

## Aplicación de técnicas avanzadas de interferometría diferencial SAR para la detección de deformaciones del terreno en Madrid

R. Romero<sup>(1)</sup>, J. Domínguez<sup>(1)</sup>, D. Carrasco<sup>(1)</sup>, A. Martínez<sup>(1)</sup>, J.J. Mallorquí<sup>(2)</sup>, P. Blanco<sup>(2)</sup>, D. Navarrete<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Indra Espacio, Mar Egeo 4, 28850 San Fernando de Henares, Madrid. rromero@indra.es, jdcolino@indra.es, dcarrasco@indra.es, amlobo@indra.es.

<sup>(2)</sup>Dep. Teoria del Senyal i Comunicacions (TSC), Jordi Girona 1-3, 08034 Barcelona. mallorqui@tsc.upc.es, pblanco@tsc.upc.es

### Resumen

El uso de técnicas avanzadas de interferometría diferencial en un conjunto de imágenes SAR permite la detección de movimientos en el terreno con mayor precisión que las técnicas clásicas. En este documento se presentan los resultados de aplicar una de estas técnicas avanzadas en la ciudad de Madrid, donde ha sido detectada una deformación del terreno asociada a la variación del nivel de agua del acuífero detrítico del Terciario.

### 1. Introducción

La interferometría diferencial aplicada a imágenes SAR ha sido utilizada para la detección de deformaciones del terreno desde mediados de los 90 [3]. En condiciones favorables, esta técnica permite la obtención de mapas continuos de deformación de áreas extensas (100x100 km) con precisión centimétrica. La interferometría diferencial avanzada consiste en el procesado estadístico de múltiples interferogramas diferenciales para obtener información de deformación sólo en aquellos puntos que permanecen estables a lo largo del tiempo, bien en las imágenes de amplitud (Permanent Scatterers Technique [2]) o en las imágenes de coherencia (Coherent Pixels Technique [1]). Aquí hablamos de procesados de decenas de imágenes. Estas técnicas consiguen corregir la contribución atmosférica que enmascara pequeñas deformaciones. La precisión alcanzable permite medir deformaciones anuales por debajo del centímetro. El segundo método (CPT) es el utilizado en este trabajo para la detección de la deformación en el Noroeste de la ciudad de Madrid, cuya diferencia principal con la técnica de Permanent Scatterers es la elección de los puntos estables, que se realiza basándose en la coherencia, no en la amplitud. Esto permite reducir el conjunto de imágenes necesarias para obtener resultados. Este método ha sido ya probado con excelentes resultados en la ciudad de París [5].

### 2. Aplicación sobre Madrid

#### 2.1. Datos utilizados

Para la validación del algoritmo en la ciudad de Madrid se han utilizado dos conjuntos de imágenes independientes: uno con imágenes obtenidas en un pase ascendente y otro con las del pase descendente. Esto permite la validación del método, al contrastar los resultados con dos conjuntos independientes de imágenes. Además se ha utilizado para su verificación datos geofísicos.

En cada conjunto de imágenes se han utilizado todas las imágenes posibles tanto de ERS-1 y ERS-2 como de ENVISAT, entre el periodo de 1995 y 2004 para las descendentes, y entre 1998 y 2000 para las ascendentes.

#### 2.2. Procesado

Para la extracción de movimiento de la escena es preferible trabajar con interferogramas de línea de base por debajo de 50 m. Aún así no se puede garantizar que la coherencia obtenida en todos los interferogramas sea buena pues aparecen otras fuentes de decorrelación (por ejemplo, intervalo temporal y diferencia de Doppler), por lo que se realiza una post-selección posterior descartando los interferogramas de muy baja coherencia.

### 2.2.1. Imágenes descendentes

El área elegida para el procesado ha sido el norte de Madrid (Figura 1).

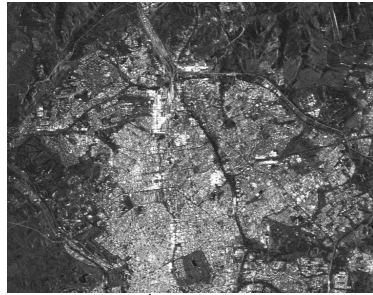


Figura 1: Área de procesado(14x14 km.)

Partiendo de 39 imágenes se generaron los interferogramas con línea de base menor de 150 m, obteniendo 75 interferogramas. El espaciado de píxel utilizado fue de 80 m. Se descartaron los interferogramas con coherencia media menor de 0.16, quedándonos en última instancia con 58 interferogramas.

Los puntos que superaron el umbral de coherencia de 0.3 en al menos un 70% de las imágenes fueron elegidos como píxeles coherentes para la serie. En la Figura 2 se puede ver la triangulación resultante de los puntos coherentes:

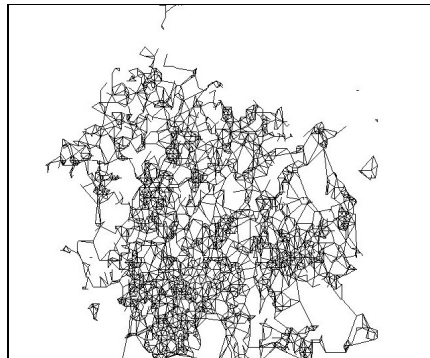


Figura 2: Triangulación de píxeles coherentes

### 2.2.2. Imágenes ascendentes

6 imágenes ascendentes fueron utilizadas y 3 interferogramas diferenciales fueron obtenidos. El espaciado de píxel fue también de 80 m. En este caso, al tener tan pocos interferogramas diferenciales todos fueron utilizados en el procesado.

### 2.3. Resultados

El procesado de los dos conjuntos de datos reveló un hundimiento de aproximadamente 3 cm. en dirección noroeste entre los años 1998 y 2000 (Figuras 3 y 4).

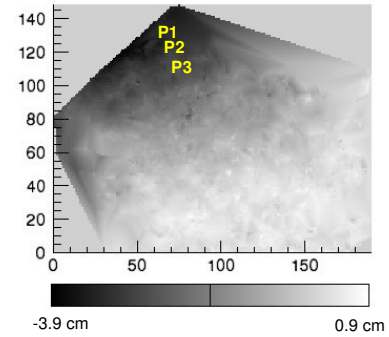


Figura 3: Deformación fase descendente

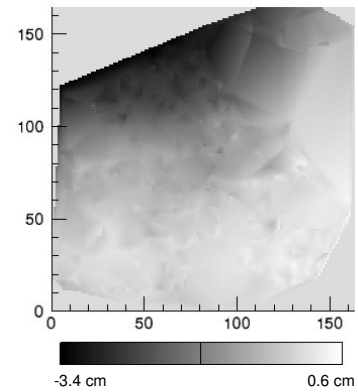


Figura 4: Deformación fase ascendente

Al ser reproducida la misma deformación en dos conjuntos independientes de datos, el hundimiento es confirmado. Para validar la deformación observada se utilizaron datos de variación del acuífero sobre el que está situado la ciudad de Madrid [4]. Este acuífero, denominado UH-05 Madrid-Talavera (o acuífero detrítico del Terciario) pertenece a la cuenca del Tajo. En la Figura 5 se aprecia la situación del acuífero dentro de la Comunidad de Madrid y bajo la capital.

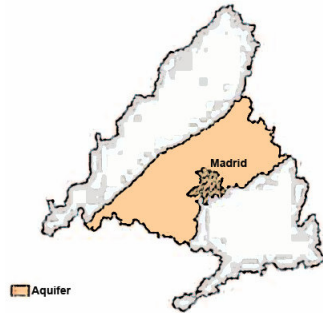


Figura 5: Situación del acuífero de Madrid

La información obtenida de distintas bases de datos sobre la evolución de los niveles de agua en este acuífero muestra que desde 1990 a 1994 el nivel de agua del acuífero descendió. Los datos de precipitación de agua de esos años reflejan también esa tendencia. Desde 1995 a 1998 las precipitaciones en España, en general, aumentaron, lo que se reflejó también en el nivel del acuífero. A partir de esa fecha se aprecia una caída, que es la que se ha detectado (Figura 6).

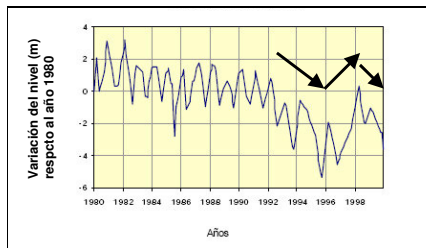


Figura 6: Evolución del acuífero de Madrid.

En el caso concreto de las imágenes descendentes, de las que tenemos un mayor conjunto de datos (y por tanto se puede obtener una

medida del movimiento no lineal), podemos observar como la deformación decrece de Norte a Sur. Para ello elegimos tres puntos significativos y observamos su curva de deformación con el tiempo (Figura 7).

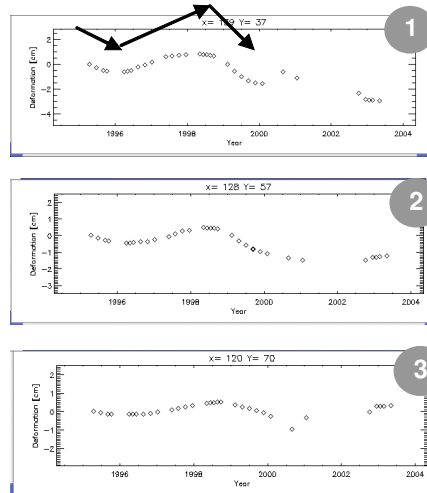


Figura 7: Disminución deformación Norte-Sur para los tres puntos marcados en la Figura 3.

En la gráfica del primer punto (elegido más al norte que el último), el hundimiento entre 1998 y 2000 es de unos 3 cm, mientras que en el punto de más abajo es de unos 2 cm.

### 3. Conclusiones

Se ha demostrado el uso de la técnica CPT como una herramienta apropiada para la detección de deformaciones en el terreno. La técnica ha quedado validada con dos conjuntos de imágenes independientes y confrontada con datos sobre el terreno.

El método es válido para el cálculo de velocidad lineal con muy pocos interferogramas y permite recuperar movimientos no lineales siempre que el conjunto de imágenes sea suficiente en el periodo en el que se ha producido la deformación.

#### 4. Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto "Development of Algorithms for the Exploitation of ERS-ENVISAT Using the Coherent Pixel Technique" financiado por la Agencia Europea del Espacio (ESA). Así mismo se agradece la financiación por parte del Programa Nacional del Espacio.

#### 5. Referencias

- [1] O. Mora, J. J. Mallorquí, A. Broquetas: "Linear and Non-Linear Terrain Deformation Maps from a Reduced Set of Interferometric SAR Images". IEEE Trans. On Geoscience and Remote Sensing, Vol. 41, No 10, pp. 2243-2253, October 2003
- [2] A. Ferretti, C. Prati, F. Rocca: "Permanent scatterers in SAR interferometry". IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 39, No 1, pp. 8-30, January 2001.
- [3] D. Massonnet, K. Feigl, M. Rossi, F. Adragna (1994): "Radar interferometric mapping of deformation in the year after the Landers earthquake". Nature, 369:227-30.
- [4] IGME, 1999. Llenado de acuíferos. <http://aguas.igme.es/igme/homec.htm>
- [5] J. J. Mallorquí, P. Blanco, D. Navarrete, A. Broquetas, D. Carrasco, A. Martínez, R. Romero, J. Domínguez: "ERS and ENVISAT long-term differential interferometry with the coherent pixels technique (CPT)". ENVISAT Symposium, September 2004.