aspectos:

- El desfonde de un pozo de saneamiento que recirculaba el agua extraída del túnel.
- El incremento en los volúmenes de agua extraídos del túnel.
- Las construcciones muy antiguas con deficiencias constructivas.

El resto de puntos fuera del alcance de la infraestructura y cuyos movimientos se asemejan al comentado anteriormente no se analizan en este informe.

4.3.1.3 Entorno de la Avenida de San Sebastián

En esta zona, situada a unos 190 metros de la traza del túnel, se aprecia una **aceleración en la subsidencia a finales de 2016** que **se reduce a partir de abril de 2020**. En planimetría se aprecia un **movimiento hacia el este a principios de 2016**, posteriormente **se estabiliza** el movimiento y a partir 2022 se observa un **movimiento de recuperación hacia el oeste**.

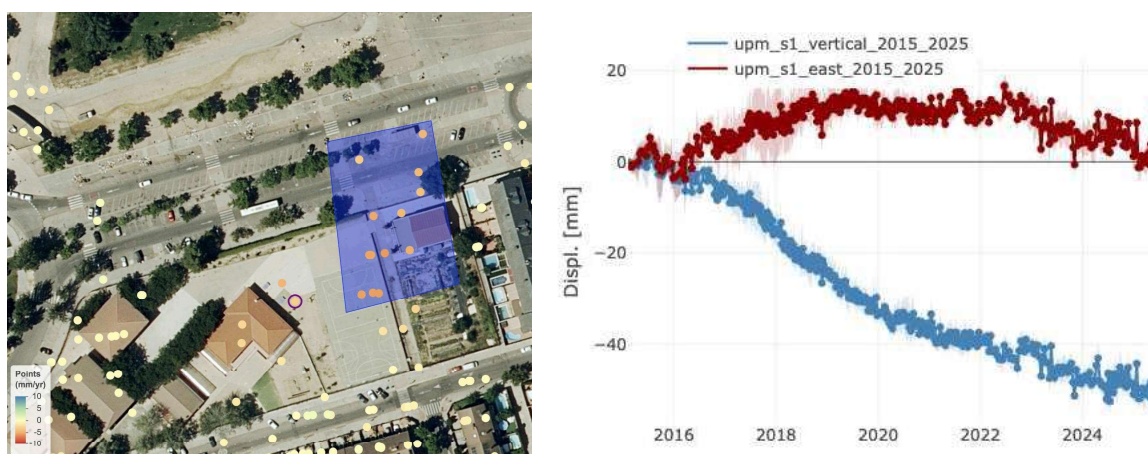


Figura 14. Velocidades medias de subsidencia para el periodo 2015-2025 con las series temporales de subsidencia en color azul y planimetría hacia el este en color rojo para el polígono seleccionado en el mapa.

No se ha analizado el origen de estos movimientos.

4.3.2 Coslada

En este apartado vamos a analizar las 2 zonas con velocidades medias de subsidencia mayores a -3 mm/año que se observan en la figura 9. La primera zona analizada se encuentra a más de 1km de distancia del trazado del metro, mientras que la segunda zona se encuentra a menos de 150m de la parada final del metro en Hospital del Henares.

4.3.2.1 Entorno de la Calle Luxemburgo con Avenida de Europa

En esta área se observan series temporales con deformaciones claras tanto en planimetría como en vertical (Figura 15). El movimiento en ambos ejes (vertical y planimetría) se estabiliza a partir de finales del año 2021 (Figura 15).

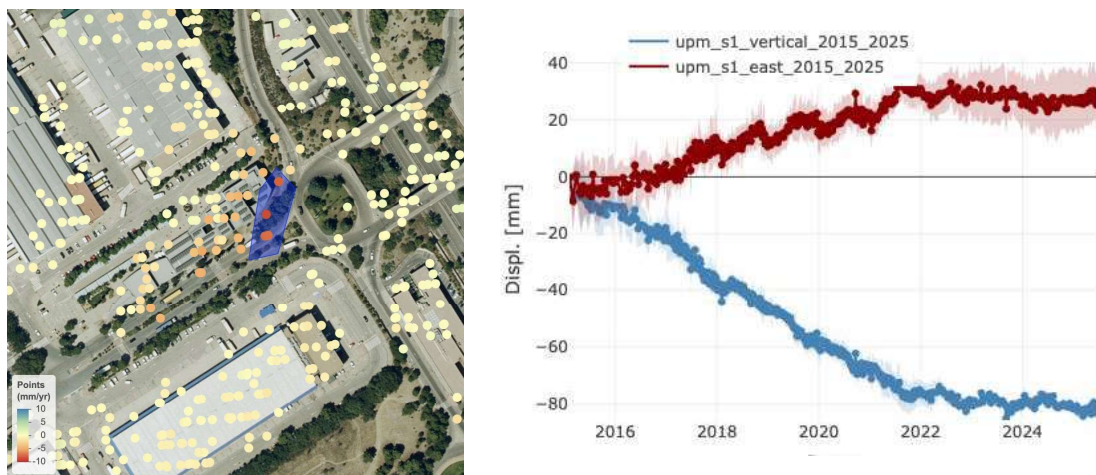


Figura 15. Velocidades medias de subsidencia para el periodo 2015-2025 con las series temporales de subsidencia en color azul y planimetría hacia el este en color rojo para el polígono seleccionado en el mapa.

No se ha analizado el origen de estos movimientos.

4.3.2.2 Entorno de la Avenida de Aleu i Riera con Avenida de Marie Curie

En la parte noreste y este de esta rotonda encontramos una área con subsidencia, 6 cm de deformación acumulada en el periodo que va de 2015 a julio de 2025 (Figura 16). En planimetría el área es más o menos estable (Figura 16).

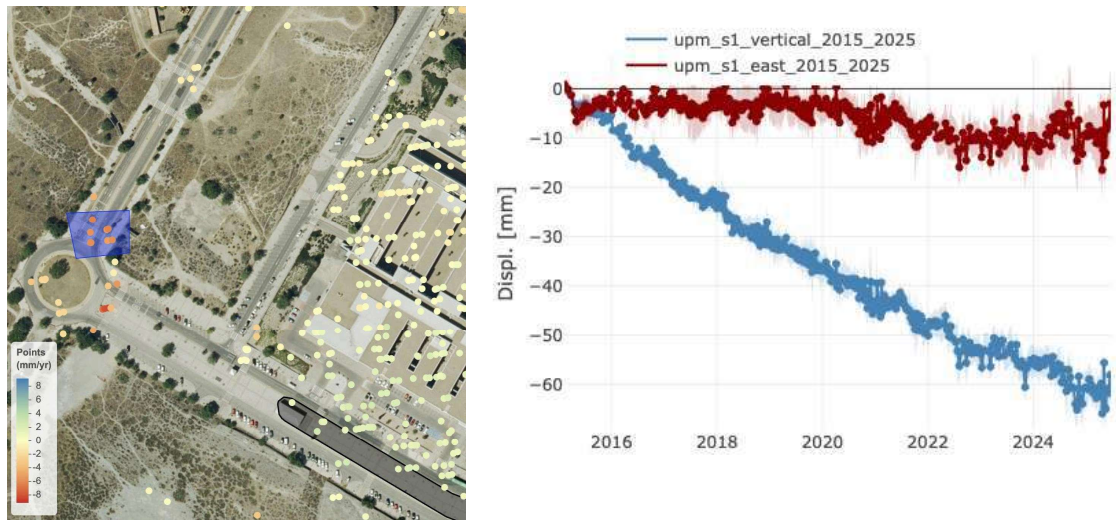


Figura 16. Velocidades medias de subsidencia para el periodo 2015-2025 con las series temporales de subsidencia en color azul y planimetría hacia el este en color rojo para el polígono seleccionado en el mapa.

De acuerdo con la información recibida de la Comunidad de Madrid, las diferencias de las lecturas temporales de altimetrías y planimetría se deben a las **intervenciones superficiales** que se han llevado a cabo en la traza del fondo de saco del final de línea. Estas obras tienen como objetivo **eliminar la filtración de aguas superficiales al túnel y los rellenos propuestos por el proyecto** correspondiente han elevado o decrecido la rasante del terreno en esa zona para crear pendientes que conduzcan el agua fuera del ámbito. Por tanto, estas lecturas no se podrían interpretar como movimientos del terreno sino como **cambios en la rasante** con motivo de las obras proyectadas.

4.4. Resultados COSMO-SkyMed (julio 2023 - mayo 2025)

Los procesados InSAR disponibles en banda X de COSMO-SkyMed comprenden el periodo que va de **julio de 2023 a mayo de 2025**. Este periodo solapa con el periodo analizado en banda C de Sentinel 1, analizados en el apartado anterior.

Se observa que ambos resultados, **Sentinel 1 y COSMO-SkyMed son coherentes en el periodo de solape en cualquier área que analicemos**. La figura 16 muestra algunos ejemplos donde las series de Sentinel 1 (en azul) y COSMO-SkyMed (en rojo)) poseen un comportamiento similar en el periodo de solape.

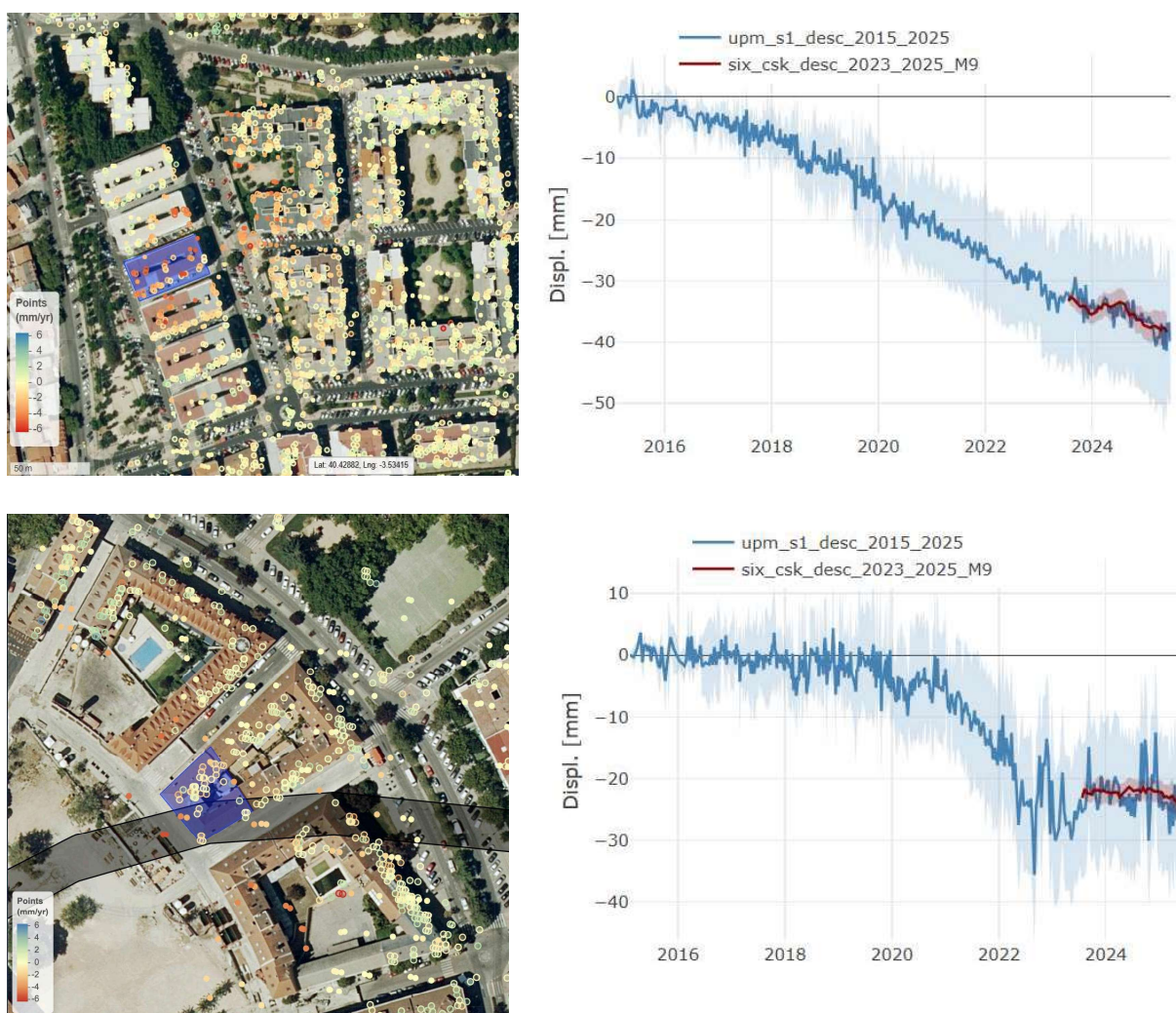


Figura 16. Velocidades medias en geometrías descendente para el periodo 2015-2025 con las series temporales obtenidas de Sentinel-1 en color azul y las obtenidas de Cosmo Skymed en color rojo para las áreas seleccionadas en el mapa (Avda. La Coruña, arriba; Calle Rafael Alberti, abajo).

Los resultados de COSMO-SkyMed, además de tener una mayor resolución espacial, permiten de forma sencilla identificar **áreas con movimientos reseñables entre los meses de julio de 2023 y mayo de 2025** (Figura 17).

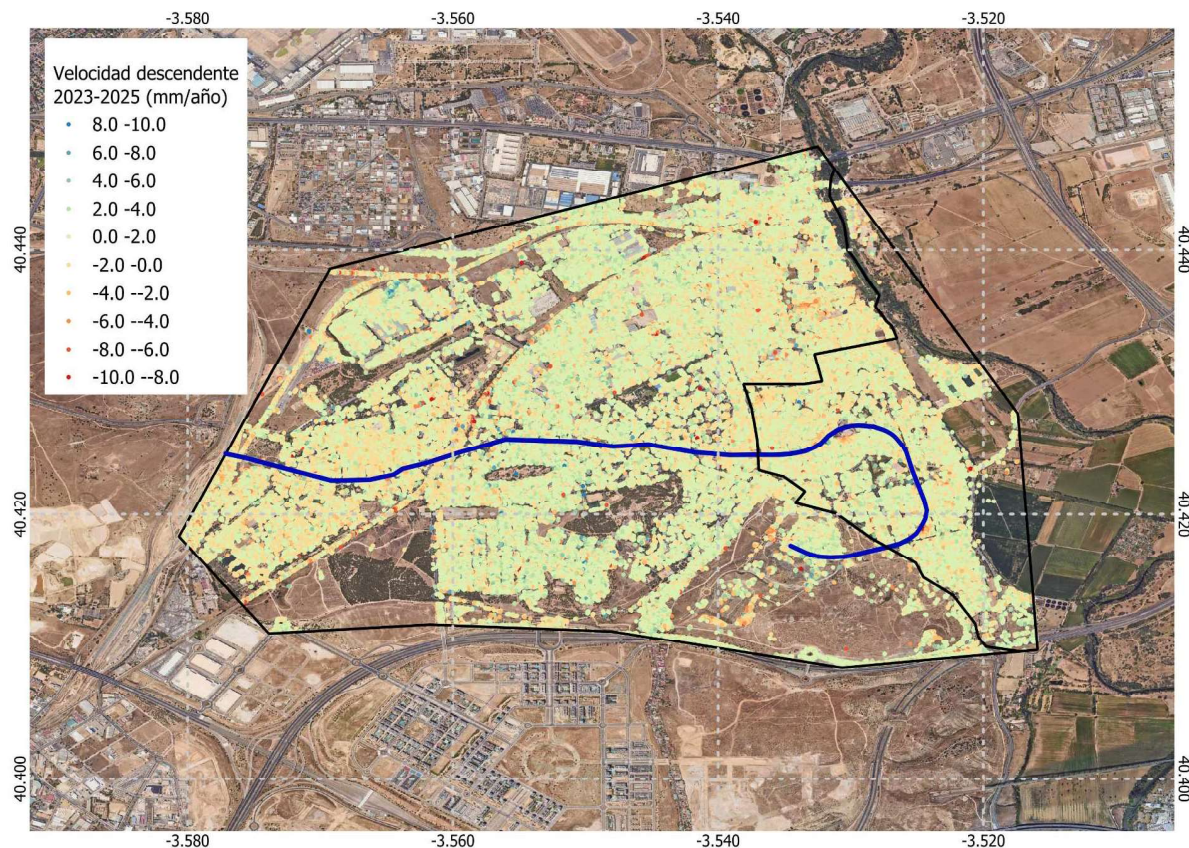


Figura 17. Velocidad media (mm/año) en geometría descendente en el periodo julio 2023-mayo 2025 en los municipios de Coslada y San Fernando de Henares (Madrid) con imágenes Cosmo-SkyMed.

Además de las áreas ya analizadas en el periodo Sentinel 1, observamos otras áreas cuyos movimientos son reseñables en el periodo 2023-2025.

El área del bloque de casas entre la **Calle de Nazario Calonge** y la **Calle del Jardín**, situada a 70-100 metros del túnel, sufrió un **cambio de tendencia en diciembre de 2022** tal y como se aprecia en la figura 18. La velocidad de deformación media registrada por Cosmo-SkyMed en geometría descendente en el polígono azul de la figura 18 está en torno a -2 mm/año con puntos que alcanzan los -7 mm/año.

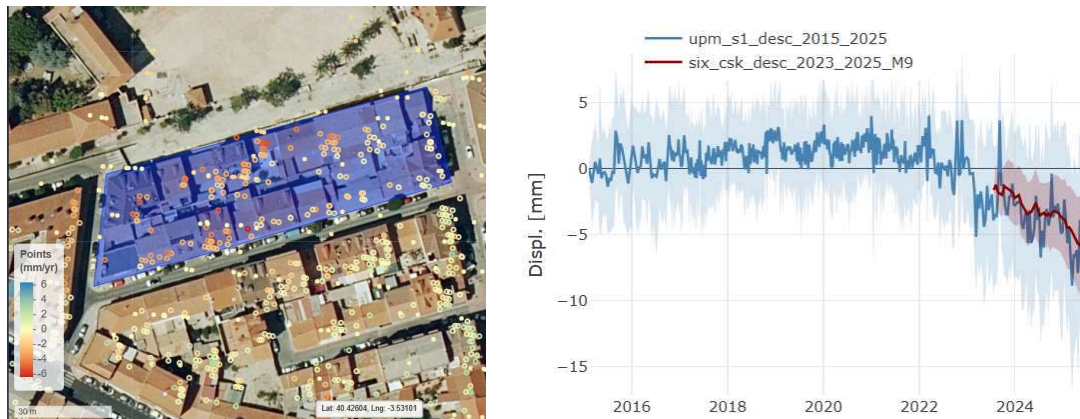


Figura 18. Velocidades medias en geometrías descendente para el periodo 2015-2025 con las series temporales obtenidas de Sentinel-1 en color azul y las obtenidas de Cosmo-Skymed en color rojo para el polígono seleccionado en el mapa.

Las **velocidades de deformación** en geometría descendente en esta área son **mayores** en puntos cercanos a la **Calle Jarama** y van disminuyendo conforme avanzamos hacia el este, hacia la **Calle de la Báscula**, tal y como muestra el perfil de velocidades de la figura 19. Se observa que las **deformaciones a ambos lados de la calle Jarama alcanzan los 4 mm/año** en el periodo Cosmo-SkyMed.

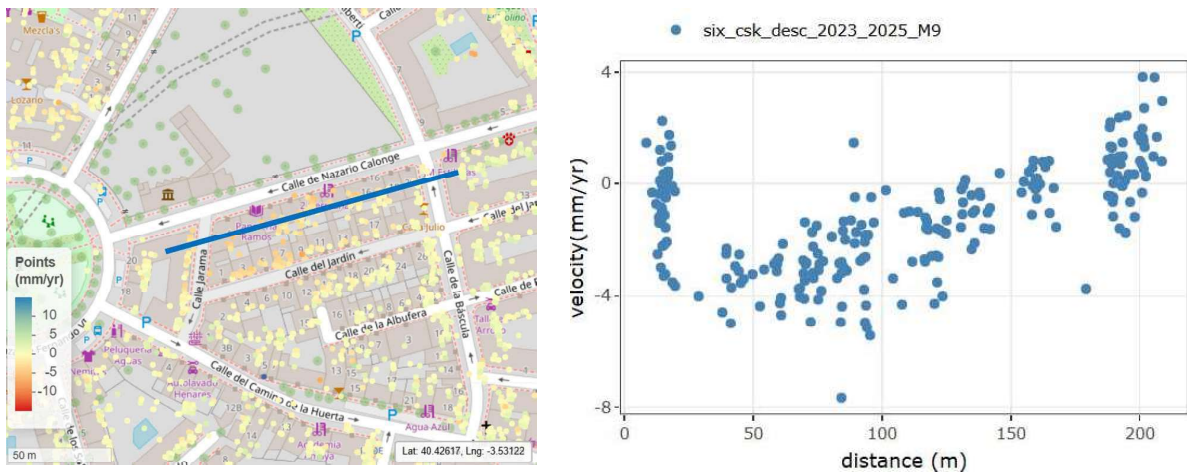


Figura 19. Izquierda) Velocidades medias en geometrías descendente para el periodo 2023-2025 a partir de imagen Cosmo-SkyMed, con el perfil de velocidades en color azul en el mapa. Derecha) evolución de las velocidades medias a lo largo del perfil, con el 0 en el extremo oeste del perfil (cercano a la plaza Fernando VI).

Se observa una **activación de las deformaciones a partir de 2022** en un área de la **Calle de Vitoria** (figura 20). Este área se encuentra pegada a la traza del túnel. La tendencia que marca Sentinel 1 es similar a la de Cosmo-SkyMed en el periodo de solape (figura 20).

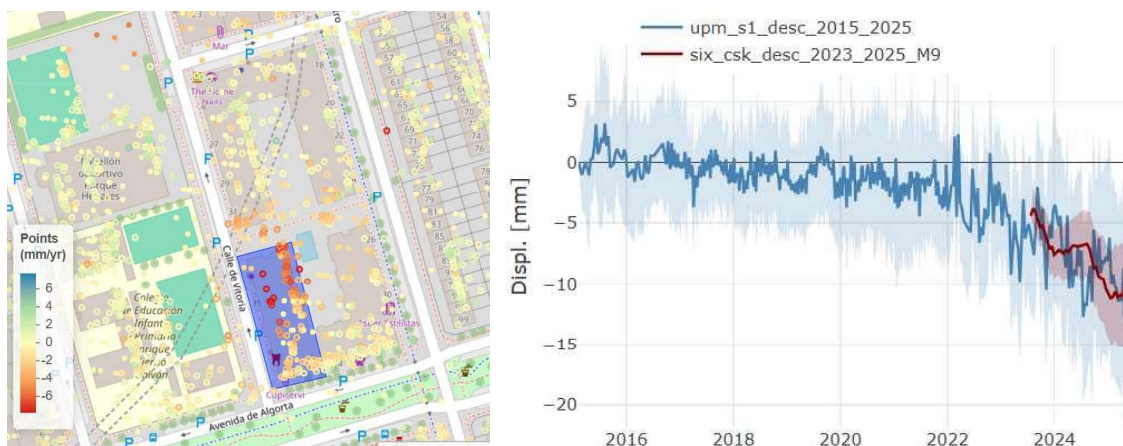


Figura 20. Velocidades medias en geometría descendente para el periodo 2015-2025 con las series temporales obtenidas de Sentinel-1 en color azul y las obtenidas de Cosmo-SkyMed en color rojo para el polígono seleccionado en el mapa.

Según la información recibida por la Comunidad de Madrid, estos movimientos fueron analizados una vez detectados y **no se estableció la causa directa con la infraestructura ferroviaria**, sino que se debió a otras causas ajenas a esta. En cualquier caso, se observa como las mediciones realizadas con Cosmo-SkyMed parecen estabilizarse a partir de enero de 2025.

En la **Calle de Desmond Tutu** (a 150 metros al este de la traza del túnel) se aprecia un área con claro **movimiento más o menos constante desde 2015**. El movimiento en el periodo de solape Sentinel-1 con Cosmo-SkyMed es similar en ambas fuentes de datos (figura 21).

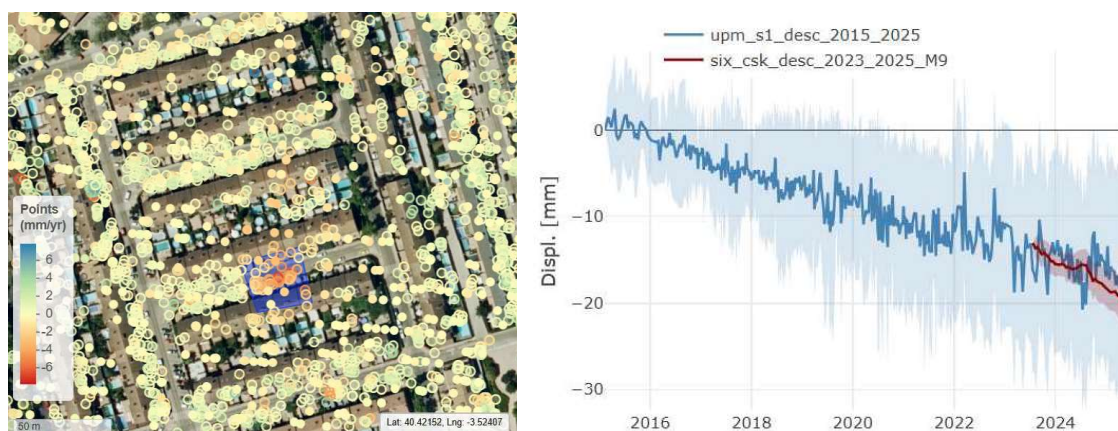


Figura 21. Velocidades medias en geometría descendente para el periodo 2015-2025 con las series temporales de Sentinel-1 en color azul y las de Cosmo-SkyMed en color rojo para el polígono seleccionado en el mapa.

Como en el caso anterior y según la **información recibida por la Comunidad de Madrid**, estos movimientos fueron analizados una vez detectados y **no se estableció la causa directa con la infraestructura ferroviaria**, sino que se debió a otras causas ajenas a esta.

Este movimiento también se aprecia de forma clara si realizamos con perfil de velocidades en el periodo 2023-2025 (figura 22).

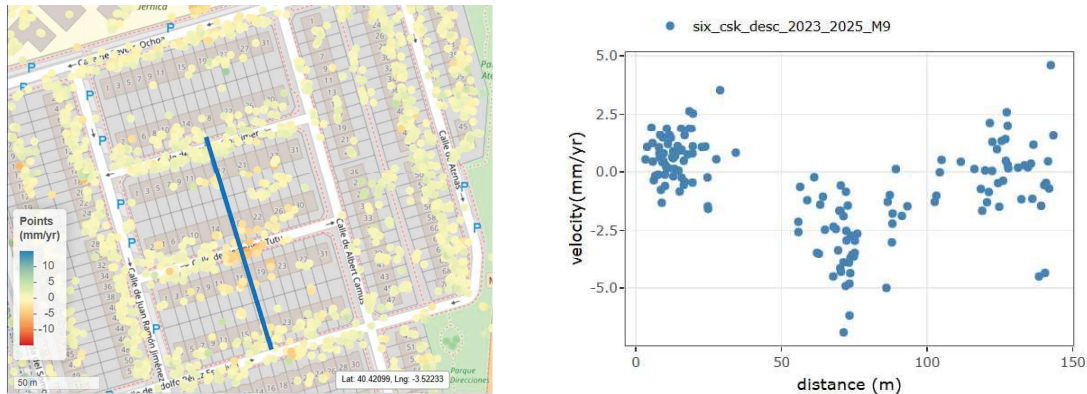


Figura 22. Izquierda) Velocidades medias en geometrías descendente para el periodo 2023-2025 a partir de imagen Cosmo-SkyMed, con el perfil de velocidades en color azul en el mapa. Derecha) evolución de las velocidades medias a lo largo del perfil, con el 0 en el extremo norte del perfil (Calle Nadine Gordiner).

En **Coslada**, entre los números 26 y 28 de la **Avenida de Santiago**, a más de 1 km de la traza del túnel, se observan velocidades medias superiores a 5 mm/año. La figura 23 muestra en un perfil de velocidades la zona con mayores velocidades de deformación.

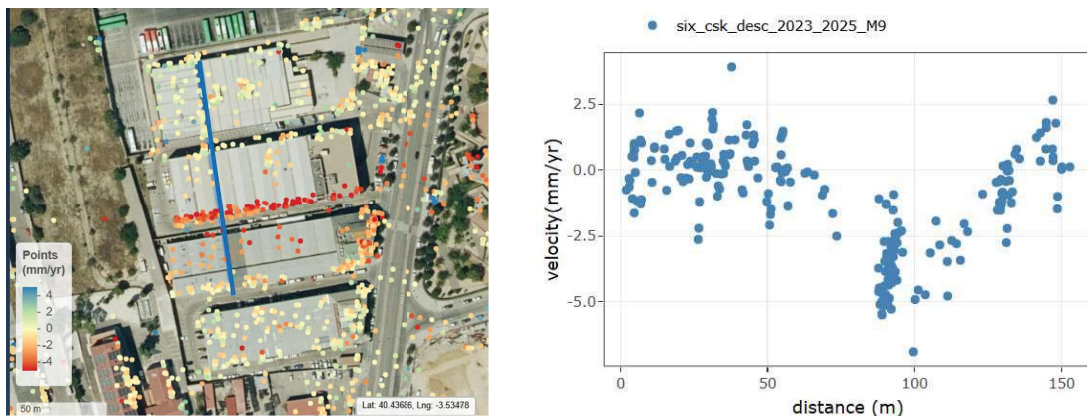


Figura 23. Izquierda) Velocidades medias en geometría descendente para el periodo 2023-2025 a partir de imagen Cosmo-SkyMed, con el perfil de velocidades en color azul en el mapa. Derecha) evolución de las velocidades medias a lo largo del perfil, con el 0 en el extremo norte del perfil (Calle Nadine Gordiner).



Si analizamos las series de deformación del periodo más largo (de 2015 a 2025 con Sentinel-1) vemos que **el movimiento en esta zona se activó a mediados de 2023** (figura 24).

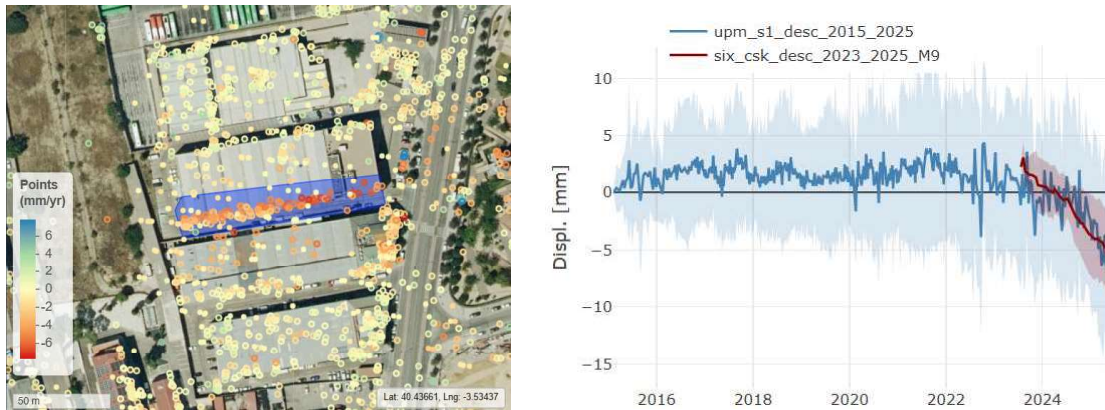


Figura 24. Velocidades medias en geometría descendente para el periodo 2015-2025 con las series temporales de Sentinel-1 en color azul y las de Cosmo-Skymed en color rojo para el polígono seleccionado en el mapa.

En el **Hospital del Henares** en torno a la **Avenida de Marie Curie**, prácticamente sobre la traza del túnel, se aprecia un **movimiento positivo en geometría descendente**. En el eje vertical del periodo Sentinel 1 se refiere a un pequeño y continuo levantamiento (1.4 mm/año de media).

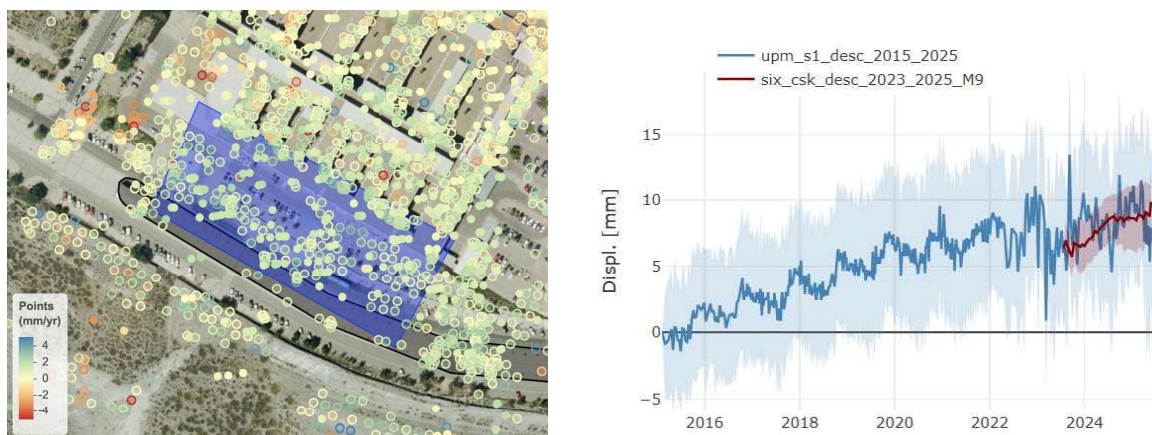


Figura 25. Velocidades medias en descendente para el periodo 2015-2025 con las series temporales de Sentinel-1 en color azul y las de Cosmo-Skymed en color rojo para el polígono seleccionado en el mapa.

Estos movimientos han sido comentados en el punto 4.3.2.2.



5. Conclusiones y recomendaciones

El análisis de los datos obtenidos con la metodología expuesta arroja una serie de recomendaciones y conclusiones.

5.1 Recomendaciones

Las recomendaciones que se exponen a continuación inciden en la heterogeneidad de los diferentes elementos que pueden incidir en los comportamientos del suelo, entendido este en sentido amplio de su significado, tanto en superficie como en su estratigrafía.

La diferente composición estratigráfica de los terrenos y los diferentes comportamientos de cada uno de los estratos que lo forman y, más aún, de las relaciones entre ellos, ponen de manifiesto la necesidad de monitorizar y auscultar de manera constante y con métodos redundantes sus movimientos.

Las infraestructuras tanto públicas como privadas deben ser mantenidas e inspeccionadas para anticipar cualquier problema que pueda surgir en el uso para el que están diseñadas.

En las infraestructuras públicas se aglutinan todas aquellas que prestan servicio a la ciudadanía y cuyo control debe ser más exhaustivo en zonas que se han presentado con ciertas vulnerabilidades respecto a su comportamiento como esta que se analiza en este informe.

Las infraestructuras privadas se componen fundamentalmente del parque inmobiliario de promoción privada cuya construcción y conservación debe vigilarse según la normativa sectorial que le corresponde.

5.2. Conclusiones

El análisis de los datos satelitales concluye con dos puntos fundamentales:

1. La exactitud milimétrica en las lecturas satelitales permiten interpretar los datos obtenidos junto con las intervenciones antrópicas que se hayan efectuado en la zona de lectura para establecer las causas de los posibles movimientos.
2. Los datos obtenidos de los movimientos de la superficie del terreno derivan de diferentes causas, entre otras:
 - a. La presencia de agua incrementa el volumen de ciertos estratos ocasionando elevaciones y su ausencia, depresiones.
 - b. La construcción de edificios que deprime las rasantes por entrar en carga el terreno o, la demolición que, por el contrario, descarga el terreno y produce ciertas elevaciones.
 - c. La ejecución de infraestructuras superficiales como las de urbanización, por ejemplo, modifican las lecturas obtenidas por los satélites.



- d. Las infraestructuras subterráneas con repercusión en superficie también inciden en las mediciones.

Es importante señalar cómo en la **zona de Rafael Alberti**, donde se han concentrado la mayoría de las patologías de las edificaciones, los **movimientos tanto verticales como horizontales se han estabilizado desde finales del año 2023**, posiblemente como consecuencia de los trabajos llevados a cabo en el área, tanto en superficie como en profundidad.

Se quiere también hacer notar la existencia de otras zonas distantes de la traza de la Línea de Metro, y por lo tanto fuera de su área de influencia, donde se han detectado movimientos considerables, algunos de ellos sin estabilizarse.

Por todo ello, en esta zona analizada, **se debe continuar con los sistemas de monitorización existentes, además del satelital** analizado en este informe, relacionando los datos obtenidos en cada uno de ellos y la **inspección de las infraestructuras tanto públicas como privadas de los entornos analizados**.

Fdo: