

Proyecto “TOPACIO”: Nuevas herramientas para la gestión de las infraestructuras del transporte y la prevención de los incendios forestales. Resultados preliminares.

Francisco Javier Prego Martínez⁽¹⁾; Rubén Caride Coello⁽²⁾; César Ortega Chies⁽³⁾

Carlos Manuel Sande Martínez⁽⁴⁾; Ramón Sánchez Ancochea⁽⁵⁾

(1) Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Responsable del Dpto. de I+D+i de **EXTRACO, S.A.** Ourense. España
Grupo de Geotecnologías Aplicadas (GEOTECH)-**Universidad de Vigo (UVigo)**.
Pontevedra, España

(2) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Director de concesión de la **Autovía Ourense-Celanova (AUCEL)**. **EXTRACO, S.A.** Ourense. España

(3) Ingeniero Técnico Forestal. Director áreas de Emergencias y Forestal. **AEROMEDIA, U.A.V., S.L.** Oleiros (A Coruña). España

(4) Licenciado en Biología. Director de Innovación y Proyectos. **CONEXIONA TELECOM, S.L.** San Cibrao das Viñas (Ourense). España

(5) Ingeniero Informático. Director de TI. **San2 Innovación Sostenible, S.L.** Amoeiro (Ourense). España

i-d-i@extraco.es

Palabras clave: Gestión de infraestructuras del transporte; carreteras; incendios forestales.

RESUMEN: Esta comunicación presenta un resumen de los objetivos y resultados preliminares obtenidos en el proyecto de I+D+i “**TOPACIO: Tecnologías de OPTimizACión de la gestión de infraestructuras para la prevención de Incendios fOrestales**”, en el que participan las empresas **EXTRACO, Aeromedia, Conexiona y San2**, con apoyo de los Grupos de Geotecnologías Aplicadas-GEOTECH y de Tecnoloxía Enerxética (GTE) de la Universidad de Vigo (UVigo), junto con el Centro de Investigación Forestal de Lourizán (Pontevedra), dependiente de la Xunta de Galicia. En el proyecto se estudia la relación de los incendios forestales con las infraestructuras del transporte, aplicando herramientas de última generación que permitan establecer alarmas y acciones preventivas para evitarlos. Se plantea la **hibridación de sistemas TIC como tecnologías transversales orientadas a los procesos de gestión de infraestructuras**, recurriendo al uso conjunto de

láser-escáner móvil embarcado en diferentes vehículos, estaciones meteorológicas e imágenes satelitales. A ellos se une una app móvil “sensor ciudadano”, para la participación activa de sus usuarios en el proyecto. TOPACIO ha sido cofinanciado por la **Axencia Galega de Innovación-GAIN, Xunta de Galicia** (Ref. IN852A 2018/37) en el período 2018-2020 (Convocatoria competitiva CONECTAPEME 2018).

1. INTRODUCCIÓN: Las infraestructuras del transporte y su relación con los incendios forestales. El proyecto TOPACIO.

Es indudable el papel fundamental que han jugado las vías de comunicación en la organización territorial y la interrelación del ser humano con el medio físico que le rodea, a lo largo de su Historia. Se sabe que desde el Neolítico las diferentes rutas, ya fuesen terrestres, fluviales o marítimas, han necesitado de la **intervención humana para la creación de infraestructuras** que las mantuviesen practicables en todo tiempo y circunstancia, facilitando así la circulación de personas y el intercambio de mercancías entre los diferentes asentamientos humanos. Hablamos, en primer lugar, de infraestructuras primitivas de todo tipo (caminos, zonas de fondeo y atraque marítimo, pasos y vaguadas en ríos, pasos de barcas...), de las cuales quedan todavía restos muy elocuentes en nuestro país. Son dignos de mención las sendas primitivas, caminos megalíticos y castreños anteriores a la llegada de los romanos que se han localizado en Galicia ([Nárdiz \[1\]](#)), o el dique en escollera ubicado en el Puerto de Bares, en Mañón (A Coruña), de origen prerromano ([Acinas et al. \[2\]](#)), también en esta comunidad autónoma. Sirvan al lector como **ejemplos de infraestructuras del transporte primitivas**, que sentaron las bases para la posterior e ingente labor constructora desarrollada por los romanos en sus territorios: primero como elemento de conquista ([Vega-Avelaria \[3\]](#)) y, posteriormente, como instrumento de homogeneización social y de culturización del Imperio ([De la Peña \[4\]](#)).



Fig. 1. Escollera de “coídos” prerromana del puerto de Bares (Mañón, A Coruña). Fotografía de Iago Casabiell González (Fuente: Wikipedia).

En los 2000 años de historia transcurridos entre las infraestructuras romanas y las carreteras actuales, la **irrupción de los vehículos a motor supuso un punto de inflexión en su planificación y construcción** desde el punto de vista técnico: se hicieron necesarios nuevos trazados, dotados de unas exigencias geométricas que garantizaran la seguridad y el confort de los viajeros (pendientes, peraltes, acuerdos verticales, curvas de transición...) que, por primera vez, serían capaces de alcanzar grandes velocidades en sus desplazamientos terrestres sin tener que recurrir al “tiro de sangre” de carruajes y diligencias. La necesidad de nuevos trazados trajo también consigo el desarrollo de novedosas técnicas constructivas y nuevos tipos de materiales de construcción, capaces de solventar las exigencias a las que se enfrentaban los ingenieros y constructores en cada época.

Las modernas autopistas, autovías y vías rápidas de finales del siglo XX y principios del XXI están pensadas para afrontar viajes a larga distancia en vehículos motorizados, en condiciones óptimas de desplazamiento tanto para el viajero como para el vehículo. Suponen además un activo muy importante para la dinamización de la economía: en nuestro país se ha hecho un esfuerzo muy importante en las últimas décadas para suplir las deficiencias históricas en este ámbito ([Richarson \[5\]](#)). La búsqueda de la eficiencia en la gestión de las mismas implica un esfuerzo durante todo su ciclo de vida y, en especial, durante la fase de conservación y explotación de la misma (COEX). Una medida de la importancia que el sector del mantenimiento de carreteras tiene en España es, por ejemplo, la partida de 940 millones de Euros que se fijó para este fin en los [Presupuestos Generales del Estado](#) del año 2017 ([6]).

Pero no todos los aspectos relativos a las modernas carreteras han sido positivos: sin entrar a analizar otro tipo de implicaciones medioambientales – que no son objeto de este proyecto-, TOPACIO analiza una **temática poco conocida** y no muy investigada: la **relación de los incendios forestales con las infraestructuras del transporte**. Existen estudios que demuestran que un alto porcentaje de los incendios forestales se producen en el entorno de las vías de comunicación, las cuales actúan a su vez como elementos de escape para la población que se pueda ver afectada por el fuego ([Marzano \[7\]](#)). Dentro de la gran problemática de los incendios forestales hay una serie de elementos que, en este contexto, merecen ser destacados sobre los demás:

- El **95% de los incendios** forestales son **provocados** por la acción del hombre. Se calcula que sólo un 5% se deben a causas de tipo natural (fenómenos meteorológicos).
- Menos del **3%** de los **incendios forestales** causan el **80%** de las **hectáreas** quemadas. Son los denominados “Grandes Incendios Forestales” (GIF), que cada año asolan nuestros bosques.
- Una gran parte de los **incendios se inician en el entorno de las infraestructuras**. Las causas son muchas, complejas y no están estudiadas ni determinadas en profundidad: automovilistas que desde la carretera arrojan colillas u otros elementos al pasar, susceptibles de causar incendios (cristales, basuras); chispas provocadas por el paso de los vehículos; vertidos de aceites y otros productos inflamables... A ello se une la falta de mantenimiento de los márgenes viarios, con la presencia y acumulación de materiales susceptibles de arder en determinadas circunstancias: vegetación, desechos, etc.
- La cercanía de las infraestructuras a las zonas de biomasa supone un **doble motivo de riesgo**, tanto en lo referido a facilitar los **incendios provocados por causas humanas** (intencionados o no) como por la utilización de las mismas como vía de **acceso y escape** de las zonas afectadas por el fuego durante la extinción y/o evacuación.

- La desinformación y falta de implicación de los ciudadanos, especialmente en las zonas rurales más afectadas por los incendios, supone un inconveniente añadido a la hora de abordar una problemática tan compleja. En los últimos años, diversos casos de gran impacto (como los incendios ocurridos en 2017 en la parroquia pontevedresa de Chandebrito (Nigrán) y en Pedrogão (Portugal), con un elevado número de víctimas mortales, han dejado claro que se trata de una lacra que es necesario abordar con todas las armas que estén al alcance de la sociedad, en su conjunto.



Fig. 2. Noticias de prensa que recogen los grandes incendios forestales asociados a carreteras ocurridos en 2017 en Nigrán (Pontevedra, España) y Pedrogão (Portugal).

El proyecto TOPACIO pretende aportar **herramientas para luchar contra esta problemática** mediante el desarrollo de **soluciones innovadoras basadas en la hibridación de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC)**, integrando los resultados de aplicar nuevas técnicas de control e inspección de carreteras en un **sistema experto para su gestión y mantenimiento**, con especial atención a la **prevención de los incendios forestales** en las inmediaciones de las vías.

2. EL PROYECTO TOPACIO. Breve descripción.

2.1. Objetivos y herramientas empleadas.

Como se ha indicado en la introducción, TOPACIO se orienta a la **gestión de las infraestructuras del transporte** y, de manera más concreta, se centra en la **problemática de los incendios forestales y su prevención** a través de las infraestructuras presentes en la faja primaria de gestión forestal y en su entorno crítico, aquel que se encuentra más cercano al ciudadano y que supone mayor impacto y vulnerabilidad: se analiza la biomasa situada en los márgenes de las carreteras, que en ocasiones alcanza zonas de protección o franjas del sistema viario que deberían estar libres de ocupación, tanto por consideraciones legales como por la seguridad de vehículos y usuarios. Y que, en caso de producirse un incendio, resultan de especial relevancia en su propagación ([Dhall et al. \[8\]](#)).

Las herramientas TIC que se proponen emplear en TOPACIO se integran en las denominadas **Tecnologías Facilitadoras Esenciales** (TFE) y resultan de gran interés en los actuales procesos de negocio, para detectar nuevas oportunidades empresariales y cambiar la orientación de las actuales, un aspecto competitivo de especial interés para las cuatro firmas que desarrollan el proyecto, de cara a una futura comercialización de sus resultados.

El núcleo de la propuesta innovadora de TOPACIO se centra en la **hibridación** de sistemas TIC como **tecnologías transversales**, orientadas a los procesos de gestión de infraestructuras en tres ámbitos complementarios: la **inspección de las carreteras**, su **monitorización y seguimiento** y, por último, la **gestión de la información del entorno de la vía**, a la hora de tomar decisiones de conservación. En este caso, las que afecten particularmente a las condiciones de aparición de un incendio forestal.

La aplicación y desarrollo de **técnicas de inspección** basadas en tecnologías **LiDAR móvil** (láser escáner móvil) **embarcadas en sistemas terrestres y aéreos (drones)** permiten a TOPACIO obtener una foto fija de las vías de estudio, con un nivel de detalle y puntos de vista complementarios, inéditos en el mercado de la gestión y control de las infraestructuras del transporte a día de hoy. De esta forma, se puede caracterizar de manera muy detallada tanto la vía

como sus zonas adyacentes, con información geométrica y radiométrica del estado puntual de la franja forestal en el entorno de la infraestructura para su **documentación e inventariado**.

La información obtenida por los sistemas de inspección es de gran detalle espacial, pero se refiere al momento puntual de la toma de datos. La evolución del entorno de la infraestructura y el modelado del estado de la vegetación circundante (que actúa como combustible en un hipotético incendio) requiere de **estrategias de monitorización**, que posibiliten disponer de datos con una menor resolución espacial pero que, a cambio, estén disponibles de manera casi continua en el tiempo. En TOPACIO, el proceso de monitorización y seguimiento temporal de las infraestructuras se realiza empleando **tres fuentes de datos** de gran precisión:

- **Datos meteorológicos reales** tomados por estaciones de control de última generación, ubicadas en las zonas de estudio o cercanías; son necesarios por la importancia que tienen los parámetros meteorológicos en la propagación de los incendios forestales ([Pasko et al. \[9\]](#)): temperatura, humedad, dirección y velocidad del viento... A partir de los Grandes Incendios Forestales (GIF) acaecidos en el final del verano y principios del otoño de 2017 en España y Portugal, se ha popularizado la llamada “Regla del 30”, que dice que el riesgo de incendio es extremo cuando la temperatura es mayor de 30 °C, la humedad relativa inferior al 30% y el viento superior a 30 km/h. Esta máxima refleja claramente la **gran importancia que tiene la meteorología en el riesgo de propagación de los incendios forestales**, unida a la topografía de la zona y al estado de la vegetación que rodea a la carretera, como combustible que alimenta al fuego y propicia su propagación ([Bukhori \[10\]](#)):
- **Imágenes satelitales** de alta precisión, con cobertura global y tiempos de revisita de varios días, que posibilitan observar la evolución de una franja territorial concreta. En particular, en TOPACIO nos interesa el **estado de la vegetación cercana a la carretera** y saber cómo evoluciona, a la hora de tomar decisiones en lo que concierne a su tratamiento silvícola.

- **Sensores ciudadanos:** en TOPACIO se ha diseñado una app específica para móvil en Android, que permite que ciudadanos potencialmente interesados e implicados en la prevención de incendios puedan **compartir los datos adquiridos por las cámaras y sensores de sus terminales móviles**, que se añadirán a la información obtenida por las otras vías indicadas. En este sentido, un excursionista que pasee por una zona boscosa y detecte un incendio, puede aportar localizaciones y fotografías del mismo a los gestores de las infraestructuras, de manera casi inmediata a través de su Smartphone, para que se tomen las medidas que sean oportunas, según la situación detectada.

En resumen, los datos de inspección y monitorización de carreteras estudiados y gestionados en TOPACIO se basan en el novedoso empleo conjunto de cuatro herramientas: LiDAR móvil montado sobre vehículos terrestres o drones; datos meteorológicos recogidos en remoto por estaciones automatizadas; imágenes satelitales y app “sensor ciudadano”. Sin embargo, estos datos no tienen, por sí mismos, un efecto en la prevención de los incendios si no se realiza el procesado, análisis y gestión de la información contenida en ellos. TOPACIO prevé desarrollar una plataforma específica que permitirá obtener modelos de información y la integración de los mismos en un **sistema de gestión de infraestructuras que, a su vez, ayude en la toma de decisiones de mantenimiento en el entorno de las infraestructuras**, de cara a la prevención de incendios forestales en sus cercanías.

Por ejemplo, si una carretera discurre por una zona boscosa, el sistema de gestión de infraestructuras de TOPACIO recogerá información relativa a las condiciones meteorológicas que se están dando en la zona, analizará el estado de la vegetación circundante y su evolución (grado de crecimiento, cercanía o invasión de zonas de servidumbre o de la calzada, proyección sobre la vía...) a partir de imágenes LiDAR y satelitales, estableciendo recomendaciones de acciones a los gestores de la carretera, de cara la prevención de un incendio, en función de índices de riesgo desarrollados específicamente en el proyecto. Además, el ciudadano habrá podido participar en la aportación de información relevante, en tiempo real, con la app que lleva incorporada en su Smartphone.

2.2. Estimación del riesgo de incendios forestales en TOPACIO.

En la **gestión del riesgo** de incendios, el sistema experto para infraestructuras de TOPACIO modeliza la **probabilidad de ocurrencia de un incendio** empleando índices o indicadores de diversos tipos, entre los que destacan los de **ignición, propagación e impacto** asociado al valor de los recursos afectados, a partir de los datos recogidos con las herramientas TIC antes presentadas. En relación a los parámetros que se toman como indicadores para la cuantificación del riesgo de ocurrencia de incendios en el entorno de carreteras, se han considerado los elementos señalados en la figura siguiente (Figura 3). Estos indicadores, junto con la topografía del terreno -que se considera como invariable en el modelo diseñado-, se están analizando de manera exhaustiva en el proyecto, generando diferentes modelos que permitan a los gestores de las infraestructuras la obtención de una **cuantificación automática del nivel de riesgo** en diversas situaciones reales.

En caso de detectarse índices de riesgo altos o muy altos, el sistema experto de gestión desarrollado en TOPACIO es capaz de **generar alarmas y sugerir acciones específicas para rebajar la peligrosidad**, tales como envío de personal especializado para vigilancia, acometer desbroces y talas o proceder al riego y humectación de una zona concreta, entre otras recomendaciones para minimizar el riesgo de ocurrencia de un incendio en las cercanías de la vía.



Fig. 3. Indicadores de elementos de interés para la cuantificación del riesgo de incendio asociado a carreteras.

Como se aprecia en la figura anterior, la **cuantificación de la ignición** está asociada al estado del combustible que rodea la carretera (presencia de especies vegetales y arbustivas, tipo, cantidad..) y a la serie histórica de episodios de ocurrencia de incendios registrados en la zona, si la hubiera, habitualmente en poder de las autoridades o de empresas gestoras de la carretera.

Por otro lado, la **propagación del incendio** se relaciona fundamentalmente con tres aspectos: las propiedades del combustible vegetal, la situación meteorológica en la zona y su topografía. Son aspectos especialmente complejos, que se están estudiando de manera pormenorizada, de cara al establecimiento de índices que reflejen de manera equilibrada la contribución de cada uno de estos aspectos a la propagación del fuego en las cercanías de una infraestructura del transporte.

.Así, por ejemplo, estudiando las propiedades del combustible se han analizado en 2018 y 2019 casos de aparición de **especies pirófitas de carácter invasor** que resultan altamente competitivas en los escenarios post-incendio, del tipo acacias (*acacia dealbata*, *acacia melanoxylon*), pseudo-acacias (*robinnia*) y otras especies como la *cortaderia selloana*, que colonizan la superficie del terreno y son responsables de la pérdida de biodiversidad, con el consiguiente impacto medioambiental negativo, sumado al causado por el propio fuego ([Carrasco \[11\]](#)).

3. CASOS DE APLICACIÓN EN ESCENARIOS REALES

3.1. Zonas de Estudio

Las herramientas TIC resumidas en los apartados anteriores se han probado en los años 2018 y 2019 en diferentes escenarios reales, con el fin de realizar una verificación del sistema de control global desarrollado en el proyecto y comprobar su idoneidad a la hora de alimentar el sistema experto de gestión y mantenimiento de carreteras que el proyecto TOPACIO tendrá como resultado final, en el cual también se está trabajando, de manera paralela.

Se han delimitado **dos grandes zonas de actuación**, ubicadas en la **provincia de Ourense** (Galicia, España): Por un lado, diversos enlaces de la **Autovía Ourense-Celanova AG-31 (AUCEL)** y, por otro, el entorno del **Parque**

Natural da Serra do Xurés y su extensión en la red de carreteras autonómicas OU-540 y OU-312, gestionadas por EXTRACO, por tratarse de una de las zonas más castigadas por los incendios forestales en los últimos años, y de las de mayor impacto por el valor ecológico que atesora este parque natural.

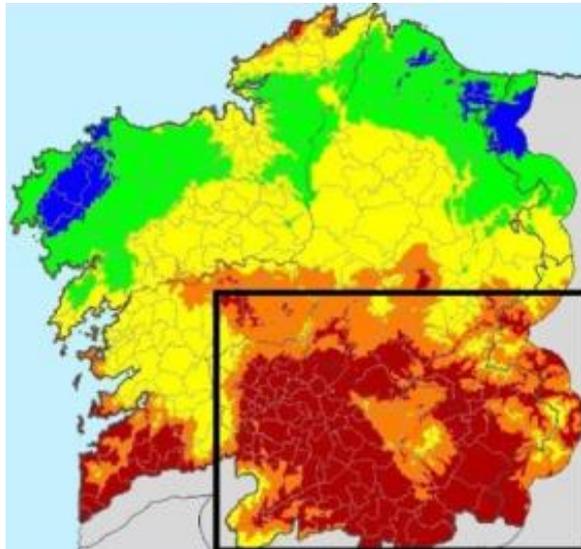


Fig. 4. Mapa de riesgo de incendios forestales en Galicia: la zona de Ourense, elegida para el desarrollo de TOPACIO, presenta los más altos índices de riesgo de la comunidad, en las zonas más oscuras. (Fuente: MeteoGalicia).

En la Figura 5 se aporta un mapa de las zonas de análisis indicadas, en las que se escogieron diversos casos de estudio para caracterizar elementos de la red primaria (detalle superior de la Figura 5) y de la red secundaria (detalle inferior) de las fajas de gestión de biomasa, de acuerdo con los objetivos del proyecto TOPACIO.

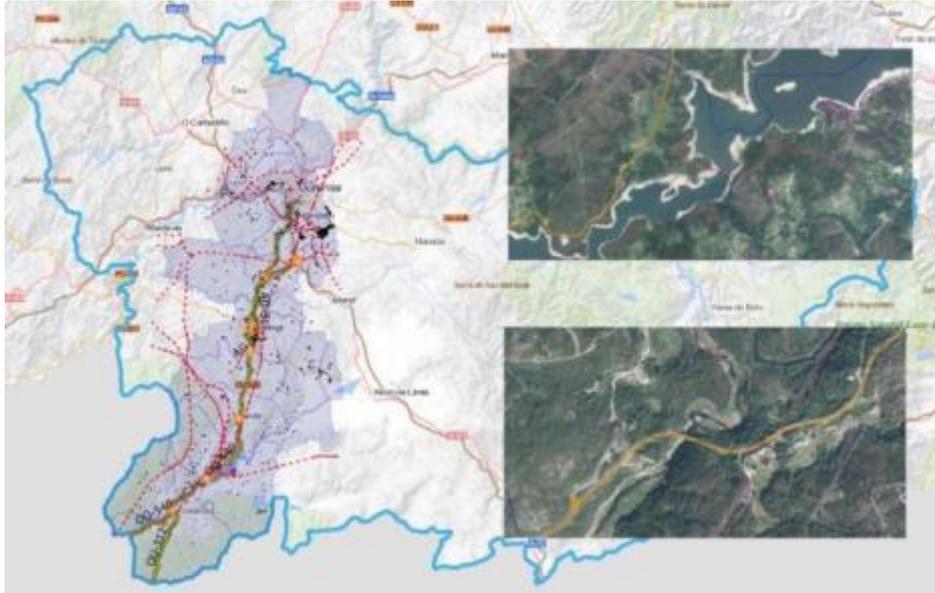


Fig. 5. Zonas de estudio del proyecto TOPACIO, en escenarios reales ubicados al oeste de la provincia de Ourense. Elaboración propia.

Las dos regiones seleccionadas se dividen en polígonos de estudio, ubicados en los ayuntamientos de **Celanova y Lobios**, respectivamente, y aportan tipologías de infraestructuras muy diferenciadas.

En el caso de Celanova, la infraestructura analizada es **una autovía, la AG-31 Vía de Alta Capacidad Ourense-Celanova**, gestionada por AUCEL (sociedad concesionaria participada por EXTRACO), que comunica Ourense capital con el sur de la provincia y la frontera con Portugal. En ella se han seleccionado diversos enlaces, en los que se ubican fincas limítrofes que necesitan habitualmente de tratamientos silvícolas para frenar el avance de la vegetación sobre la carretera.



Fig. 6. Ubicación de los ayuntamientos de Celanova y Lobios en la provincia de Ourense (Elaboración propia).

A esta zona de pruebas se la ha denominado **AG-31-Campo** y ocupa una superficie de 33 ha. Su interés radica en la variabilidad de viales que engloba, (tronco principal de la vía, vías de servicio, entradas y salidas de los enlaces), así como los diferentes combustibles forestales que se aprecian, tanto en taludes como en las fincas limítrofes. Además, en sus proximidades hay diferentes poblaciones, lo que la convierte en una zona de tipo interfaz urbano-forestal.



Fig. 7. Ortofoto y características del nudo centro de la autovía AG-31.
(Elaboración propia).

El otro caso de estudio se subdivide a su vez en dos polígonos, ubicados en el ayuntamiento de **Lobios**, ambos representativos de una orografía muy diferente al caso de estudio de Celanova. En estos dos polígonos es de tipo montañosa, mientras que la zona de Celanova se corresponde con un terreno llano de pendientes poco acusadas. En los dos casos de estudio de Lobios tenemos, además, diferentes núcleos de población, así como escenarios donde aparecen combustibles forestales en todos los estratos, líneas eléctricas, cortafuegos y zonas de monte que han sido objeto de desbroce, por lo que resultan especialmente interesantes para un estudio continuado de observación de los diferentes cambios en la vegetación a lo largo del tiempo.



Fig. 8. Ortofotos y características técnicas de los polígonos de estudio de Lobios, denominados Xu01 y Xu02 (Por estar ubicados en la Serra do Xurés).

En la Tabla 1 se recogen los nombres, coordenadas de los vértices y del centro de cada uno de los tres recintos estudiados.

ID	NOMBRE ZONA	SUPERFICIE (ha)	PERIMETRO (km)	COORDENADAS POLÍGONO (ETRS89 / UTM zona 29N)	COORDENADAS CENTROIDE (ETRS89 / UTM zona 29N)
ag31	AG-31 Campo	33.009	2.281	POLYGON ((586805.16309147 4666755.00261704,586857.984714168 4666862.0236056 ,587025.408632513 4667043.30902362,587211.798866704 4667286.99775007,587483.664026798 4667195.84274491,587635.794195668 4666904.96224157,587423.957010343 4666775.55325501,587121.163030647 4666558.88211433,587059.008357646 4666592.2128217,586805.16309147 4666755.00261704))	POINT(587223.875834937 4666919.81218856)
xu01	OU-312 Bubaces	85.87	3.72	POLYGON((573428.792323895 4634932.94441752,573222.437785781 4635800.78765406,574217.939032865 4635901.62526137,574330.52627701 4634986.14583555,573428.792323895 4634932.94441752))	POINT(573802.008937857 4635413.55720268)
xu02	OU-312 Torneiros	103.82	4.19	POLYGON((574708.303405243 4634043.39988978,573859.306092899 4633054.54623861,573286.112382448 4633358.977666,573662.094696535 4634418.65975179,574708.303405243 4634043.39988978))	POINT(573911.648303091 4633759.50182697)

Tabla 1. Coordenadas de los 3 polígonos de estudio.

3.2. Empleo de Láser-escáner móvil (LiDAR) en TOPACIO:

La adquisición de datos con tecnología **LiDAR móvil** se ha realizado empleando sistemas aportados por la UVigo y AEROMEDIA, embarcados en vehículos terrestres y en drones, respectivamente.

Si bien hay ya ejemplos en la literatura científica del empleo de esta tecnología en el control de infraestructuras del transporte ([Martínez-Sánchez et al. \[12\]](#); [Puente et al. \[13\]](#)); [Prego et al. \[14\]](#), por citar algunos), no se había planteado hasta la fecha en la vertiente de **control de vegetación y prevención de incendios** que se desarrolla en TOPACIO, con resultados muy prometedores derivados del proyecto, de reciente publicación ([Novo et al. \[15\]](#)), que además formarán parte de una futura tesis doctoral en la Universidad de Vigo.

En lo que respecta a la adquisición de datos **LiDAR terrestre**, se ha utilizado un sistema láser móvil denominado Lynx Mobile Mapper M1, de la firma Optech, que va montado sobre una furgoneta Mercedes-Benz Vito perteneciente a la Universidad de Vigo (Figura 9). Este sistema genera gran cantidad de datos LiDAR e imágenes, y está basado en el empleo dos sensores LiDAR (Figura 10) capaces de recolectar hasta 500.000 mediciones por segundo. Está dotado de una unidad de control Lynx que incorpora el sistema GPS POSLV520 de Applanix, el cual integra una Unidad de Medición Inercial (IMU) con un sistema de medición de rumbo de dos antenas (GAMS), que proporciona una precisión absoluta (RMS) de 0.0151 grados en la cabecera, 0.0051 grados en el *ángulo roll* y 0.02 m en el ángulo pitch (posiciones X Y), y una precisión de 0.05 m en la posición Z (Figura 10).



Fig. 9. Vehículo de inspección terrestre y LiDAR Optech instalado sobre el techo.



Fig. 10. (a) Sensor y cámara Lynx LiDAR; (b) antena GPS Applanix y (c) Unidad de control Lynx.

En cuanto al proceso de adquisición de datos, se utilizaron los programas específicos LV y POSView, desarrollados por Applanix, y Lynx Survey de Optech. Los primeros muestran información útil de posicionamiento y coordenadas durante el levantamiento, mientras que Lynx Survey es responsable de la planificación y control de la medición del LiDAR móvil, mostrando el plan de ruta y la información sobre el estado del sistema en el momento de realizar las mediciones.

El procesamiento de los datos obtenidos con el Lynx Mobile Mapper es un proceso complejo, que en este proyecto ha recaído en grupo de Geotecnologías Aplicadas-GEOTECH de la UVigo. Se ha empleado el programa POSPAC MMS5, que procesa los datos GPS, IMU y DMI recopilados durante el levantamiento, para crear un SBET (Smooth Best Estimated Trajectory) final para el procesamiento de Lynx. A continuación, el programa DASH map trata todos los datos Lynx y las mediciones en bruto LIDAR se combinan con el SBET para calcular una nube de puntos georreferenciados. Por último, recurriendo a un tercer programa informático (Quick Terrain Modeler, desarrollado por Applied Imagery) se consiguen visualizar y modelar los datos Lynx procesados: se obtienen al final del proceso imágenes con atributos de medición de tipo Laser point XYZ, Laser range, Laser range intensity, Laser shot scan angle, Laser shot GPS time, Laser shot number of returns, GPS time y RGB (nombres de los atributos en inglés, de acuerdo con la nomenclatura habitual en esta técnica).

En la Figura 11 se muestra un ejemplo de ruta terrestre de inspección y recogida de datos LiDAR (parte superior) y la imagen -con propiedades

fotogramétricas- obtenida tras el procesado de la nube de puntos original (inferior).

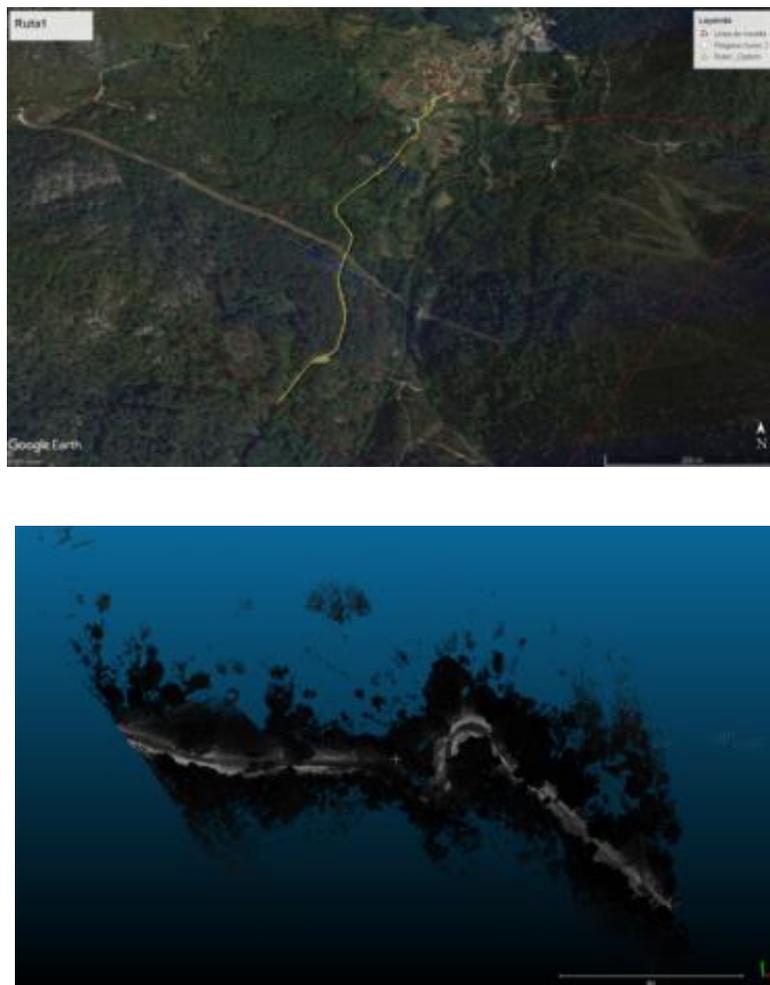


Fig. 11. Ejemplo de ruta seguida en inspección terrestre (arriba) y de imagen georreferenciada (abajo) obtenida tras el post-procesado de la nube de puntos adquirida con el sistema LiDAR Lynx Mobile Mapper M1.

La adquisición de los datos **LiDAR aéreos** se ha realizado con un vehículo aéreo no tripulado (dron), solicitando previamente los permisos de vuelo para acometer el estudio en el parque Natural do Xurés, al Servicio de Conservación de la Naturaleza (Consellería de Medio Ambiente), y al gestor de la conservación de la infraestructura, en el caso de la autovía AG-31 de Celanova la empresa EXTRACO.

El dron utilizado es de tipo Phoenix y lleva embarcado un LiDAR Velodyne modelo ALPHA SERIES AL3-32, que cuenta con una precisión topográfica (nivel cm), láser con alcance de 105 m y excelente calibración de intensidades.



Fig.12. Sistema LiDAR Alpha series AL3-32 utilizado en la adquisición de datos LiDAR aéreos.



Fig. 13. Ejemplo de análisis de la Autovía Ourense-Celanova con LiDAR embarcado en drones: vuelo sobre la carretera (izquierda) y detalle del dron empleado (derecha).

Al igual que sucede con las nubes de puntos obtenidas con el LiDAR móvil instalado en vehículos terrestres, los datos provenientes del LiDAR embarcado en drones también deberán ser pre-procesados, empleando en este caso el programa LIDAR-MIILL, que analiza los datos GPS de la trayectoria de vuelo y de los datos capturados por la IMU (unidad inercial del sensor), comparándolos con los datos aportados por las estaciones del Instituto Geográfico Nacional (IGN) de referencia más próximas. Estos datos se utilizan para corregir la lectura de datos GPS captados por el sensor LIDAR y obtener así precisiones de posicionamiento centimétricas en las imágenes obtenidas con los vuelos. Gracias a este procesado, del LiDAR móvil se extraen dos tipos de archivos, que serán integrados en el sistema experto de gestión de TOPACIO:

- *Spatial fuser*, donde se agrupan los resultados del procesado de la nube LIDAR, el modelo digital del terreno y el alineado de diferentes trayectorias de vuelo.
- *Navlab*, donde se recogen archivos de análisis e informes de resultados relativos a la trayectoria de vuelo del sensor LIDAR instalado en el dron.

Se muestran a continuación diversos ejemplos de imágenes obtenidas tras el procesado de las nubes de puntos del LiDAR embarcado en drones:

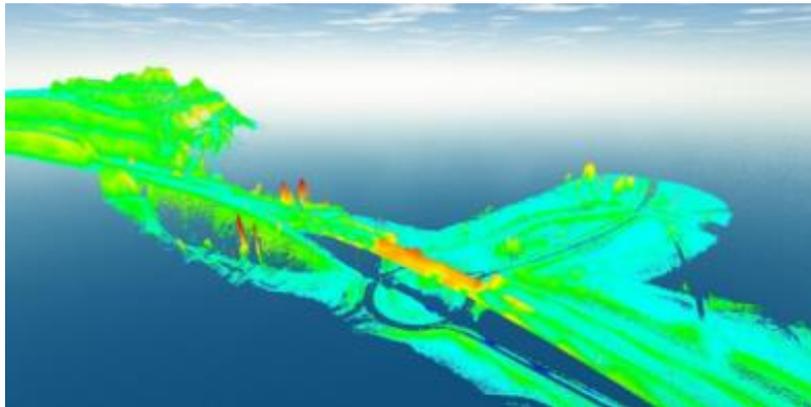


Fig. 14. Imagen aérea post-procesada obtenida con un dron en un enlace de la Autovía Ourense-Celanova.

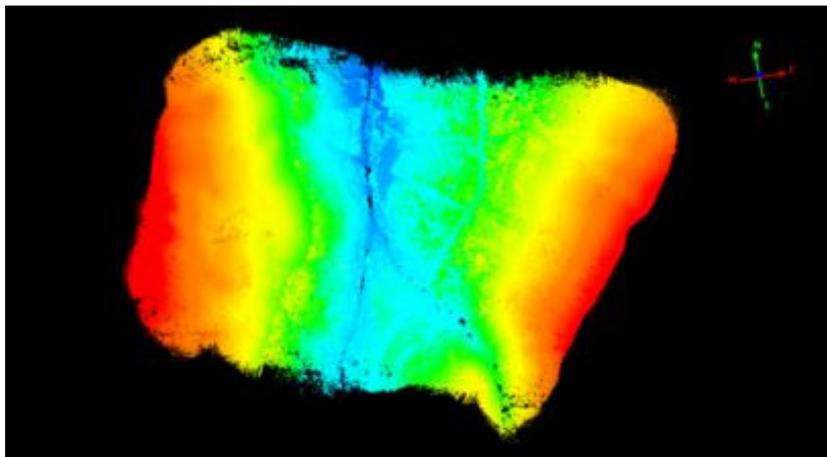


Fig. 15. Imagen aérea post-procesada obtenida de un vuelo sobre la zona de Os Baños (Parque Natural do Xurés, Ourense).

3.2. Análisis meteorológicos empleados en TOPACIO.

La **adquisición e interpolación de datos meteorológicos** es una parte fundamental para la generación de índices de peligro de ignición y riesgo de propagación, uno de los pilares sobre los que se asientan las estrategias de prevención de incendios forestales [10]. Por el espacio geográfico en el que se desarrolla el proyecto, las dos entidades públicas de referencia para el acceso a las mediciones son la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), a nivel nacional, y MeteoGalicia, a nivel autonómico. Teniendo en cuenta que los datos de AEMET no son gratuitos, **se ha recurrido a la red de estaciones de MeteoGalicia** para medir las siguientes variables: temperatura ambiental, humedad relativa, precipitación acumulada, viento, presión atmosférica y radiación solar. MeteoGalicia mantiene y explota una red de algo más de 150 estaciones automáticas repartidas de forma no uniforme por toda Galicia, con una concentración mayor en las cercanías de las siete principales ciudades gallegas, como se aprecia en la figura siguiente (Figura 16).

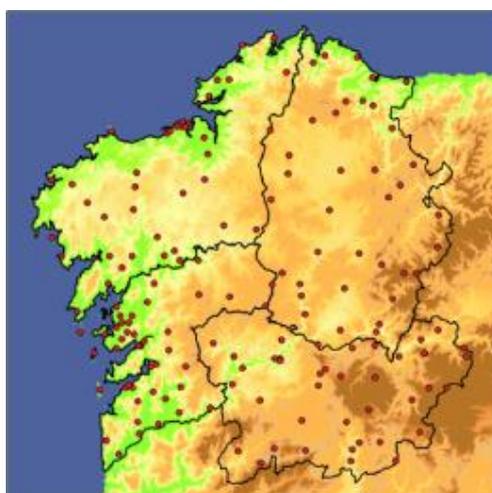


Fig. 16. Distribución de la red de estaciones meteorológicas automáticas de MeteoGalicia (Fuente: MeteoGalicia).

Una vez adquiridos datos puntuales de las variables de interés a partir de las mediciones registradas en la red de estaciones meteorológicas, se hace necesario un tratamiento que permita conocer los valores de dichas variables en los puntos de estudio, que no tienen por qué coincidir con los emplazamientos de las estaciones de toma de datos. Tanto si se busca conocer una o varias variables en un punto concreto, como si se pretende

generar una imagen ráster de la distribución de dichas variables en una zona determinada, se hace necesario emplear **algoritmos que interpolen los datos de los puntos conocidos a las nuevas ubicaciones**. El Grupo de Tecnoloxía Enerxética (GTE) de la Universidad de Vigo fue el encargado de recolectar los valores medidos en las estaciones más cercanas a las zonas de análisis, aplicando después diferentes algoritmos de interpolación adecuados a cada caso (Teng-Yi [16]). Así, por ejemplo, se empleó interpolación de tipo *Nearest Neighbor* (NN) cuando las estaciones estaban muy cerca del punto de interés, ya que esta técnica asume que los valores registrados en la estación más cercana son adecuados para caracterizar la meteorología del punto de estudio. Cuando las distancias entre las estaciones meteorológicas y los puntos de estudio dejan de ser despreciables, se hace necesario tener en cuenta dichas distancias a la hora de interpolar los valores meteorológicos. En ese caso se recurrió a la técnica de interpolación *Distance Weighting* (IDW) o media ponderada por el inverso de la distancia.

La zona de estudio ubicada en las estribaciones del Parque Natural do Xurés, en el extremo sur de Ourense, carecía de una red de estaciones de medición suficientemente representativa en sus inmediaciones. Por este motivo, se acometió la instalación de una estación meteorológica adicional, *ex profeso*, en el Balneario de Lobios durante el verano de 2019, con el apoyo del Centro de Investigación Forestal de Lourizán. Esto ha permitido disponer de valores reales de comparación que garantizan que las interpolaciones de datos realizadas entre las diferentes estaciones de MeteoGalicia son correctas.

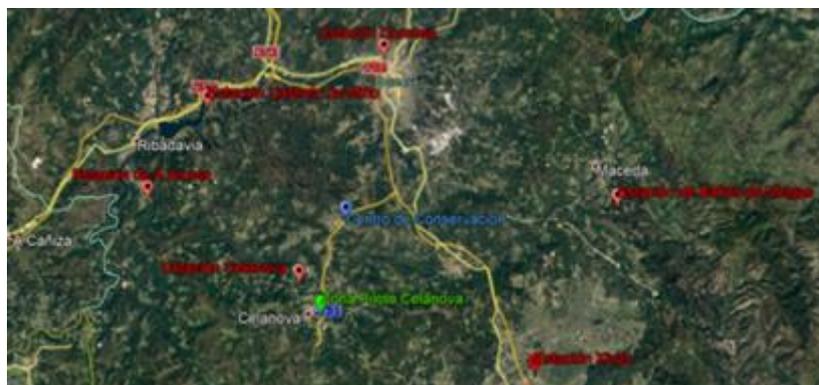


Fig. 17. Red de estaciones meteorológicas más cercanas a los casos de estudio (en verde), señaladas en rojo (Elaboración propia a partir de datos de MeteoGalicia).



Fig. 18. Estación meteorológica instalada *ex profeso* en el **Balneario de Lobios**, para comprobación empírica de la validez de interpolaciones realizadas: Anemómetro (izquierda) y pluviómetro (derecha).

Entre los trabajos acometidos hasta la fecha en esta parte del proyecto destacan los relativos al desarrollo de un **algoritmo propio** para la descarga, almacenamiento y análisis de datos meteorológicos en **formato MySQL**. De su estudio se ha constatado que la correlación de valores meteorológicos entre las estaciones empleadas y las zonas piloto es adecuada,

Se ha obtenido además **un modelo meteorológico de detalle** a través de la generación de campos interpolados sobre las variables meteorológicas más relevantes, generando índices cuantitativos y cualitativos que permiten discernir el riesgo de ignición y propagación de los incendios forestales en las zonas de estudio.

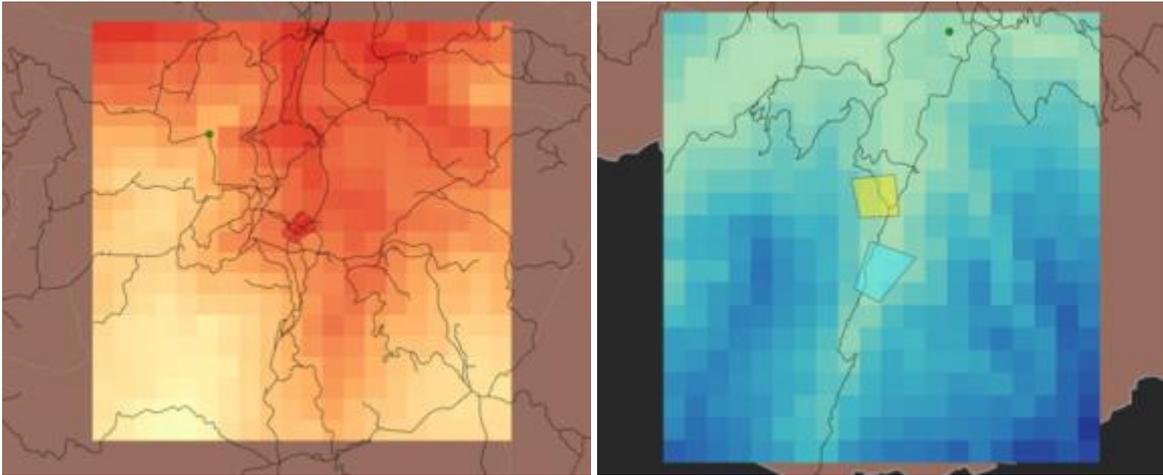


Fig. 19. Mapa de temperaturas de la zona piloto de Celanova (izquierda) y mapa de humedades de la zona de Lobios (derecha), confeccionados a partir del análisis de la serie de datos meteorológicos de MeteoGalicia.

3.4. Imágenes satelitales empleadas en TOPACIO.

La representación visual de la información capturada por un sensor instalado sobre un satélite artificial se conoce como **imagen satelital**. Estos sensores recogen información reflejada por la superficie de la tierra que, una vez enviada a la tierra, deberá ser procesada convenientemente para aportar información de gran detalle sobre las características de la zona representada.

Las imágenes remotas se basan en la medida de la radiación o energía electromagnética que emite un objeto o material. El espectro electromagnético recoge el rango de todas las radiaciones electromagnéticas, desde las bajas frecuencias (extremo de la onda larga) hasta los rayos gamma (extremo de la onda corta). (Figura 20).

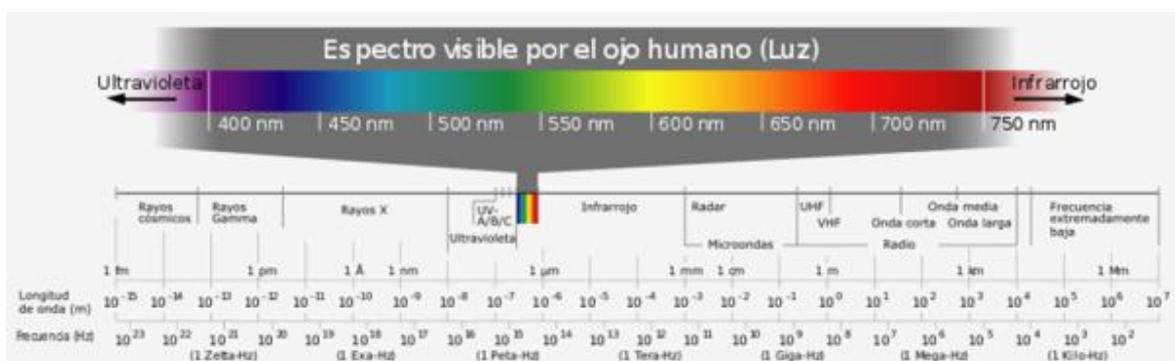


Fig. 20. Espectro electromagnético en función de las longitudes de onda.

Fuente: Agencia Espacial Europea (ESA).

Los materiales u objetos emiten energía en rangos específicos de longitud de onda, que se conoce como su **espectro** o **firma espectral**. Cada elemento, material o sustancia de la superficie terrestre varía su radiancia en función de las distancias y frecuencias de la radiación incidente, generando un patrón o firma espectral, a menudo único, que permite reconocerlo (Figura 21).

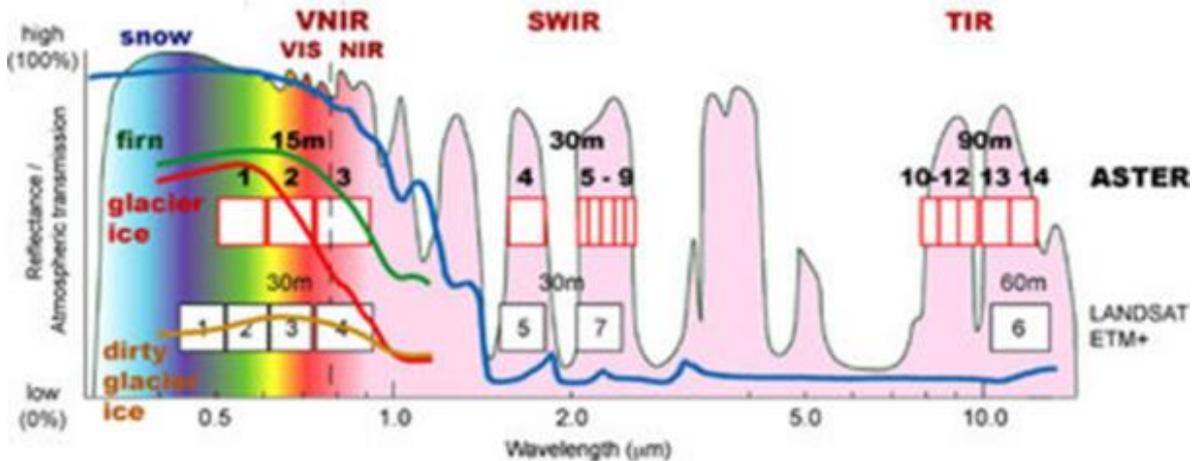


Fig. 21. Firmas espectrales de nieve, hielo, vegetación, agua y roca, como ejemplos de espectros. Fuente: ESA.

El número de píxeles que integra un sensor de satélite define su poder de resolución, es decir, la capacidad de discernir objetos o detalles de un determinado tamaño en las imágenes captadas. A mayor número de píxeles por unidad de superficie, mayor resolución del fotosensor. Una imagen de satélite se caracteriza por diferentes tipos de resolución: espectral (relativa al ancho de banda de espectros que tiene el sensor), espacial (designada por el objeto más pequeño que pueda distinguir), radiométrica (niveles de gris de la radiación recibida) y temporal (frecuencia de paso del satélite por un mismo punto). Dada la gran cantidad de elementos que participan en el proceso de captación, las imágenes recibidas desde el satélite deberán ser pre-procesadas y tratadas antes de poder ser utilizadas. Así, se someten a correcciones de tipo radiométrico (corrigen los errores debidos a irregularidades no deseadas en el sensor o en la atmósfera) y geométrico (rectificación de distorsiones debidas a la diferencia entre el sensor y la geometría de la tierra) para, posteriormente, realizar un proceso de realce y transformación de la imagen, con el fin de mejorar su visualización mediante una combinación de las bandas espectrales recibidas.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, en TOPACIO se han comparado las diferentes plataformas que sirven imágenes satelitales con el fin de seleccionar aquellas que mejor se adaptan a las necesidades del proyecto. En la Tabla 2 se recogen las plataformas analizadas:

Plataforma	Bandas espectrales y Resolución espacial	Revisita
Sentinel-2	3 bandas visibles y 1 infrarrojo cercano: 10 m 4 bandas red edge (para vegetación) y 2 infrarrojos onda corta (SWIR): 20m 1 banda de aerosol costero, 1 de vapor de agua y 1 de cirrus: 60 m	5 días
Landsat-8	1 banda pancromática: 15 m 3 bandas en visible y 1 en infrarrojo cercano: 30 m 2 bandas SWIR: 30 m 1 banda aerosol costero y 1 banda cirrus: 30 m 2 bandas infrarrojo térmico (TIR): 100 m	16 días
Planet	3 bandas visible y 1 infrarrojo cercano: 3 m/px	Diaria
Deimos-2	1 banda pancromática 0,75 cm 3 bandas visible y 1 infrarrojo cercano	4 días
SkySat	1 banda pancromática: 0.72-0.86 m 3 bandas visible y 1 infrarrojo cercano: 1 m	
WorldView 2-3	4 bandas (RGB NIR)+ opcionales: WV2: 1 banda pancromática 50 cm+ 8 bandas multiespectrales 2 m WV3: 1 banda pancromática 30 cm +4 bandas multiespectrales VNIR 1,2 m+ 4 bandas VNIR agregados + 8 bandas SWIR 3,7 m + 12 bandas CAVIS 30 m	1-4 días

Tabla 2. Características técnicas de las plataformas de imágenes satelitales comparadas en TOPACIO.

Teniendo en cuenta las bandas espectrales, resolución espacial y tiempos de revisita (paso del satélite sobre el mismo punto de la vertical terrestre) de cada una, se han considerado como idóneas para los objetivos del proyecto TOPACIO las imágenes satelitales aportadas por las plataformas **Sentinel-2** y **Deimos-2**.



Fig. 22. Imagen de la estación satelital DEIMOS-2 (Fuente: ESA).

Desde 2019 se han realizado trabajos de comparación entre imágenes satelitales de ambas plataformas, acometiendo labores de procesado, estudiando su resolución y analizando las zonas investigadas en diferentes épocas del año, con el fin de conocer su capacidad para determinar el volumen, crecimiento y avance de la vegetación en los bordes de las carreteras seleccionadas: se trata de una tarea compleja e importante, por el papel que juega la vegetación existente, su estado y ubicación como material combustible que puede alimentar y facilitar la propagación de un incendio forestal en las inmediaciones de la vía.

En esta parte de TOPACIO, el grupo GEOTECH de la Universidad de Vigo (UVigo) ha desarrollado, además, **algoritmos de descarga automática** de imágenes satelitales de tipo pyQGIS, aptos para los objetivos que persigue el proyecto.

En la figura que sigue (Figura 23) se aprecian dos fotografías satelitales de la misma zona de estudio de carreteras que circunvalan el Balneario de Lobios, provenientes, respectivamente, de las plataformas Deimos-2 y Sentinel-2. En ellas se comparan las resoluciones que aporta cada una (10 m y 0.75 m, respectivamente). El hecho de que no sean de la misma fecha se debe a que ambos satélites tienen diferentes tiempos de revisita sobre la vertical de la zona fotografiada.

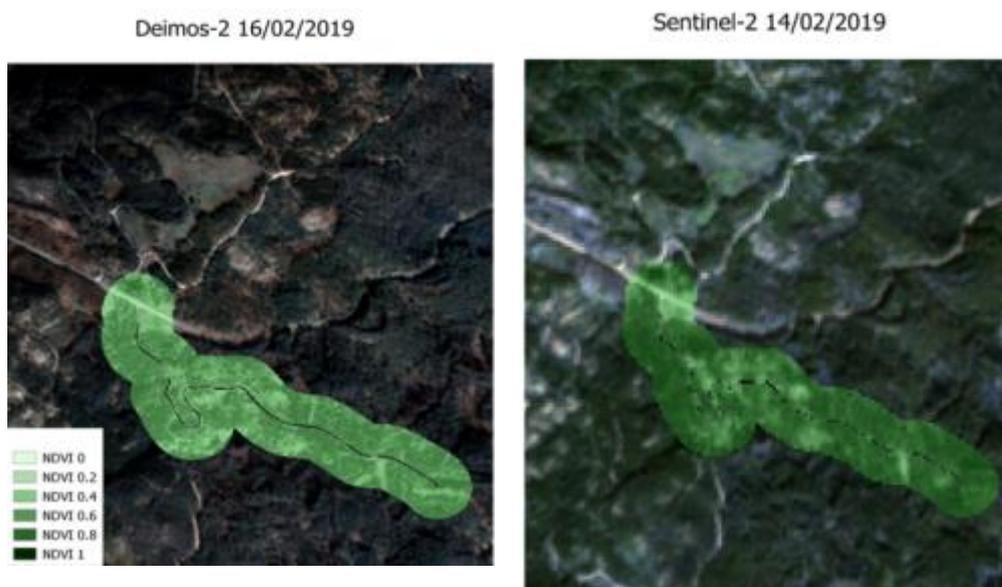


Fig. 23. Comparativa de imágenes satelitales de una zona de estudio de TOPACIO en Lobios.

3.5. Aplicación tipo “Sensor Ciudadano”.

La creación de una app específica en Android para fomentar la participación ciudadana en TOPACIO parte de la premisa de que los ciudadanos se han convertido en los sensores más inteligentes y cualificados para recoger la información que les rodea y comunicarla al resto de la población, en el contexto actual de globalización ([Sassen](#) [17]). Los teléfonos tipo Smartphone, dotados de cámaras para fotografiar o grabar y de GPS incorporado, se convierten en una herramienta de primer nivel susceptible de avisar ante emergencias causadas por incendios forestales, una de las mejores fuentes de alimentación de los Big Data mediante su difusión en las redes sociales.

Conscientes de este hecho, las empresas que financian TOPACIO, con la coordinación de San2, han abordado el diseño y lanzamiento de una **aplicación móvil** que permite modelar el estado del terreno por parte de los ciudadanos, implicándose en la prevención de los incendios forestales a través de la compartición de datos relativos a la ruta que siguen y la toma de imágenes, sobre el estado de la vegetación. La app, en proceso de desarrollo, se ha diseñado en GvSIG Mobile y permite establecer rutas que el usuario deberá identificar con un nombre, coordenadas y fecha, de manera que sean

almacenadas y se comparte la trayectoria seguida por el ciudadano, en base a waypoints y sensores de orientación (Figura 24).



Fig. 24. Ejemplo de trayectoria recogida en la app diseñada para la aportación de datos recogidos por “sensores ciudadanos”.

En lo que atañe a las imágenes tomadas por el teléfono móvil, la propia aplicación las somete a un procesamiento previo para compensación geométrica, la cual permitirá establecer relaciones métricas entre los elementos que recojan. Para ello, el usuario deberá establecer una medida de escala y un modelo de vista para este fin, a elegir en el menú de la propia app.



Fig. 25. Propuesta de interfaz para la app móvil diseñada en TOPACIO.

Se ha diseñado una interfaz de conexión con el Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) del sistema experto de gestión que recoge la información recibida por todas las herramientas comentadas, incluidas las provenientes del “sensor ciudadano”. Esta interfaz permite poner a disposición de TOPACIO los datos e imágenes georreferenciadas aportadas por los voluntarios que tengan

voluntad de participar en el proyecto. Para solventar las posibles ausencias de cobertura de telefonía en el entorno, se están desarrollando estrategias de almacenamiento local de datos y la comunicación de los mismos en zonas donde se garantice la existencia de cobertura.



Fig. 26. Ejemplo de ruta recogida en un Smartphone y diagrama-resumen de trasposición de datos desde el teléfono al sistema experto de gestión mediante Web Server.

3.6. Sistemas Expertos de ayuda a la toma de decisiones. El caso de TOPACIO.

Existen en el mercado sistemas expertos de gestión destinados al control de las infraestructuras del transporte, comercializados por empresas especializadas en el sector de la conservación de carreteras, que han diseñado estos productos para los propietarios o gestores de las mismas. EXTRACO, como empresa concesionaria y gestora de contratos de conservación y explotación de carreteras, ha testado diferentes sistemas en los contratos en los que ha participado en los últimos años. Podemos citar, entre los más destacados, los siguientes ejemplos, que podrían considerarse como los principales competidores que se encontrará el sistema experto desarrollado en TOPACIO, cuando se vaya a comercializar:

- **TEREX GSM** (Orientado a indicadores): Se trata de una aplicación empleada por algunas Administraciones Públicas en la gestión de la conservación viaria ordinaria. Consta de un programa gestor, que lleva asociada una base de datos

con resultados de operaciones de conservación: reposición de señales, tratamiento de firmes, cortes de carretera...

- **SmartRoads:** Se trata de una serie de sistemas de gestión de infraestructuras de la firma ITERNOVA, que cubren la mayor parte de las necesidades de la conservación y explotación de carreteras. Están formados por módulos que posibilitan la gestión integral y centralizada de cualquier infraestructura de tipo lineal.

- **Ícaro:** Es un sistema de gestión experto desarrollado específicamente para autopistas y redes de carreteras.

- **GvSig Roads:** Se trata de una solución integral de gestión de infraestructuras viarias, tanto desde su componente alfanumérica como geográfica, basada en estándares y software libre. Ofrece, además, una aplicación móvil para tareas de trabajos de campo y un geoportal de recursos y servicios basados en información geográfica.

- **CivilRoad:** Es un módulo encargado de las labores de conservación y explotación en concesiones de carreteras y autovías, que necesita de CivilWorks (módulo base) y CivillInventory (módulo de inventario) para operar. En la actualidad está presente, principalmente, en carreteras de México, Eslovenia y España.

A pesar de la amplia gama de sistemas presentes en el mercado de la gestión de infraestructuras, **no se ha localizado ninguna aplicación que tenga en consideración los aspectos que se estudian en TOPACIO**, en particular el empleo combinado de técnicas de inspección de última generación aplicadas a la prevención de los incendios forestales asociados a las carreteras.

La aplicación diseñada en TOPACIO por las empresas CONEXIONA y San2, gravita entorno a un “Cuadro de Mando Integrado” (CMI), sistema de ayuda a la toma de decisiones que integra la información obtenida con cada una de las herramientas TIC que trabajan cooperativamente en el proyecto. Con el procesado automático de esta información se generan los siguientes modelos de indicadores:

- **Indicadores de continuidad horizontal y vertical:** Modelos de combustibles y su continuidad a partir del inventario de especies forestales analizadas en los datos LiDAR. Se obtiene un modelo del combustible a través de la estimación de la continuidad horizontal y vertical y la caracterización de su efecto en la simulación de los incendios. Además, a partir de los datos LiDAR se realiza un inventario forestal somero de las especies predominantes: principalmente, pino y eucalipto y su distinción de las otras especies.
- **Indicadores de impacto:** Modelo de impacto del riesgo de incendio en base al análisis de datos de la monitorización ciudadana. A partir del análisis de rutas pre-procesadas y las imágenes de los dispositivos móviles, se obtendrán, respectivamente, una estimación del impacto del riesgo y una estimación de la continuidad vertical de la vegetación.
- **Indicadores de estado:** Modelo del estado de combustible a partir de las imágenes obtenidas mediante satélite. Se obtienen parámetros de estado de combustible a partir de las imágenes y un modelo de evolución del mismo, estimando distancias de seguridad con las infraestructuras en la zona de estudio, con un nivel de precisión relativo al tamaño de píxel de la imagen satelital.
- **Indicadores meteorológicos:** Modelos meteorológicos de detalle que permiten establecer de forma precisa el riesgo de ignición y propagación. Se calculan índices de riesgo de ignición y propagación de incendios adaptados a las necesidades de Galicia, para mejorar el sistema de preaviso sobre la probabilidad de que se produzca un incendio y la virulencia de su propagación.
- **Indicadores basados en la experiencia y los históricos de las actuaciones:** Modelo de prevención basado en los históricos de las actividades de conservación y explotación de las vías (COEX). Se analizan los datos preexistentes para generar un modelo de prevención en forma de mapas de riesgo asociados a esos datos.

El CMI de TOPACIO **integra todas las tecnologías desarrolladas**, genera los índices de riesgo a partir de los indicadores integrados y proporciona

indicaciones a los operarios de las alternativas de conservación más adecuadas, a partir de la información analizada.

Este sistema experto deberá ser accesible vía internet, lo que implica el desarrollo de una **Aplicación de Internet Rica (RIA)**: La RIA –en fase de desarrollo- permitirá el acceso multiplataforma a la arquitectura del proyecto TOPACIO, teniendo un diseño gráfico tipo Front-end y capacidades de tipo *responsive*. Se ha realizado un diseño gráfico de la interfaz GUI atendiendo a los estándares W3C de accesibilidad internacional. En cuanto a los estándares W3C, el diseño y aplicaciones web incluyen HTML5, CSS, SVG, Ajax y otras tecnologías para aplicaciones web, en particular las de tipo HTML y CSS, por tratarse de las más utilizadas hoy en día en la construcción de páginas web.

La aplicación TOPACIO se completa con la creación de un Entorno de Desarrollo Integrado (IDE), que permitirá el intercambio de la información geográfica siguiendo la directiva europea INSPIRE y su transcripción a la legislación española a través de la **LISIGE** del año 2018 [18]. La IDE será interoperable, lo que implica dar respuesta a las consultas que se planteen cuando esté operativa mediante los Servicios Web: WMS, WFS, WCS, OGC draft, OGC CAT. Además, este módulo será el encargado de adquirir, procesar, almacenar, distribuir y mejorar la utilización de la información geográfica, facilitando el transporte entre la información generada por mapas y el CMI, del que se tomarán las decisiones oportunas en cuanto a conservación de las vías y acciones sobre la vegetación circundante.

El programa específico de gestión desarrollado *ex profeso* en TOPACIO permite, por tanto, integrar y trabajar con **imágenes georreferenciadas** de alta precisión obtenidas con el LiDAR móvil embarcado en drones y vehículos terrestres de inspección. Además del recurso a **imágenes satelitales** de gran resolución y a los **datos meteorológicos** incorporados en la aplicación, lo que posibilita establecer índices de riesgo que alerten de la inminente ocurrencia de un incendio en los alrededores de la vía, lanzando avisos de alarma y sugiriendo acciones de mitigación que rebajen el riesgo detectado. La **app “sensor ciudadano”** permitirá incorporar también datos recogidos en tiempo real por parte de usuarios interesados en participar en la prevención y lucha contra los fuegos, a través de su Smartphone. Esta app constituye además un

interesante instrumento de implicación y participación social de otros ciudadanos que no ven el problema o que no están concienciados con él, dada su facilidad de uso.

Hasta el momento, el sistema experto de gestión de TOPACIO se encuentra en fase de integración de los resultados obtenidos con las herramientas TIC comentadas en los apartados precedentes.

De entre las actividades del proyecto realizadas desde finales de 2019 destacamos las relacionadas con la **integración, tratamiento y procesado de imágenes LiDAR y satelitales**, para estudiar el estado de la vegetación en relación a la vía, analizando su evolución en el espacio y el tiempo. Con el apoyo de los investigadores del Grupo GEOTECH (UVigo) se están desarrollando algoritmos capaces de detectar en las imágenes cargadas la vegetación más cercana a las carreteras y zonas de influencia, clasificándola por alturas y calculando la superficie que proyecta sobre la vía. Este último aspecto es muy interesante en carreteras del ámbito rural (como las estudiadas en Lobios), en las que se puede dar el denominado **“efecto túnel”**, cuando la vegetación de un lado de la carretera toca la del otro lado de la vía, un hecho de especial relevancia si se produjese un incendio forestal, al facilitar la propagación del fuego.

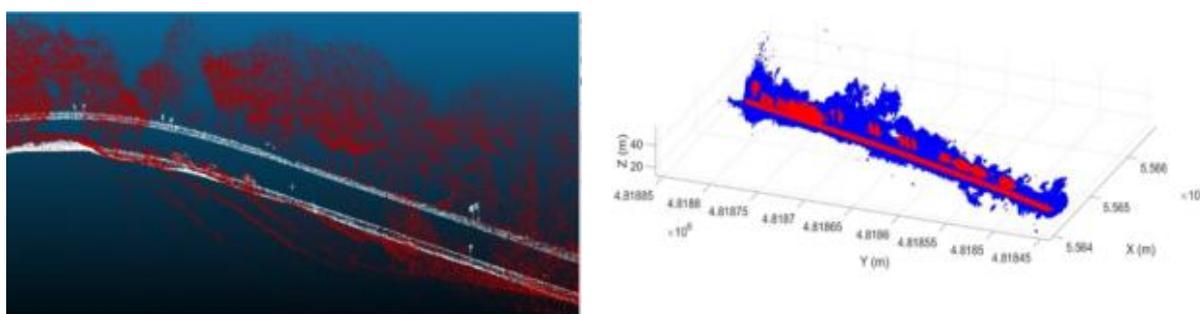


Fig. 27. Modelos de cálculo de superficie vegetal proyectada sobre una carretera obtenidos en TOPACIO a partir del procesado conjunto de datos LiDAR y satelitales.

4. CONCLUSIONES.

En este artículo se ha mostrado la viabilidad de aplicación de nuevas técnicas de inspección y control del ámbito TIC a la **prevención de los incendios forestales asociados a las infraestructuras del transporte**. En particular, en el proyecto TOPACIO se ha recurrido a la hibridación de 4 herramientas: LiDAR móvil embarcado en vehículos terrestres o drones; datos meteorológicos recogidos en remoto por estaciones automatizadas; imágenes satelitales y app “sensor ciudadano”. Los sistemas que forman parte de la propuesta de TOPACIO están resultando adecuados a los objetivos planteados en el proyecto, demostrando que **es posible establecer una relación entre las fajas de gestión de biomasa, las tecnologías utilizadas para su documentación y el seguimiento y la prevención de incendios asociados a las vías de comunicación**. Este hecho es de gran relevancia, ya que los planes de gestión de incendios se centran especialmente en su extinción, que consume muchos recursos públicos, sin planes específicos de prevención. Las labores de extinción se verían beneficiadas por las mejoras que implican los resultados que se están obteniendo en el proyecto, enfocadas a la gestión de la prevención, mediante la inspección a partir de tecnologías innovadoras, la monitorización continua de datos y el procesamiento de los mismos, con la finalidad de obtener información de interés para la toma de decisiones sobre el mantenimiento de la vegetación que rodea las vías de comunicación.

Se espera que a la finalización del proyecto se cuente con un **Sistema Experto para la Gestión del Mantenimiento de Carreteras**, que permita establecer índices de riesgo y automatizar acciones de prevención de incendios, a partir del análisis de los datos de monitorización y control aportados por el LiDAR móvil, las estaciones meteorológicas, las imágenes satelitales de una zona concreta y el empleo de la app tipo “sensor ciudadano”. Las empresas participantes en este estudio esperan que el novedoso sistema se comercialice en el futuro con el nombre del propio proyecto (TOPACIO), como un producto capaz de aportar a los organismos y entidades de gestión de infraestructuras elementos para su control y análisis, de cara a la prevención de los fuegos.

5. BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA:

- [1] **Nárdiz Ortiz, C.** *El territorio y los caminos en Galicia: planos históricos de la red viaria*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid (1993).
- [2] **Acinas García, J.; Menéndez Iglesias, F.; Fernández Suárez, J.M.** *El Puerto de Bares*. Comunicación. Actas del V Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Burgos, 7 al 9/06/2007 (2007).
- [3] **Vega-Avelaria, T.** *El ejército y las obras públicas en el Imperio Romano. El desarrollo de las comunicaciones terrestres*. Grupo Arqueológico Larouco (2008).
- [4] **De la Peña, J.M.** *Alcance y organización de las obras públicas en el Imperio Romano*. III Congreso de las Obras Públicas Romanas. Astorga, León (2006).
- [5] **Richarson, H.W.** *Política y planificación del desarrollo regional en España*. Madrid (1975).
- [6] **Ley 3/2017, de 27 de junio, de Presupuestos Generales del Estado para el año 2017**. BOE del 17/06/2017. Madrid (2017).
<https://www.boe.es/boe/dias/2017/06/28/pdfs/BOE-A-2017-7387.pdf>
- [7] **Marzano R.** *Wildland Fire Danger and Hazards: a state of the art, final version*. Euro-Mediterranean Wildland Fire Laboratory, a “wall-less” Laboratory for Wildland Fire Sciences and Technologies in the Euro-Mediterranean Region. Deliverable D-08-07 (EVR1-CT-2002-40028) (2006).
- [8] **Dhall, A.; Dhasade, A.; Nalwade, A.; Kulkarni, V.** *A survey on systematic approaches in managing forest fires*. Applied Geography 121:102266 (2020).
doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102266
- [9] **Pasko, O.A.; Kovyazin, V.; Lebedeva, N.A.** *Influence of Environmental Conditions on the Susceptibility of the Territories to the Occurrence of Forest Fires: Forest Fire Danger*. Capítulo del libro: Predicting, Monitoring, and Assessing Forest Fire Dangers and Risks (2020).

[doi: 10.4018/978-1-7998-1867-0.ch013](https://doi.org/10.4018/978-1-7998-1867-0.ch013)

- [10] **Bukhori, S.** *Forest Fire Model*. En el libro: *Forest Fire* (2018).
[doi: 10.5772/intechopen.72591](https://doi.org/10.5772/intechopen.72591)
- [11] **Carrasco, T.** *Los incendios forestales y su impacto ambiental en reservas ecológicas*. *Explorador Digital* 2(1):22-33 (2019).
[doi:10.33262/exploradordigital.v2i1.324](https://doi.org/10.33262/exploradordigital.v2i1.324)
- [12] **Martínez-Sánchez, J.; Nogueira, M.; González-Jorge, H.; Solla, M.; Arias, P.**: *SITEGI Project: Applying geotechnologies to road inspection. Sensor integration and software processing*. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume II-5/W2, 2013, ISPRS Workshop Laser Scanning. Antalya, Turkey (2013).
- [13] **Puente, I.; González-Jorge, H.; Riveiro, B.; Arias, P.**: *Accuracy of the Lynx Mobile Mapper system*. *Optics and Laser Technology* 45:578-586, (2013).
- [14] **Prego, F.J.; Caride, R.; Arias, P.; González-Jorge, H.; Puente, I.; Solla, M.**: *Aplicación de la unidad móvil de inspección "SITEGI" para el análisis y conservación del puente romano de Lugo*. REHABEND-Congreso Latinoamericano, Patología de la construcción, tecnología de la rehabilitación y gestión del patrimonio. Santander (2014).
- [15] **Novo, A.; González-Jorge, H.; Martínez-Sánchez, J.; González-deSantos, M.L.; Lorenzo, H.** *Automatic Detection of Forest-Road Distances to Improve Clearing Operations in Road Management*. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*. XLII-2/W13, 1083–1088, 2019.
[doi:10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-1083-2019](https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-1083-2019)
- [16] **Teng-Yi, L.** *Interpolation method and interpolation circuit*. Pat. US8422829B2. (2013).
- [17] **Sassen, S.** *The Global City: Strategic Site, New Frontier*. En el libro: *Moving Cities – Contested Views on Urban Life*. (2018).
[doi:10.1007/978-3-658-18462-9_2](https://doi.org/10.1007/978-3-658-18462-9_2)

- [18] **Ley 2/2018, de 23 de mayo, por la que se modifica la Ley 14/2010, de 5 de julio, sobre las infraestructuras y los servicios de información geográfica en España (LISIGE)**. BOE del 24 de mayo de 2018.

6. AGRADECIMIENTOS:

Los autores de esta comunicación agradecen el trabajo desarrollado por los grupos de investigación de la **Universidad de Vigo (UVigo)** contratados como centros tecnológicos de apoyo en TOPACIO: Grupo de Geotecnologías Aplicadas-GEOTECH; Grupo de Tecnoloxía Enerxética-GTE y Centro de Investigación Forestal de Lourizán (Pontevedra).

Así mismo, las empresas que desarrollan el proyecto agradecen a la **Axencia Galega de Innovación-GAIN**, Consellería de Economía, Emprego e Industria de la Xunta de Galicia, la cofinanciación aportada por este organismo en la convocatoria competitiva de proyectos de I+D CONECTAPEME 2018 (Ref. IN852A 2018/37), a través de **Fondos FEDER**.



FEDER - FONDO EUROPEO DE
DESENVOLVEMENTO REXIONAL
"Unha maneira de facer Europa"



Subvencionado por la Axencia
Galega de Innovación
Consellería de Economía,
Emprego e Industria. Xunta de
Galicia

