

# Estudio y gestión de acuíferos mediante modelos acoplados hidrologico-geotécnicos e incorporación de la tecnología InSAR de satélite.

<sup>1</sup>Ldo. en C.C. Geológicas y Dpdo. en Hidrogeología. Eyser, S.A. jm.dominguez@eyser.com

<sup>2</sup>Lda. en Geología y Mcr. en Teledetección. Altamira Information, S.A. maria.defarago@altamira-information.com

## 1. Introducción.

Desde que se empezó a apuntar a la sobreexplotación de acuíferos como una de las causas de los problemas de subsidencia del terreno, los esfuerzos por predecir estos movimientos han permitido el desarrollo de los *modelos acoplados hidrologico-geotécnicos*.

Estos modelos se han usado tradicionalmente para evaluar y gestionar los riesgos geológicos inherentes a los procesos de subsidencia. Sin embargo, cuando se ha pretendido usar estas mismas herramientas para el estudio de acuíferos, surgía siempre la dificultad de medir adecuadamente los movimientos del terreno en grandes superficies mediante trabajos de topografía y de instrumentación geotécnica difícil de abordar en la mayoría de los casos.

## 2. Tecnología InSAR de satélite.

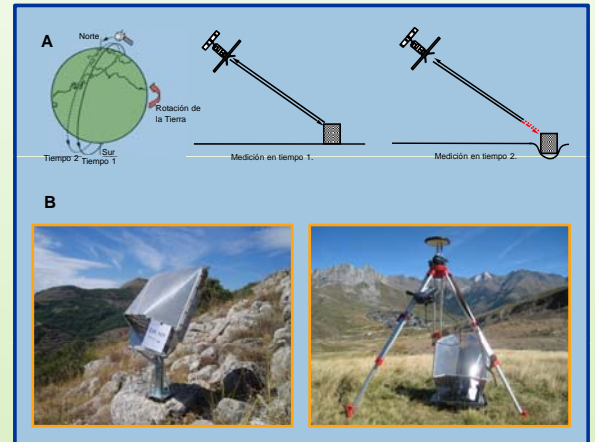
La tecnología InSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*) de satélite permite detectar movimientos de la superficie de la Tierra mediante imágenes radar con precisión milimétrica sobre grandes superficies, equiparándola con las técnicas geodésicas in situ más utilizadas.

Se trata de un análisis multitemporal, entre pares de imágenes próximas o alejadas en el tiempo, para seguir movimientos de varios meses o años, con frecuencias máximas de adquisición de imágenes que varían entre los 8 y 45 días actualmente y que permiten, además, estudios retrospectivos gracias a la disponibilidad de datos desde 1992.

FIGURA 1.

A.- El principio de la interferometría consiste en medir las diferencias de distancia entre el satélite y el suelo en pases sucesivos del satélite por una misma zona o punto. Si estas distancias o medidas se comparan en el tiempo, sus diferencias indican el movimiento del terreno.

B.- En zonas donde la densidad de "puntos estables" es baja, se pueden instalar reflectores artificiales (CRs), triedros de aluminio orientados de forma óptima al satélite, para obtener medidas exactamente donde se necesita.



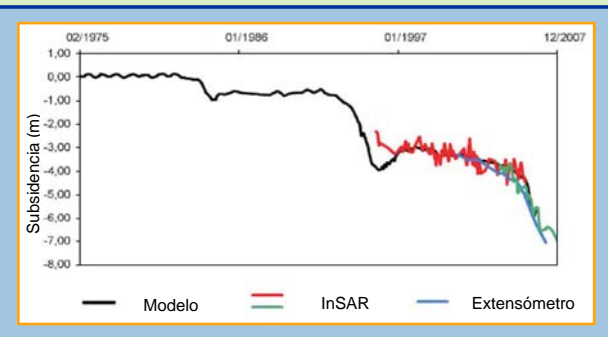
## 3. Modelos acoplados hidrologico-geotécnicos.

La geotecnia, a través de la mecánica de suelos, permite predecir la subsidencia del terreno cuando este se consolida al reducirse las presiones intersticiales e incrementarse las cargas efectivas como resultado de un descenso en la piezometría de un acuífero.

El desarrollo de modelos acoplados hidrologico-geotécnicos se basa fundamentalmente en la unión de modelos hidrogeológicos (o de flujo) y modelos geotécnicos (o de compactación), a los que mediante la tecnología InSAR, es posible incorporar los desplazamientos registrados sobre grandes superficies y en largos periodos de tiempo para obtener información de interés hidrogeológico.

FIGURA 2. Tomado de *Proyecto Terrafirma* (Herrera et al., 2009).

Predicción de las subsidencias en la ciudad de Murcia (España) mediante un modelo de compactación de elementos finitos y ajuste de la predicción a los datos suministrados mediante tecnología InSAR e instrumentación geotécnica.



## 4. Aplicaciones en hidrogeología.

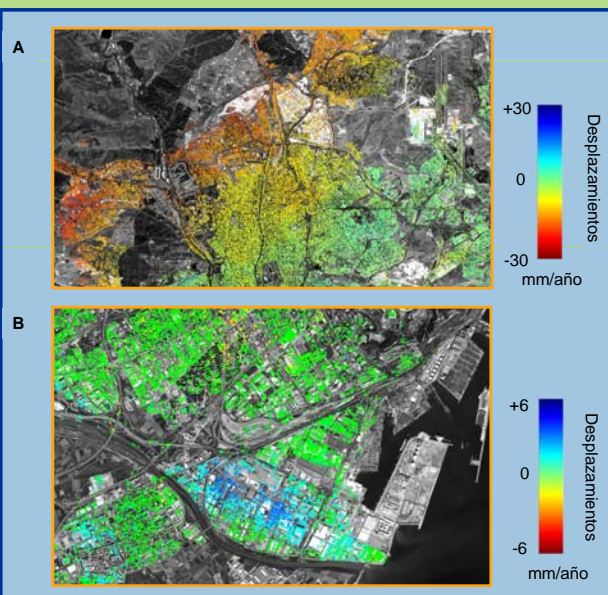
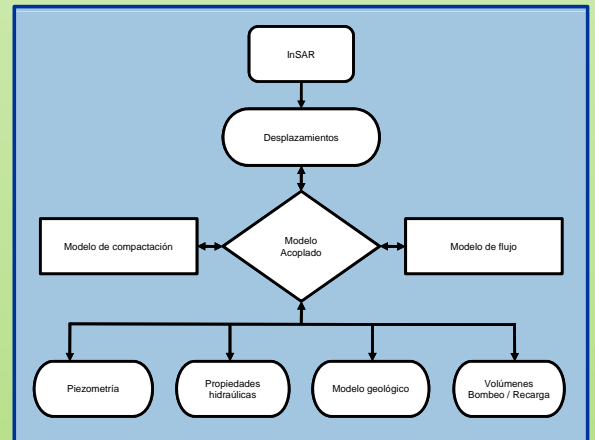
A partir de los valores de deformación vertical del terreno y mediante los modelos de compactación, se pueden estimar los parámetros hidráulicos de un acuífero si conocemos la correspondiente piezometría del acuífero y, a la inversa, también se puede estimar la evolución piezométrica si partimos de las propiedades hidrogeológicas del acuífero.

Todos estos datos se pueden incorporar a un modelo de flujo para su calibración y estimar, por ejemplo, volúmenes de explotación. Los datos de subsidencia pueden ayudar además, a la mejora de los modelos hidrogeológicos mediante la detección de límites, controles estructurales y/o estratigráficos en un acuífero inferidos a partir de los datos de deformación del terreno.

FIGURA 3.

Los modelos acoplados permiten la integración conjunta de los análisis propios de los modelos de compactación y de los de flujo para el estudio de acuíferos mediante la incorporación de la información relativa a los desplazamientos en superficie que aporta la tecnología InSAR.

Actualmente modelos de flujo como MODFLOW ya incorporan módulos de compactación y subsidencia en los acuíferos, existiendo otras herramientas de modelización numérica que permiten el análisis acoplado de tensiones-flujo para el estudio de la localización de niveles freáticos.



## 5. Conclusiones.

La aplicación de tecnologías de Interferometría Radar de Apertura Sintética (InSAR) por satélite, permite actualmente registrar los movimientos del terreno en múltiples puntos y grandes superficies con la resolución, precisión y frecuencia necesarias para integrarlas en los modelos acoplados hidrologico-geotécnicos, minimizando los esfuerzos de medidas de campo y evitando los errores propios de su correspondiente lectura y manipulación de datos.

De este modo, tal y como vienen demostrando ya algunas experiencias recientes, el uso conjunto de ambas tecnologías resulta ser una excelente herramienta para evaluar las variaciones en el volumen de las masas de agua subterránea y mejorar nuestro conocimiento sobre su funcionamiento hidrogeológico, presentándose, además, como un nuevo instrumento para la gestión y vigilancia de los acuíferos.

## 6. Bibliografía

□ González P.J., and Fernández J. (2011). "Drought-driven transient aquifer compaction imaged using multitemporal satellite radar interferometry", *Geology*, 39 (6), 551-554

□ Herrera, G. [et al.]. (2009). "Validation and comparison of Advanced Differential Interferometry Techniques: Murcia metropolitan area case study.", *PandRS(64)*, 5, 501-512.

□ Leake, S.A., and Galloway, D.L. (2007). "MODFLOW ground-water model: User guide to the Subsidence and Aquifer-System compaction Package (SUB-WT) for Water-Table Aquifers: U.S. Geological Survey Techniques and Methods Report 6-A23.

□ Romero, R. [et al.]. (2005). "Aplicación de técnicas avanzadas de interferometría diferencial SAR para la detección de deformaciones del terreno en Madrid". *Revista de teledetección*, 24, 11-14.

□ Serrano, M.<sup>o</sup>E. (2006). "Revisión de los modelos acoplados hidrologico-geotécnicos en el estudio del fenómeno de subsidencia por consolidación del terreno ligada a descensos del nivel freático", Tesis de Master de Ingeniería Geológica, Universidad Complutense de Madrid.

□ Tomás, R. [et al.]. (2006). "Hydrological Parameters of the Vega Media of the Segura River Aquifer (SE Spain) Obtained by means of Advanced DInSAR", *Proceedings of the IEEE Intl. Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 3, 1553-1556.

□ Tomas, R. [et al.]. (2011). "Persistent Scatterer Interferometry subsidence data exploitation using spatial tools: The Vega Media of the Segura River Basin case study.", *Journal of Hydrology*, 400, 3-4.

□ Tufekci, N. [et al.]. (2010). "An InSAR based methodology for estimating groundwater pumping", *Poster, Abstract. Remote Sensing Symposium, Delft-The Netherlands*.

Más información de interés en [www.terrafirma.eu.com](http://www.terrafirma.eu.com)

### CARACTERIZACION DE ACUIFEROS

Mejora de modelos geológicos.  
Estimación de parámetros hidrogeológicos.

### VIGILANCIA Y CONTROL DE ACUIFEROS

Detección de zonas de extracción.  
Control de procesos de recarga artificial.  
Diseño de redes de control.  
Estimación de volúmenes.

### GESTION Y PLANIFICACION DE ACUIFEROS

Selección de zonas y periodos de explotación.

FIGURA 4.

A.- Aproximación a las subsidencias en el entorno de la ciudad de Madrid obtenida a partir de datos InSAR de 2004 a 2008 y que revela hundimientos al noroeste de la ciudad en las zonas de mayor explotación del Acuífero Detritivo de Madrid.

B.- Mapa InSAR de movimientos de la zona Prat del Delta del Llobregat (Barcelona) para el periodo 2008 a 2010 que muestra zonas de levantamiento asociadas probablemente a la recuperación del acuífero del Llobregat como consecuencia de la reducción de la actividad extractiva industrial y/o de la recarga artificial profunda realizada en la zona.