



**HAL**  
open science

# AUMENTO DE LA RESILIENCIA DE LAS CARRETERAS MEDIANTE EL USO COMBINADO DE TECNOLOGÍA MULTISENSOR Y MODELOS CLIMÁTICOS

Irene Sevilla de La Llave, Philippe Chrobocinski, Fotios Bampas, Franziska Schmidt, Norman Kerle, Antonis Kostaridis, Anastasios Doulamis, Remy Russotto

► **To cite this version:**

Irene Sevilla de La Llave, Philippe Chrobocinski, Fotios Bampas, Franziska Schmidt, Norman Kerle, et al.. AUMENTO DE LA RESILIENCIA DE LAS CARRETERAS MEDIANTE EL USO COMBINADO DE TECNOLOGÍA MULTISENSOR Y MODELOS CLIMÁTICOS. VI Congreso Ciudades Inteligentes, Sep 2020, Madrid, España. 6 p. hal-02957520v2

**HAL Id: hal-02957520**

**<https://hal.science/hal-02957520v2>**

Submitted on 14 Apr 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# AUMENTO DE LA RESILIENCIA DE LAS CARRETERAS MEDIANTE EL USO COMBINADO DE TECNOLOGÍA MULTISENSOR Y MODELOS CLIMÁTICOS

**Irene Sevilla de la Llave**, Jefa de proyecto, ACCIONA Ingeniería  
**Philippe Chrobocinski**, Jefe de programa, Airbus Defense and Space  
**Fotios Bampas**, Investigador Ingeniería Aeroespacial, Aristotle University of Thessaloniki  
**Franziska Schmidt**, Doctora en Ingeniería Civil, Université Gustave Eiffel  
**Norman Kerle**, Profesor Adjunto, Universiteit Twente  
**Antonis Kostaridis**, co-fundador/CTO C4Controls  
**Anastasios Doulamis**, Profesor Adjunto, National Technical University of Athens  
**Rémy Russotto**, CEO, Confederation of Organisations in Road Transport Enforcement (CORTE)

**Resumen:** El Proyecto PANOPTIS, financiado por la Comisión Europea bajo el Programa H2020, busca incrementar la resiliencia (capacidad de adaptación) de las carreteras frente a condiciones climatológicas desfavorables, tales como fenómenos meteorológicos extremos o inundaciones, y otros eventos de riesgo como terremotos o desprendimiento de taludes. El principal objetivo del proyecto es combinar escenarios de cambio climático regionalizados (aplicados a infraestructuras), con herramientas de simulación estructural y geotécnica y datos reales tomados directamente de las infraestructuras de las carreteras (puentes, taludes, calzadas) por una red multi-sensor que incluye sensores terrestres, drones y satélites, para suministrar a los gestores de infraestructuras de transporte una herramienta de control integrada, capaz de mejorar la gestión de infraestructuras en las fases de planificación, mantenimiento y operación. El proyecto PANOPTIS comenzó en Junio de 2018, y durante la primera fase del proyecto, que abarca aproximadamente los dos primeros años, se están poniendo a punto todas las tecnologías innovadoras que integran la herramienta PANOPTIS. Durante la segunda fase del proyecto, a partir de verano de 2020, ACCIONA Ingeniería implantará todas las tecnologías y metodologías desarrolladas en el tramo 2 de la autovía A-2, de 77.5 km, a su paso por la provincia de Guadalajara, que es un tramo concesión de autovías de primera generación cuya gestión recae en ACCIONA Concesiones y su mantenimiento en ACCIONA Mantenimiento.

**Palabras Clave:** Resiliencia, Sistema de Soporte de Decisiones (DSS por sus siglas en inglés Decision Support System), sensores, drones, aprendizaje automatizado (ML del inglés Machine Learning), Visión Artificial (CV del inglés Computer Vision).

## 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes retos que se están encontrando los ingenieros y operadores de transporte hoy en día, tiene que ver con la inspección, mantenimiento y operación de las infraestructuras existentes de manera eficiente, rentable y segura. Debido a factores como la antigüedad, el cambio climático (CC), las condiciones meteorológicas extremas, el aumento de tráfico, mantenimiento inadecuado, aplazamiento de las reparaciones, etc. las infraestructuras de transporte están sufriendo un progresivo deterioro y aumento de su vulnerabilidad, necesitando de forma urgente inspección, evaluación y reparación.

Por otro lado, mientras que la inspección rutinaria sólo se enfoca en tramos de carretera o infraestructuras concretas, la complejidad requerida para gestionar un incidente requiere de una cobertura más amplia, en la que se necesita la sinergia de información proveniente de sensores aéreos, espaciales y terrestres. El programa *UN Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030* de las *Naciones Unidas*, partiendo de la experiencia ganada en la implementación de *Hyogo Framework for Action* ha identificado varias lagunas y necesidades en los procedimientos de gestión de riesgos y propuesto ciertas prioridades para la acción local, nacional y a escala global. Los planes de preparación actuales a duras penas tienen en cuenta los modelos de cambio climático a nivel regional, mientras que las herramientas de gestión integral de riesgo de catástrofes (preparación, protección, alarma temprana, respuesta y recuperación) están bastante fragmentadas, lo que lleva a una gestión de crisis descoordinada e incoherente. Por tanto, hay una falta de comprensión de la resiliencia de las infraestructuras de transporte, y las técnicas de análisis de datos multimodal o multi-sensor son insuficientes.

El Proyecto PANOPTIS pretende crear una herramienta integrada de gestión de carreteras (u otros transportes) que unifique todas las herramientas y servicios existentes (ej. modelos climáticos, modelos de eventos extremos y sus impactos, sistemas de alarma temprana, monitorización de salud estructural de infraestructuras, datos de sensores medioambientales, y servicios Europeos como el Copernicus), así como las tecnologías emergentes (inspección de infraestructuras por medio de imágenes terrestres y satélite, inteligencia artificial como *machine learning*, técnicas de

fusión de datos, etc.) para abordar de forma eficaz el análisis de escenarios multi-riesgo, prevención y preparación ante eventos catastróficos, y proporcionar respuestas más rápidas, adaptadas y eficientes.

## 2. EL PROYECTO: OBJETIVO Y TECNOLOGÍAS

El objetivo general del proyecto es la creación de una herramienta de toma de decisiones o en inglés *Decision Support System* (DSS), que integre un amplio conjunto de funcionalidades para ayudar a los gestores de las infraestructuras en las decisiones operacionales y estratégicas, para la absorción de daños y posterior recuperación ante ellos, o en otras palabras, para el incremento de la resiliencia de las infraestructuras de transporte.

El desarrollo de la herramienta PANOPTIS DSS se apoya en la integración de las siguientes tecnologías:

### 2.1 Modelos climáticos, atmosféricos y multi-riesgo

Los indicadores climatológicos y atmosféricos disponibles actualmente para escenarios de Cambio Climático (CC) no se pueden aplicar directamente en evaluaciones de impacto de CC en infraestructura civil. El proyecto PANOPTIS está desarrollando una serie de indicadores numéricos para la cuantificación de los estreses climáticos, hidrológicos y atmosféricos en los elementos de la infraestructura de transporte (focalizándose en carreteras), teniendo en cuenta procesos e interacciones en una escala de corto plazo (días) y en escenarios de largo plazo (10-60 años) [3].

### 2.2 Red de micro estaciones meteorológicas y sensores puntuales *smart tags*

La propuesta se basa en la distribución estratégica de una red de sensores de vanguardia como pueden ser los sensores *smart tags* y estaciones de control meteorológico, pequeños, autónomos, fiables, con baterías de larga duración e inalámbricos a lo largo de la carretera, y especialmente en las infraestructuras de mayor vulnerabilidad (puentes, taludes y túneles), para la monitorización continua del cambio de condiciones climatológicas y otros parámetros relacionados (temperatura, humedad relativa del aire, humedad del suelo, velocidad del viento, vibraciones, etc.).

### 2.3 Modelos y herramientas de predicción meteorológica a largo, medio, corto y muy corto plazo (*fore and now casting*)

PANOPTIS está aplicando predicción meteorológica de alta resolución, de tal manera que permite una evaluación exacta del impacto de los eventos meteorológicos en las infraestructuras de las carreteras. PANOPTIS está desarrollando sistemas de alerta temprana (EWS del inglés *Early Warning Systems*) con el fin de anticiparse a los eventos meteorológicos extremos y poder mitigarlos, o al menos minimizar sus consecuencias. Los sistemas EWS se alimentan por un lado de predicciones meteorológicas a muy corto plazo o *nowcasting* (próximas 1-3 horas) que integran en tiempo real información meteorológica local (pluviómetros, estaciones de aforos, estaciones meteorológicas, radares, etc.), por medio de técnicas de fusión geo-estadísticas [1] y por otro lado de predicciones a corto-medio plazo fundamentadas en modelos numéricos NWP de tiempo local [4].

### 2.4 Herramienta de simulación geotécnica y estructural

PANOPTIS está utilizando un simulador geotécnico-estructural, (SGSA del inglés *Geotechnical and Structural Simulation Tool*), para evaluar la vulnerabilidad de elementos geotécnicos y estructurales específicos en la red de carreteras. El análisis estructural aplica métodos de análisis de elementos finitos, y se puede emplear para análisis estático o dinámico (incluyendo no linealidades materiales y geométricas), y para el diseño de cualquier tipo de infraestructura civil. La herramienta principal de análisis geotécnico consiste en el cálculo de la estabilidad de estructuras, cimentaciones, taludes y estructuras de contención, aplicando métodos dinámicos de análisis de elementos cinemáticos, (KEA del inglés *Kinematic Element Analysis*). KEA es un método numérico de cálculo de mecanismo de fallo de múltiples cuerpos que investiga cuerpos sólidos en condiciones de fractura [2]. El cálculo de estabilidad por método KEA se combina con la monitorización de flujo de agua superficial o escorrentía, presión intersticial, y niveles freáticos. Además, la herramienta SGSA es capaz de alimentarse de los datos de varios tipos de sensores (embebidos en la infraestructura, imágenes satélite, LIDAR) para actualizar el modelo estructural y geotécnico de las infraestructuras de estudio y evaluar las condiciones actualizadas de estabilidad de las mismas.

### 2.5 Módulos de análisis de vulnerabilidad en escenarios multi-riesgo

PANOPTIS está desarrollando un software de análisis de vulnerabilidad en escenarios multi-riesgo (MHVAT del inglés *Multi-Hazard Vulnerability Assessment Toolkit*) para ofrecer la posibilidad de llevar a cabo estudios de vulnerabilidad

combinando los efectos del envejecimiento de la infraestructura con los de su exposición a diversos peligros naturales o inducidos por el hombre. Para ello, utiliza los datos de la herramienta SGSA para evaluar el comportamiento de las diferentes infraestructuras viales bajo escenarios simulados de eventos de riesgo único, contemporáneo o en cascada. Para conseguirlo, integra información del propio riesgo, información de respuesta estructural, e información de modelos de vulnerabilidad y modelos de riesgo. El software MHVAT se empleará para producir varios módulos de evaluación de vulnerabilidad en escenarios multi-riesgo (MHVM del inglés *Multi-Hazard Vulnerability Modules*) para caracterizar ambos: los elementos primarios de la carretera (ej. puentes, drenajes, taludes) y su influencia en los elementos secundarios (ej. líneas de transmisión de electricidad, torres de comunicación, etc.). Cada módulo de vulnerabilidad MHVM incorpora también un sub-modelo (geo) estructural de cada infraestructura de estudio, para poder actualizar y re-evaluar de manera continua la vulnerabilidad y funcionalidad de cada componente de la carretera a medida que evoluciona un evento de riesgo (ej. inundación, terremoto). Para ello, una vez implementado en la segunda fase del proyecto, se alimentará de los datos de los sensores conectados localmente para quitar la incertidumbre de cálculo.

## 2.6 Mapas de daños

Cuando se producen catástrofes (incendios, inundaciones), se generan mapas de daños a través del servicio de emergencia de Copernicus EMS, basados en imágenes satélite de alta resolución. Estos mapas sirven para hacer un análisis rápido y sinóptico de un área geográfica amplia, e identificar daños extensivos, inundaciones, bloqueos por corrimientos de tierra, etc. (ver Figura 1 y Figura 2). Como se puede apreciar en las figuras, el mapa de daños es una herramienta muy valiosa para obtener información general (ej. origen y extensión del agua en una inundación, tamaño total de un derrumbamiento, etc.), pero no sirve para proporcionar detalles a nivel local, que es precisamente lo que el proyecto PANOPTIS pretende abordar, a través de la integración de imágenes satélite con otros datos de sensores locales, como imágenes tomadas por drones.

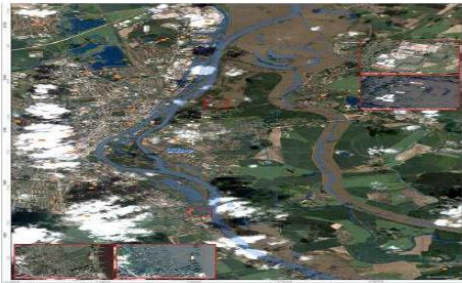


Figura 1 Mapa satélite mostrando los efectos de la inundación que tuvo lugar en Alemania en 2013.

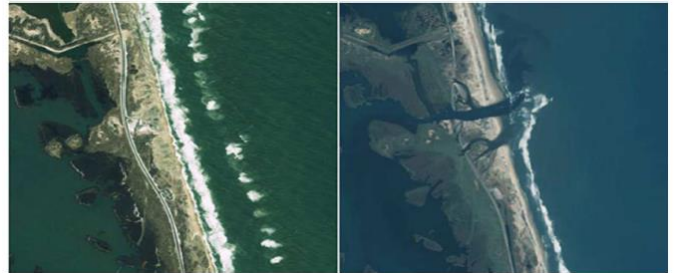


Figura 2 Imagen satélite del daño en una carretera antes y después del Huracán Irene en 2011.

## 2.7 Combinación de datos multi-sensor con análisis multi-espectral con técnicas de visión artificial (*computer vision*) y aprendizaje automático (*machine learning*) para diagnóstico de daños en múltiples infraestructuras

PANOPTIS está aplicando técnicas de visión artificial o *computer vision* y aprendizaje automático o *machine learning* al análisis de datos o imágenes multi-sensor, como pueden ser RGB (cámaras de espectro visible), cámaras multi-espectrales, cámaras termográficas, imágenes LIDAR, y datos obtenidos con plataformas remotas (drones y satélite). En términos de procesado de datos, PANOPTIS está investigando metodologías de análisis 3D empleando medios fotogramétricos y *machine learning*, profundizando principalmente en metodologías *deep learning* y descomposición tensorial. También se emplean técnicas de fusión de la información para estudiar las redundancias y complementariedades de los diferentes tipos de datos (RGB, infrarrojo, LIDAR, etc). Los métodos de monitorización también incluyen técnicas de detección de anomalías, asociados a alarmas de actividad inusual o potencialmente sospechosa. Finalmente, se están explorando técnicas de modelado 3D con evolución temporal para crear representaciones 4D de las infraestructuras de estudio. Se están desarrollando mapas de evolución histórica (en inglés *Change History Maps*), aplicando métodos de detección de cambios, de manera que se puedan detectar las deformaciones estructurales, y otros tipos de alteraciones superponiendo datos tomados a diferentes lapsos

temporales (por ejemplo nubes de puntos de un elemento). La aplicación de técnicas de *deep learning* permite a los usuarios detectar defectos e imperfecciones en las infraestructuras y definir niveles de referencia.

## 2.8 Técnicas de mapeado móvil utilizando drones

PANOPTIS está investigando la aplicación de drones tanto en operaciones de mantenimiento rutinario de carreteras (para detección de defectos y deterioros más rápida y eficientemente), como para gestión de situaciones de crisis, (para obtener una evaluación rápida y efectiva de los daños en los alrededores del área afectada por la catástrofe, usando conjuntamente los mapas de daños basados en imágenes satélite). Además PANOPTIS pretende determinar un esquema de vigilancia de carreteras con drones, determinando el tipo de dron óptimo (multicóptero, ala fija, híbrido) para cada misión, (e.g. vigilancia del movimiento de taludes, monitorización del crecimiento de vegetación, exploración de drenajes, inspección túneles, seguimiento de un accidente, etc.).

## 2.9 Plataforma de Evaluación Holística de Resiliencia (HRAP del inglés *Holistic Resilience Assessment Platform*)

La plataforma HRAP de PANOPTIS es la encargada de la integración de todos los modelos y técnicas de análisis de riesgos descritos en los apartados anteriores para generar un entorno de simulación avanzada que permitirá evaluar la resiliencia global de todas las infraestructuras de la carretera en tiempo real. Además el HRAP permite la integración con herramientas externas de modelado de tráfico, y de cálculo de impactos socio-económicos, lo cual permitirá entre otras funcionalidades, la simulación de ambientes integrados de principio a fin y la evaluación de diferentes escenarios “*qué ocurriría si*”.

## 2.10 Imagen operacional común (COP del inglés *Common Operational Picture*), sistema de gestión de incidentes (IMS del inglés *Incident Management System*) y herramienta de toma de decisiones (DSS del inglés *Decision Support System*)

El sistema PANOPTIS estará equipado de un visor COP, que integrará toda la información de las múltiples herramientas (ej. modelos multi-riesgo, modelos SGSA y HRAP), de los múltiples sensores, el plan de mantenimiento, el plan de emergencia, etc. como diferentes capas en una única interfaz de usuario, que mostrará una visualización unificada, para mejorar la conciencia situacional de los operadores de la carretera.

Por otro lado, el IMS integrará toda la información sobre infraestructuras, instalaciones, equipos, personal, procedimientos, y comunicaciones, para la apropiada gestión de incidentes y emergencias. La IMS permitirá la respuesta colaborativa entre todos los actores involucrados a nivel local y regional, con el fin de implementar

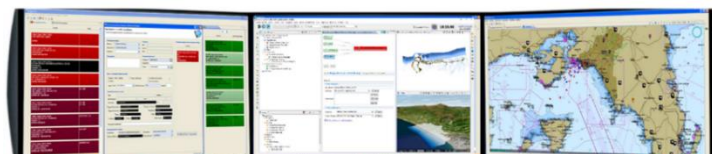


Figura 3 IMS, COP con representación 3D en una plataforma unificada.

estrategias de respuesta de forma eficiente, estabilizar los incidentes y acelerar la transición a la restauración de la normalidad. El visor COP se comparte entre los propietarios o gestores de la carretera, las unidades de respuesta, las unidades de mantenimiento, y los organismos de seguridad, de manera que todos los actores pueden tener la misma visión y comprensión de la situación de crisis.

Finalmente, la herramienta de toma de decisiones-DSS de PANOPTIS permitirá asistir a los usuarios finales en el proceso de toma de decisiones, basándose en la combinación óptima de toda la información obtenida en los diferentes módulos de la plataforma PANOPTIS, traducida en forma de impacto y alertas cuando sea necesario.

## 3 RESULTADOS: INTEGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS PANOPTIS EN LA AUTOVÍA A2

A partir de Octubre de 2020, la validez de las tecnologías PANOPTIS se testará en un ambiente real, a través de su integración en la red de carreteras española. El lugar elegido es un tramo de 77.5 Km de la Autovía A2, que conecta Madrid y Barcelona, a su paso por la provincia de Guadalajara (del PK 62 al PK 139+500). La selección de este tramo se hizo en base a su criticidad, puesto que es una de las principales rutas de comunicación y comercio del país, con alta densidad de tráfico pesado (mercancías), uniendo las dos ciudades más habitadas de España, y siendo una de las principales conexiones hacia los Pirineos, que es la puerta hacia Europa. Además, el tramo seleccionado de la A2 está

expuesto a una amplia lista de amenazas, en especial de carácter meteorológico, por su alto registro de heladas entre los meses de noviembre y abril, que obliga a los gestores de la vía a aplicar grandes cantidades de fundentes para mantener la calzada transitable al tráfico.

Para validar las tecnologías PANOPTIS se han definido una serie de casos de uso que se resumen en la Tabla I.

Código	Descripción del caso de uso	Tecnologías PANOPTIS aplicadas
Caso de uso #1	Monitorización de la estabilidad de las geo estructuras (taludes)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Micro-estaciones meteorológicas (2.2)</li> <li>- Sensores estructurales</li> <li>- Simulador geotécnico-estructural-SGSA (2.4)</li> <li>- Módulo de análisis de vulnerabilidad en escenarios multi-riesgo-MHVAT (2.5)</li> <li>- Combinación de datos multi-sensor (RBG, LIDAR) y técnicas de análisis de imagen (2.7)</li> <li>- Mapeo con drones (2.8)</li> </ul>
Caso de uso #2	Inspección de carreteras a través de técnicas de mapeado móvil, incluyendo drones, y detección automática de daños por visión artificial	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Combinación de datos multi-sensor, técnicas de análisis de imagen, visión artificial (2.7)</li> <li>- Mapeo con drones (2.8)</li> </ul>
Caso de uso #3	Monitorización del fallo estructural de un paso inferior debido a la corrosión del armado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sensores de corrosión</li> <li>- Herramienta MHVAT (2.5)</li> </ul>
Caso de uso #4	Alarma temprana de hielo/nieve para dar apoyo a operaciones de mantenimiento invernal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelos climáticos (2.1)</li> <li>- Micro-estaciones meteorológicas (2.2)</li> </ul>
Caso de uso #5	Alarma temprana de otros eventos meteorológicos (inundaciones, niebla, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Herramientas de predicción meteorológica a corto, medio y largo plazo (2.3)</li> <li>- Módulo MHVAT (2.5)</li> <li>- Mapas de daños (2.6)</li> <li>- Mapeo con drones (2.8)</li> <li>- Plataforma HRAP (2.9)</li> <li>- DSS, IMS, COP (2.10)</li> </ul>

Tabla I Casos de uso para validar las tecnologías PANOPTIS dentro de la Autovía A2-Tramo 2.

En referencia al **Caso de uso #1**, se va a monitorizar la estabilidad de dos taludes de este tramo, combinando diferentes tecnologías: por un lado, se está estudiando la posibilidad de monitorizar la estabilidad de las geo-estructuras a través del simulador geotécnico estructural-SGSA, que se alimenta de los modelos geotécnicos de los propios taludes, actualizados en tiempo real por datos de sensores estructurales colocados in situ (acelerómetros, inclinómetros, etc.), y de datos de agua presente en el terreno registrados con las micro-estaciones meteorológicas.

Por otro lado, se hará un análisis de erosión (pérdida de tierra) y otros posibles daños, como el agrietamiento, aplicando técnicas avanzadas de análisis de imagen. Para ello, se están generando modelos 3D de alta precisión de los taludes a través de diferentes técnicas de mapeo y análisis de datos: por un lado mapeo con dron y una cámara RBG, y posterior producción del modelo 3D por técnicas fotogramétricas, y por otro lado mapeo con LIDAR y generación de modelo 3D por nubes de puntos. Para calcular la evolución de la erosión en el talud (perdida de tierra), o de cualquier otro daño, se superponen los modelos 3D o nubes de puntos de alta precisión generados a diferentes tiempos y se producen representaciones 4D (evolución 3D con tiempo) de los taludes de estudio. Finalmente, toda la información generada se integrará con el módulo de análisis de vulnerabilidad en escenarios multi-riesgo-MHVAT, que permitirá analizar el estado de estabilidad/ vulnerabilidad de los taludes en tiempo real, y cuantificar el riesgo de derrumbamiento en diferentes escenarios multi-riesgo. Además la MHVAT lanzará una alarma temprana a los gestores de la infraestructura en caso de que exista un peligro de derrumbamiento del talud o de una zona del talud, con el fin de poder activar una actuación preventiva y evitar el desastre.

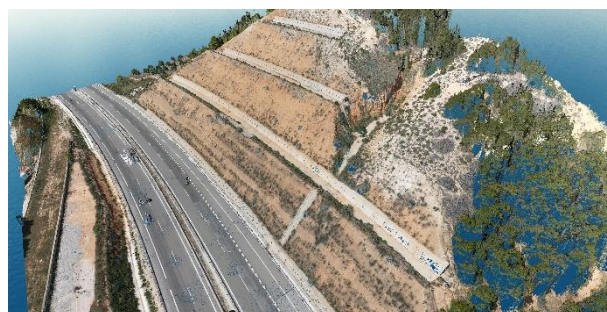


Figura 4 Nube de puntos del talud de estudio generada con un dron con cámara RGB, aplicando técnicas de fotogrametría

En referencia al **Caso de uso #2** lo que se pretende es desarrollar un procedimiento de inspección para carreteras que explote el uso óptimo de diferentes tipos de plataforma (satélites, drones y vehículos) y tipos de sensor (RGB, LIDAR, multi-espectro, infrarrojo) en función de la aplicación: detección de degradación del firme (grietas, roderas, baches), deterioro del hormigón, corrosión de elementos metálicos, invasión de la vegetación en la calzada, deterioro de la pintura, o detección de daños en otros elementos de la carretera como señales dobladas, objetos bloqueando la calzada, etc. Los datos adquiridos por los sensores se procesan mediante técnicas de visión artificial y aprendizaje automático o *machine learning*, de manera que el sistema PANOPTIS pueda reconocer los defectos en los diferentes elementos y sus características de manera automática, sin intervención humana y en (casi) tiempo real.

El **Caso de uso #3** está enfocado a la monitorización de la corrosión del armado de un paso inferior de hormigón armado a través de sensores de corrosión. Una de las causas principales de fallo estructural de las infraestructuras de hormigón armado, es el fallo del armado por corrosión. Además, este tramo de la A2, se encuentra especialmente expuesto a corrosión, debido al alto uso de fundentes en las operaciones de mantenimiento invernal. Los datos de los sensores de corrosión instalados en el paso inferior alimentan en tiempo real un modelo de corrosión y fallo estructural del mismo, y a través de la herramienta de análisis de vulnerabilidad en escenarios multi-riesgo-MHVAT, se puede cuantificar el estado de vulnerabilidad del paso inferior, predecir la vida útil que le queda a la infraestructura, y lo más importante, general alarmas tempranas de fallo por corrosión, de manera que los gestores de la infraestructura puedan programar las reparaciones y operaciones de mantenimiento de forma óptima, para que nunca se produzca el fallo de la infraestructura. Además, es previsible que este mantenimiento reactivo al “estado de salud” de la infraestructura evite grandes y costosas reparaciones, y con ello suponga un ahorro de costes para los equipos de conservación de carreteras.

El **Caso de uso #4** y **Caso de uso #5** están fundamentados en las mismas tecnologías PANOPTIS. Lo que se pretende es generar un Sistema de Información Meteorológica para carreteras (RWIS del inglés *Road Weather Information System*) más avanzado de los que hay en el mercado, a través de la integración de modelos climáticos locales para la zona de estudio, alimentados de la red de micro-estaciones meteorológicas instaladas in situ, con modelos de predicción meteorológica de alta resolución, incluso a muy corto plazo (nowcasting), que son especialmente útiles para la gestión de las carreteras por parte de las conservadoras en tiempo real. Este sistema RWIS es capaz de enviar alarmas tempranas sobre eventos meteorológicos concretos, y también de predecir cómo van a ir evolucionando dichos eventos meteorológicos, de cara a planificar óptimamente los recursos. En la A2 el módulo RWIS se ha personalizado para alarmas de nieve, lluvia y niebla, por ser los riesgos más habituales en esta zona de la A2 y potencialmente más peligrosos de cara a la conducción. Además, en caso de catástrofe (gran nevada, inundación) el RWIS de PANOPTIS se integra con el módulo de mapa de daños para obtener información satélite y de mapeo con drones, para hacer seguimiento de la catástrofe en tiempo real o de las consecuencias de la misma. Finalmente el DSS, IMS y COP apoyan en la toma de decisiones, activación de procedimientos, y visualización e intercambio de la información entre los agentes implicados (Agencias de Conservación, Protección Civil, Agencias de Tráfico, etc.).

## 4 RECONOCIMIENTOS

El Soporte financiero proviene de Innovation and Networks Executive Agency (INEA), bajo los poderes delegados de la Comisión Europea, a través del programa Horizon 2020 -Grant Agreement number 769129.

El proyecto agradece el apoyo del Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana Español, que apoya la integración de las tecnologías PANOPTIS en la autovía A-2-Tramo 2, perteneciente a la red de autovías de primera generación Española.

## 5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Berndt C. et. Al. ,2014. Geostatistical merging of rain gauge and radar data for high temporal resolutions and various station density scenarios. *Journal of Hydrology*. 508: 88-101.
- [2] Euringer T., July 1997, Objektorientierte Formulierung und Programmierung numerischer Starrkörperverfahren in der Geotechnik, PhD Thesis, Lehrstuhl für Bauinformatik, Technical University of Munich.
- [3] Heus T, et.al., 2010. Formulation of the Dutch atmospheric large-eddy simulation (dales) and overview of its applications. *Geosci. Model Dev*. 3: 415–444.
- [4] Kober, K. et. al., 2012. Blending a probabilistic nowcasting method with a high resolution numerical weather prediction ensemble for convective precipitation forecasts. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 138: 755–76.