

Hi

HIDROCARBUROS

Monitorización de campos de hidrocarburos con imágenes de satélite radar

Introducción a la tecnología y a sus aplicaciones en el sector del petróleo, el gas y otros

La monitorización con imágenes de satélite radar para medir el movimiento de la superficie del terreno en el tiempo es una tecnología que se aplica a diferentes áreas del sector de hidrocarburos. En el presente artículo se explica esta tecnología y se describen sus aplicaciones en la monitorización de yacimientos de petróleo y de gas, de almacenamientos subterráneos de gas y de CO₂, y en la construcción y mantenimiento de refinerías.



A. Arnaud,
Director General
J. Granda,
Directora Comercial
M.J. Banwell
Altamira Information,
S. L.

LA MONITORIZACIÓN de zonas con imágenes de satélite radar es un método que mide desde el espacio los movimientos de la superficie con precisión milimétrica.

Debido a la alta precisión de medición, se pueden identificar, localizar y cuantificar desplazamientos muy pequeños. Por esta razón, se trata de un sistema de alerta que permite informar a tiempo a los ingenieros del petróleo de los riesgos que pueden suponer estos movimientos para sus infraestructuras y medir el impacto de sus actividades en los alrededores.

Los principales objetivos de la vigilancia con imágenes de satélite radar son, por una parte, la gestión y la prevención de riesgos y, por otra parte, la mejora en la eficiencia del proceso de extracción. Especialmente cuando se trata de extracción mejorada de petróleo, donde la vigilancia del desplazamiento de la superficie puede dar indicaciones sobre la distribución de las inyecciones subterráneas. Otra área de aplicaciones es el almacenamiento subterráneo de CO₂; la monitorización de la superficie permite identificar las zonas de potencial riesgo de inestabilidades.

Altamira Information tiene presente que la vigilancia por satélite radar no es el único método capaz de medir el desplazamiento de la superficie. Sin embargo, las mediciones con satélites de radar y, más concretamente, la técnica de la interferometría son una solución innovadora que complementa los métodos existentes gracias a su precisión, extensión y eficacia de medición.

1. Introducción a la tecnología

1.1. Definición de la tecnología "InSAR"

La tecnología utilizada para detectar el movimiento de la superficie con una precisión milimétrica es la tecnología InSAR o "interferometría de radar de apertura sintética" (*"Interferometric Synthetic Aperture Radar"*).

El radar de apertura sintética es un sistema de radar instalado a bordo del satélite. Las imágenes radar permiten la medición exacta de la distancia entre el satélite y la Tierra, y es función de la longitud de onda de radar.

"Interferometría" significa que hay una superposición de ondas

UN SATÉLITE RADAR CUBRE TODA LA SUPERFICIE TERRESTRE, LO QUE LE LLEVA ENTRE 11 Y 45 DÍAS DEPENDIENDO DEL SATÉLITE DE QUE SE TRATE

(varias imágenes de satélite radar) para detectar el movimiento de la superficie en el tiempo, es decir, que las imágenes de satélite tomadas en diferentes momentos se comparan con las demás para detectar el desplazamiento.

1.2. Los satélites radar

Un satélite radar está en órbita polar continua alrededor del globo terráqueo: se eleva de Sur a Norte, para después descender por el otro lado de Norte a Sur. El satélite se encuentra a una altitud de unos 800 km de la Tierra y da la vuelta a la misma en aproximadamente 100 minutos durante los cuales la Tierra está en rotación. De modo que el satélite, pasados los 100 minutos, no está en la ubicación exacta del paso anterior, sino más al Oeste. Por lo tanto, con el paso del tiempo, el mismo satélite cubre toda la superficie terrestre, lo que le lleva entre 11 y 45 días, dependiendo del satélite. El período necesario para que el satélite vuelva a cubrir exactamente el mismo lugar sobre el terreno, se llama el "ciclo de la revisita".

Los satélites ERS y Envisat son satélites que pertenecen a la Agencia Espacial Europea (ESA); el satélite TerraSAR-X pertenece a EADS y a la Agencia Espacial Alemana (DLR), y sus datos son comercializados por Infoterra GmbH; los satélites Radarsat-1 y Radarsat-2, a la Agencia Espacial Canadiense (CSA), y el ALOS, a la Agencia de Exploración Aeroespacial Japonesa (JAXA).

Los satélites utilizados mayoritariamente por Altamira Information son ERS, Envisat, TerraSAR-X y Radarsat-2. Estos satélites tienen características y costes de imágenes diferentes; de este modo, la elec-

ción de utilizar un satélite u otro se basa en las necesidades y el presupuesto disponible del cliente para cada proyecto.

- ERS 1/2 (lanzado en 1992 y 1995) y Envisat (lanzado en 2002). Estos satélites se utilizan principalmente para estudios históricos de los movimientos debido a la disponibilidad de imágenes de archivo desde 1992. Para estos proyectos, el largo ciclo de revisita de alguno de estos satélites (35 días) no es una desventaja, porque los datos ya están disponibles en el archivo. Las áreas cubiertas por estas imágenes de archivo son, en primer lugar, Europa, África del Norte y, más recientemente, una parte de Canadá. El satélite Envisat también puede ser utilizado para la monitorización con datos actualizados, aunque su largo ciclo de revisita hace complejo el seguimiento, ya que, para monitorizaciones del movimiento, se suelen requerir una mayor frecuencia de actualización de datos. La ventaja del satélite Envisat es el bajo coste de las imágenes. En su contra está el hecho de que su vida útil haya sido sobrepasada; por lo tanto, su capacidad para satisfacer los requisitos de seguimiento a medio y largo plazo es incierta.

- TerraSAR-X es un nuevo satélite cuyo ciclo de revisita es muy corto (11 días) y cuyas imágenes tienen mayor resolución. Este satélite tiene pocas imágenes de archivo, ya que se lanzó a finales del 2007. Este hecho no supone una desventaja si el principal interés del estudio es el presente y el futuro (el archivo

necesario para empezar a medir se construye en 4 meses). El principal inconveniente de este satélite es el alto coste de los datos.

- Radarsat-1 y Radarsat-2 son satélites con un ciclo de revisita de 24 días. A través de Radarsat-2 están disponibles las imágenes de alta resolución. El satélite Radarsat-1 se utiliza para el análisis histórico en las zonas no cubiertas por Envisat (por ejemplo, el continente americano). En cuanto a Radarsat-2, lanzado en 2006, se utiliza para vigilar los movimientos de suelo con los datos del futuro.

1.3. Las mediciones de desplazamiento de la superficie

El funcionamiento de la tecnología se ilustra en la Figura 2.

En un primer recorrido del satélite, en el que éste pasa por un punto concreto de la Tierra, se mide la distancia entre el satélite y la superficie en fracciones de longitud de onda. En un segundo paso del satélite, la distancia entre el satélite y el suelo se medirá de nuevo y las dos medidas se comparan entre ellas. Una diferencia de la distancia entre estos dos momentos indica un movimiento en la superficie del terreno:

- Cuando la distancia crece, el suelo se hunde; mientras que
- Cuando la distancia disminuye, hay un fenómeno de elevación del suelo.

La Figura 3 muestra un ejemplo de la medición de la ciudad de Barcelona entre 2003 y 2008. El mapa

Figura 1
Satélites radar utilizados mayoritariamente por Altamira Information

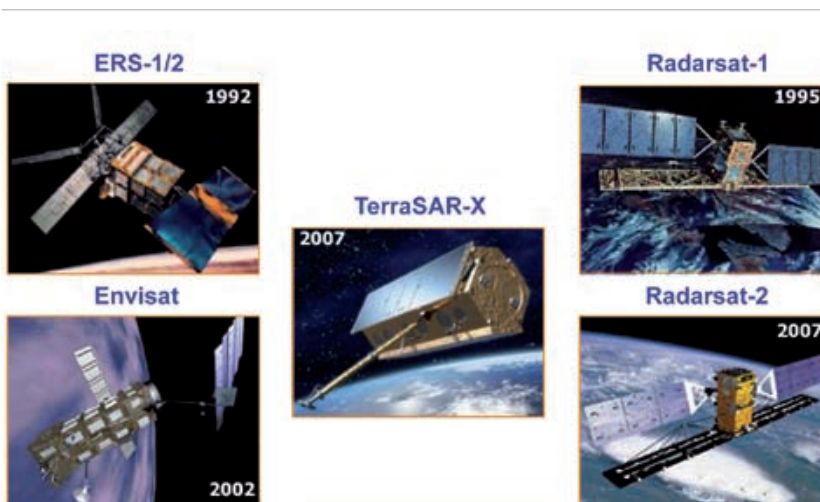
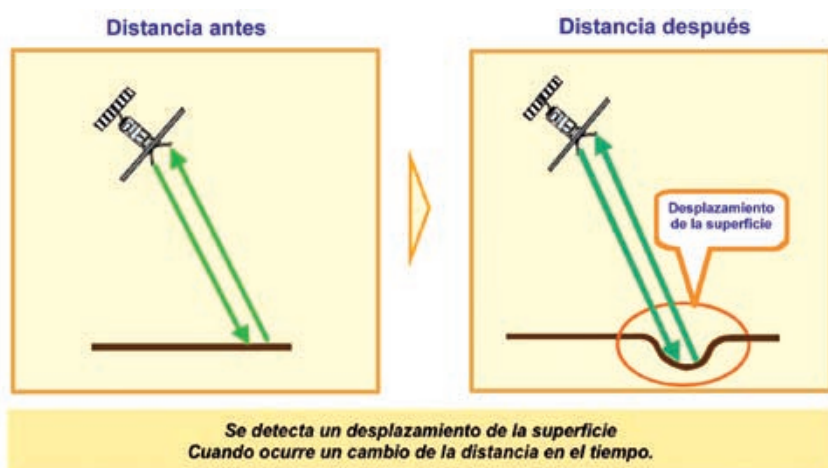


Figura 2
Descripción de la tecnología InSAR



muestra el movimiento medio al año en la zona de interés. El color verde indica una zona estable (centro) y el rojo indica un hundimiento (en promedio, un hundimiento anual de un centímetro).

El objetivo del proyecto era medir el movimiento de la superficie en la ciudad de Barcelona. Para lograr estos resultados, se han utilizado los archivos de imágenes de satélite Envisat.

Estos resultados permiten conocer en detalle el funcionamiento y las limitaciones de la tecnología InSAR:

- Hay una alta cantidad de puntos de medición en el área de interés. No hubo ninguna instalación previa para la obtención de puntos de medición: todos ellos son puntos de reflexión

de la señal radar de los edificios existentes en esta zona urbana. Estos puntos se denominan "puntos naturales". Por lo tanto, la tecnología InSAR consigue una muy alta densidad de puntos de medición en las zonas urbanas y semi-urbanas.

- Hay un menor número de puntos de medición en el noroeste de Barcelona debido a la presencia de árboles, que no son puntos estables de reflexión de la señal del radar. Por lo tanto, la tecnología InSAR no puede medir los puntos naturales en las áreas cubiertas con árboles o vegetación (bosques, pastizales, cultivos).

- No hay puntos de medición en las calles. De hecho, las calles sufren cambios continuos por el tráfico de vehículos. La conclusión es que la

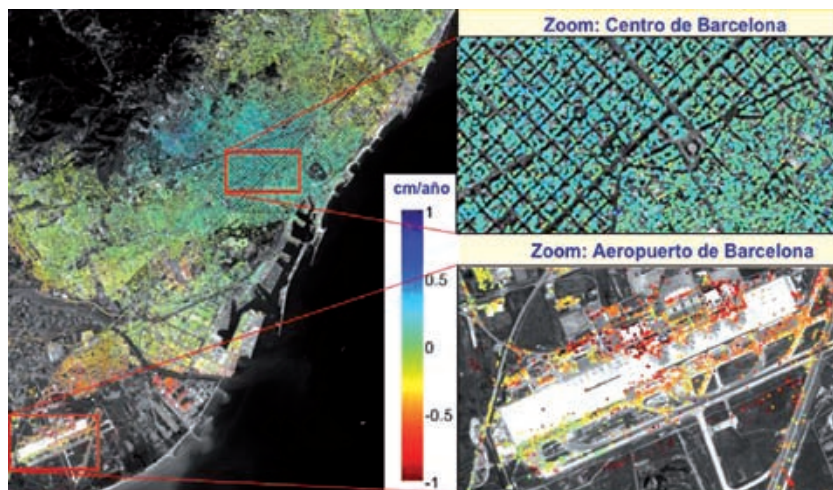
LOS PRINCIPALES OBJETIVOS DE LA TECNOLOGÍA SON LA GESTIÓN Y PREVENCIÓN DE RIESGOS Y LA MEJORA EN LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN

tecnología InSAR no puede medir las zonas que sufren cambios durante el período de medición. Esto se aplica a las calles y también a zonas en construcción, por ejemplo, edificios u obras de infraestructura.

Para concluir: la tecnología InSAR es muy precisa y fiable. Dispone de una alta densidad de puntos de mediciones en zonas con edificios e infraestructuras que no sufren cambios en la superficie durante el período de medición.

Si es necesario medir el movimiento de la superficie en una zona donde no hay suficientes puntos naturales (por ejemplo, sin infraestructuras o edificios), existe la posibilidad de instalar reflectores artificiales para asegurar puntos de medición. El reflector artificial es un triedro de aluminio que refleja la señal de radar de manera óptima (Fig. 4).

Figura 3
Ejemplo de resultados: Movimiento medio de la superficie de Barcelona 2003-2008. Zona verde, estable; zona roja, hundimientos



1.4. La frecuencia de actualización con datos del futuro

Una alta frecuencia de actualización de datos es importante para poder detectar a tiempo irregularidades en la superficie.

La posible frecuencia de actualización varía con el satélite: por ejemplo, con el satélite Envisat la máxima frecuencia suele ser 6 meses; y con el Radarsat-2 tres meses. Si se utiliza el satélite TerraSAR-X, se puede conseguir una actualización mensual, bimensual o, incluso, semanal. En el último caso, se tendrían que combinar diferentes órbitas.

Figura 4
Los puntos de medición



2. La tecnología aplicada al sector de hidrocarburos

La monitorización con imágenes de satélite radar se aplica a diferentes áreas del sector de hidrocarburos, como la extracción, el almacenamiento de gas (también de CO_2) y la vigilancia y el mantenimiento de las refinerías.

2.1. La extracción de gas y petróleo

La tecnología InSAR puede contribuir a la seguridad del proceso de extracción de gas y petróleo, como en el caso de una extracción excesiva donde, en un caso extremo, se puede causar una compactación del depósito. La monitorización del desplazamiento de la superficie ayuda a identificar a tiempo las zonas de alto riesgo del depósito que en un futuro pueden sufrir una compactación. La detección precoz de riesgos permite tomar medidas correctivas antes de que ocurra cualquier accidente.

Adicionalmente al riesgo de compactación, existe el riesgo de daños en las infraestructuras de los campos de gas y de petróleo, debido a los cambios que se producen en el subsuelo durante las extracciones. Un mapa de desplazamiento de superficie con exactitud milimétrica contribuye a identificar y cuantificar las zonas de riesgo para las infraestructuras. Incluso antes de notarse cualquier daño en infraestructuras, se pueden identificar desplazamientos milimétricos en la superficie y su velocidad en el tiempo,

con la ventaja de poder estimar su evolución en el futuro.

Además, la tecnología InSAR puede aumentar la eficiencia en la extracción de petróleo, sobre todo en el ámbito de recuperación mejorada de petróleo (Enhanced Oil Recovery, EOR). Una de las dificultades de EOR suele consistir en que las empresas petroleras no conozcan exactamente donde están localizadas en el subsuelo las inyecciones de vapor de agua que ayudan a recuperar el petróleo. Un conocimiento exacto de la distribución subterránea de las inyecciones permite optimizar los recursos de las mismas. La medición milimétrica de los movimientos en la superficie con la tecnología InSAR permite concluir sobre la distribución de las inyecciones subterráneas, debido a que una presencia acumulada de inyecciones puede causar un elevamiento de la superficie.

Cada una de las zonas de extracción tiene sus propias características: profundidad, presencia de vegetación más o menos importante y estructura del subsuelo. Es cierto que el movimiento de la superficie del terreno no siempre refleja toda la actividad subterránea, especialmente cuando los depósitos están a varios miles de metros de profundidad. Aún así, gracias a la precisión milimétrica, los movimientos subterráneos, incluso cuando están profundos, a menudo tienen un impacto en la superficie.

La presencia de puntos de medición puede ser compleja: en Canadá, por ejemplo, los sitios de ex-

tracción son boscosos y cubiertos de nieve (varios metros en invierno); esto hace que sea prácticamente imposible identificar puntos de medición en la superficie. En algunos casos hay edificios, aunque pocos, y se concentran generalmente en una pequeña parte del área de la explotación. En este caso, la instalación de reflectores artificiales es la solución adecuada para garantizar puntos de medición.

La instalación de reflectores en lugares específicos donde se necesitan mediciones permite una supervisión detallada del área de interés. El siguiente ejemplo ilustra el resultado. Se trata de un lugar de extracción de petróleo pesado. Se inyecta vapor para diluir el petróleo pesado y para luego extraerlo. Debido a estas inyecciones de vapor, la presión contenida en el depósito aumenta y causa un elevamiento en la superficie. Este elevamiento es un indicador de posible riesgo de sobrepresión en el depósito. En este caso, se han instalado 100 reflectores artificiales para formar una red de puntos de medición. Las medidas se actualizan mensualmente.

La Figura 5 muestra un elevamiento de la superficie al nordeste en la imagen (en rojo) que ya había comenzado en los primeros 2 meses (en amarillo), que se confirma 5 meses después y que constituye una alerta 7 meses después. Este aumento coincide con la ubicación de la inyección de vapor. La subsidencia se ilustra en azul.

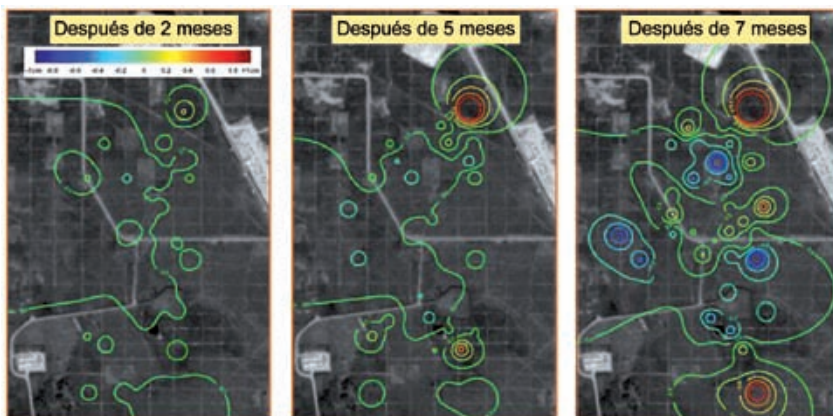
En adición al mapa global de movimiento se crean para cada punto de medición las series temporales que indican la evolución del movimiento en el tiempo para cada uno de ellos (Fig. 6)

2.2. El almacenamiento subterráneo de gas (CH_4)

El almacenamiento subterráneo de gas metano se debe, entre otras cosas, a la fluctuación de la demanda de gas. En Europa, durante los meses de verano, la demanda de gas es menos importante que en invierno; por lo tanto, una parte de la producción de verano se almacena para el consumo en invierno.

Por lo tanto, los lugares de almacenamiento están sometidos a una mayor presión en verano y otoño, lo que hace necesario el control de la estabilidad de los sitios de interés.

Figura 5
Sitio de extracción de petróleo pesado mediante inyección de vapor:
movimiento de la superficie en el tiempo. En rojo, el elevamiento de la
superficie; y en azul, el hundimiento (subsistencia).



Mediante las imágenes de satélite radar se pueden identificar y cuantificar los cambios en la superficie durante el año; los elevamientos pueden ser primeros indicadores de inestabilidad.

2.3. El almacenamiento subterráneo de CO₂

Un caso diferente es el almacenamiento de CO₂, que tiene por objeto reducir la cantidad de CO₂ de la atmósfera de forma permanente. Cada vez más, gobiernos y organismos internacionales están desarrollando políticas en torno a esta práctica e invirtiendo en su evolución y uso. El sector privado está respondiendo a nivel mundial y, consecuentemente, generando más demanda en el uso de la tecnología radar para monito-

rizar la estabilidad de estas zonas de almacenamiento.

El CO₂ se captura en el lugar de la emisión y, a continuación, se almacena bajo tierra, en minas abandonadas, por ejemplo. Los lugares de almacenamiento de CO₂ son generalmente zonas poco urbanizadas y pueden ser muy boscosas. Se puede, por tanto, instalar reflectores artificiales para complementar las medidas de los pocos puntos naturales existentes.

2.4. Construcción y mantenimiento de las refinerías

La elección de la ubicación de una refinería es estratégica y depende de muchos factores, tales como el riesgo inducido por el medio ambiente. Un sitio con un movimiento

significativo en la superficie podría ver aumentado los riesgos con las actividades de refinería. El riesgo no se reduce sólo en la refinería en sí, sino también en sus alrededores. Por lo tanto, un análisis de los movimientos en tierra por imágenes de satélite puede contribuir a la optimización y reducción de riesgos en la ubicación de las refinerías.

Una vez construidas las refinerías, una supervisión periódica (semestral o trimestral) mantiene informado al departamento encargado de la seguridad sobre la evolución del suelo y de los movimientos para poder así prever los posibles riesgos.

2.5. Otras aplicaciones en el sector de hidrocarburos

Otras aplicaciones en el sector del gas y el petróleo contribuyen a ayudar a identificar los riesgos, tales como la vigilancia de los hundimientos de las plataformas en el mar, o la vigilancia de los oleoductos.

3. Conclusiones

La medición de movimientos en la superficie del terreno mediante imágenes de satélite radar es una técnica que garantiza la monitorización con precisión milimétrica. El uso de la tecnología InSAR es especialmente pertinente para el sector de hidrocarburos, porque apoya la seguridad y eficiencia de la extracción y del almacenamiento en zonas que muchas veces son difíciles de monitorizar con métodos tradicionales.

Debido a la alta precisión de medición, se pueden identificar, localizar y cuantificar desplazamientos milimétricos. Por esta razón, se trata de un sistema de alerta que permite informar a tiempo a los ingenieros del petróleo de los riesgos que pueden suponer estos movimientos para sus infraestructuras y medir el impacto de sus actividades.

Los principales objetivos de la monitorización con imágenes de satélite radar son, por una parte, la gestión y la prevención de riesgos y, por otra parte, la mejora en la eficiencia del proceso de extracción, donde puede dar indicaciones sobre la distribución de las inyecciones subterráneas. En el caso del almacenamiento subterráneo de CO₂, la monitorización de la superficie permite identificar las zonas de potencial riesgo de inestabilidades. [10]

Figura 6
Sitio de extracción de petróleo pesado mediante inyección de vapor.
Ejemplos de series de tiempo que se crean para cada punto de medición

