



**InecoSAR,  
satélites e inteligencia artificial  
para monitorizar  
infraestructuras**

# Con los ojos en la Tierra

Satélite Sentinel 1.  
Firma Agencia Espacial  
Europea – ESA



**Ineco ha desarrollado InecoSAR, una solución innovadora para monitorizar infraestructuras en el entorno ferroviario y de carreteras, utilizando datos radar del programa espacial europeo de observación de la Tierra Copernicus. InecoSAR permite detectar y analizar deformaciones o movimientos tanto de las estructuras como del terreno circundante. Además, mediante**

**el tratamiento de los datos con técnicas de Inteligencia Artificial, InecoSAR permite predecir de manera preliminar una estimación de la deformación esperada. Esta solución resultará de gran utilidad tanto para facilitar el mantenimiento de infraestructuras como para introducir mejoras en las fases de diseño y construcción, optimizando así procesos y costes.**

- Texto: Ineco
- Fotos: InecoSAR e Ineco

**A casi 700** kilómetros de altitud, y siguiendo una órbita cuasi-polar, los satélites Sentinel 1 recogen cientos de datos de la superficie terrestre. Estos satélites están dotados con un radar de apertura sintética (SAR) que envía pulsos electromagnéticos a la Tierra registrando su retorno, una vez reflejado por la superficie. De esta forma se obtienen imágenes cuya comparativa sirve para determinar cambios en la superficie de nuestro planeta, técnica que se conoce como interferometría.

Mediante el procesado de estos datos con InecoSAR es posible obtener la deformación de gran parte de los puentes, viaductos, y otras estructuras singulares que

Inspección *in situ* del viaducto del Ulla.

la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible monitoriza en tiempo real.

Durante el desarrollo de InecoSAR, y para evaluar su funcionamiento y potencial, la experimentación se ha centrado en tres grandes estructuras situadas en carreteras españolas: un viaducto de más de medio kilómetro de longitud y 85 metros de altura sobre el embalse de Rules, en Granada; el talud de Trabadelo, en la autovía A-6 entre León y Lugo, con una altura aproximada de unos 170 metros; y una escollera o muro de protección de alrededor de 200 metros de largo, en la carretera N-420 en Fuencaiente, Ciudad Real.

### Cómo surge InecoSAR

Los puentes, viaductos, taludes, terraplenes y otras estructuras en líneas ferroviarias y vías terrestres son elementos de obra civil de los que depende en gran medida la operatividad y la seguridad de las infraestructuras de transporte. El mantenimiento continuo de estas estructuras requiere un gran esfuerzo en recursos humanos y materiales y es clave para detectar a tiempo cualquier defecto o anomalía que pueda dar lugar, en última instancia, a interrupciones del servicio con los consiguientes perjuicios y costes.

Hasta la fecha, los procedimientos convencionales de monitorización se basan, por una parte, en las



inspecciones visuales *in situ* con personal altamente especializado y, por otra, en el seguimiento en remoto y en tiempo real mediante la instalación de diferentes tipos de dispositivos de auscultación, como acelerómetros, inclinómetros, piezómetros (para medir las variaciones del nivel freático que pueden afectar a la integridad de la estructura), bandas extensométricas, células de carga, etc. Estos sensores recogen y envían información a los responsables técnicos y además se almacena para su posterior análisis.

El gran número de estructuras existente junto con su envejecimiento natural, el aumento del tráfico y de eventos meteorológicos extremos vinculados al cambio climático, impulsan la necesidad de contar con herramientas de monitorización más eficientes. Y es aquí donde Ineco, que cuenta con una larga experiencia en inspección y monitorización de estructuras, ha dado un paso más combinando la tecnología satelital con las posibilidades de la digitalización.

Así, en 2023, dentro de su convocatoria anual de innovación, un equipo de profesionales de diferentes áreas de la compañía –aeroespacial, tecnologías de la información y mantenimiento ferroviario– ha desarrollado esta nueva herramienta para monitorizar las estructuras y su entorno desde el espacio, sin necesidad de instalar sensores, utilizando datos de los satélites Sentinel del programa europeo de observación de la Tierra Copernicus.

El equipo ha contado además con la colaboración externa de especialistas del Grupo de Investigación de Microgeodesia de la Universidad de Jaén, fomentando así la colaboración universidad-empresa.

## Copernicus, datos globales para todos

Copernicus, que en junio de 2023 celebró el 25 aniversario de su creación, es el programa de observación de la Tierra “más ambicioso de la historia”, según la Agencia Espacial Europea. Está coordinado y gestionado por la Comisión Europea y en su ejecución colaboran los Estados miembros, la Agencia Espacial Europea (ESA), la Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT) y otras organizaciones y entidades. El programa Copernicus es la contribución europea a la red mundial de sistemas de observación de la Tierra (GEOS).

Copernicus consta de tres componentes: espacial, servicios, e *in situ*. El componente o segmento espacial está formado por la familia de satélites Sentinel, la instrumentación y las misiones “participantes” a bordo de otros satélites comerciales o públicos, dirigidas por organizaciones nacionales, europeas o internacionales.

El segmento *in situ*, está formado por mediciones ambientales recopiladas por proveedores de datos externos a Copernicus, a partir de sistemas de monitoreo terrestres, marítimos o aéreos. Estos datos recogidos *in situ* se utilizan para calibrar, verificar y complementar la información proporcionada por los satélites.

Por último, Copernicus ofrece una serie de servicios en torno a seis grandes áreas temáticas: vigilancia terrestre; vigilancia del medio marino; vigilancia de la atmósfera; gestión de emergencias; servicios para aplicaciones de seguridad y cambio climático, proporcionando productos de valor añadido basados en los datos espaciales suministrados por los satélites y las misiones contribuyentes.

Los datos de Copernicus están considerados como bienes públicos, por lo que se suministran en abierto y de forma gratuita a usuarios públicos y privados mediante diversos portales y plataformas web.



## Qué aporta InecoSAR

A partir de los datos proporcionados por el servicio de monitorización de la Tierra de Copernicus EGMS (del inglés, Earth Ground Monitoring Service), InecoSAR calcula la deformación en la dirección este-oeste de ciertas infraestructuras seleccionadas, así como su posible levantamiento o hundimiento. Por otra parte, mediante el procesado de los datos históricos y algoritmos de aprendizaje automático (*machine learning*), InecoSAR proporciona una estimación preliminar del comportamiento de las estructuras y del terreno a futuro, que permite detectar posibles problemas y riesgos. Estas evaluaciones son enormemente útiles para el mantenimiento predictivo ya que facilitan la planificación de los trabajos e inspecciones y permiten gestionar los recursos disponibles de manera más eficiente.

InecoSAR permite además realizar estudios históricos y masivos de los movimientos del terreno con el fin de determinar si están en activo o no, lo que en fase de diseño ayuda a la selección de alternativas de trazado. También facilita el seguimiento de las incidencias, el análisis del impacto en las infraestructuras tras un suceso crítico, así como el seguimiento de la deformación estacional. Todo ello contribuye a la toma de decisiones de mantenimiento basadas en datos.

## Resultados

Para testear InecoSAR se han utilizado tres zonas de interés propuestas por la Dirección General de Carreteras en las que se verificó, antes de comenzar el análisis, que la densidad de imágenes de satélite era la adecuada. Los resultados que se han obtenido están alineados con lo esperado:

# Radars de apertura sintética

Los satélites Sentinel 1 de Copernicus llevan a bordo un radar SAR de banda C (es una frecuencia que ofrece una elevada resolución) con cuatro modos de imagen y diferente resolución (hasta 5 m) y cobertura (hasta 400 km).

A grandes rasgos, un radar es un sensor que mide distancias. Para ello, emite pulsos de microondas que rebotan en un objeto y calcula el tiempo entre su emisión y su recepción.

SAR son las siglas de Synthetic Aperture Radar (radar de apertura sintética). Es un tipo de radar llamado así porque, a diferencia de los radares de apertura real (RAR), es capaz, con una antena de pequeño tamaño, de obtener datos similares a los de una antena mayor, ampliando virtualmente mediante algoritmos la información obtenida en varios barridos. El procesado de los pulsos recibidos permite obtener imágenes de alta resolución en dos dimensiones.

Puesto que no es un sensor óptico, sino que opera en el espectro de las microondas, presenta la ventaja de funcionar en longitudes de onda que no se ven obstaculizadas por la cobertura de nubes o por la falta de iluminación, además de poder cubrir áreas muy extensas. Esto, unido a su elevada fiabilidad, lo hace muy adecuado para monitorizar los océanos y los movimientos de la superficie terrestre.

La Nasa utilizó por primera vez este tipo de radar en 1978, en un satélite oceanográfico y, posteriormente, lo ha instalado en los transbordadores espaciales y en las sondas de exploración que cartografiaron el planeta Venus o la luna Titán de Saturno. PAZ, el satélite de defensa español, cuenta también con un radar tipo SAR.

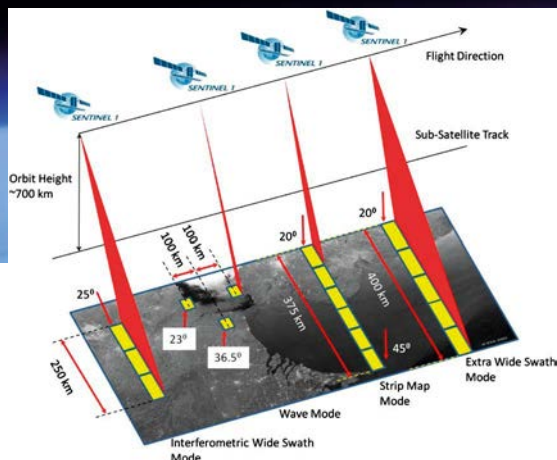
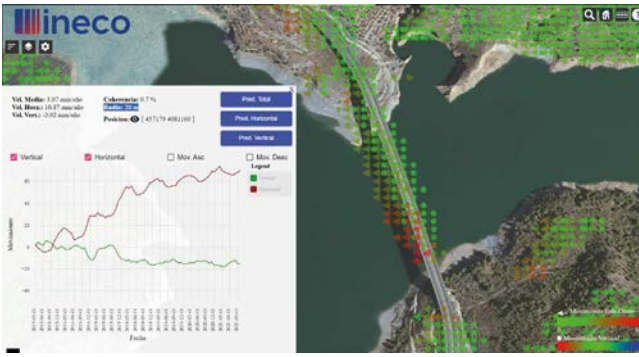


Imagen de la Agencia Espacial Europea - ESA



Desplazamiento de la zona próxima al estribo sur del del viaducto sobre el embalse de Rules. Las flechas representan el desplazamiento en la dirección E-O, y los puntos el movimiento vertical. Fuente: InecoSAR



Desplazamiento de la ladera oeste del embalse de Rules. Las flechas representan el desplazamiento en la dirección E-O, y los puntos el movimiento vertical. Fuente: InecoSAR



Vista del embalse de Rules.

### Viaducto de Rules, Granada

La autovía A-44, de 184 kilómetros, comunica las localidades de Bailén (Jaén) y La Gorgoracha (Granada), al sur de España. Su tramo final, en el p.k. 173, cruza el embalse de Rules, construido para controlar las crecidas del río Guadalfeo, median-

te un gran viaducto metálico de 585 metros de longitud y cinco pilares de hasta 85 metros de altura. La inestabilidad geológica de la zona ya complicó los trabajos de construcción en su día, provocando el derrumbe de parte del tablero en 2006. En 2013, al descender la cota

del nivel de agua en el embalse, se detectó un problema de estabilidad en el terraplén donde se apoya el estribo norte del viaducto. En 2015 el Ministerio concluyó los trabajos de refuerzo del terreno y de la estructura, así como la instalación de dispositivos de auscultación para su control y seguimiento.

InecoSAR ha procesado datos de esta zona entre 2015 y 2021 y ha detectado movimientos horizontales y verticales, tanto del propio viaducto, como en las laderas, sobre todo en la oeste, con componente horizontal este y vertical descendente.

### Talud de Trabadelo, León

En el límite entre Castilla-León y Galicia se encuentra el talud de Trabadelo, situado en la margen derecha del p.k. 418 de la autovía del Noroeste. Con más de 175 metros

Desplazamiento horizontal y vertical del talud de Trabadelo, en el que no se aprecian movimientos significativos.



Vista del talud de Trabadelo.





Los datos indican que la escollera se mantiene estable.



Vista de la escollera de Fuencaiente.

de altura es uno de más altos de España. En febrero de 2009 empezó a mostrar indicios de inestabilidad, por lo que inmediatamente se cortó y desvió el tráfico en el tramo y se acometieron los complejos trabajos de refuerzo que duraron un año. El anterior Ministerio de Fomento instaló en su día una red de 26 sensores para monitorizarlo.

En este caso, con InecoSAR se ha podido registrar y confirmar que el talud presenta estabilidad en el periodo observado, desde febrero de 2015 hasta octubre de 2021.

### Escollera de Fuencaiente, Ciudad Real

Durante la primavera de 2013, las fuertes precipitaciones provocaron una crecida del río Yeguas

que dañó los drenajes de varios puentes de tierra y causó colapsos, además del hundimiento de parte de la calzada de la carretera N-420, a su paso por la localidad de Fuencaiente, en Ciudad Real, muy próxima al límite provincial de Córdoba. La vía se cortó mientras se acometían con urgencia los trabajos de reparación, que concluyeron en octubre de 2013 tras la construcción de cuatro nuevos puentes de hormigón. Actualmente, una gran escollera facilita el drenaje y contiene el talud próximo a la carretera en una de las zonas cercanas al cauce.

De los resultados del estudio realizado con InecoSAR se desprende que, actualmente, esta escollera se encuentra estable.

### Una solución de alto potencial

InecoSAR está demostrando ser una solución con un alto potencial para estudiar la estabilidad de zonas concretas durante las fases de planificación, construcción y mantenimiento de infraestructuras, ya que permite conocer particularidades del terreno que, hasta ahora y en la mayoría de las ocasiones, solo se conocían de manera teórica. Esto permite la toma de decisiones basadas en lo que el satélite ve y los datos reflejan.

Por otra parte, resulta especialmente útil para analizar el comportamiento histórico de las infraestructuras y su área circundante, ya que permite detectar y analizar su actividad o el impacto de las actuaciones acometidas.

En definitiva, InecoSAR es un claro ejemplo de cómo el espacio juega un papel fundamental para complementar los procesos y procedimientos tradicionales, y cómo podemos beneficiarnos del uso de los datos espaciales que Europa pone a disposición de manera gratuita a todos los ciudadanos, en este caso, los proporcionados por el servicio EGMS del programa Copernicus de observación de la Tierra. ■