

El Servicio de Posicionamiento GNSS en Tiempo Real del IGN

Aplicaciones actuales y retos de futuro

¿Sabías que el Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible ayuda diariamente a miles de agricultores en toda España a realizar una gran cantidad de tareas agrícolas? El Servicio de Posicionamiento en Tiempo Real (SPTR) del IGN proporciona cada día a éstos y otros miles de profesionales de diversos sectores el servicio necesario para el funcionamiento de aplicaciones que requieren posicionamiento GNSS de precisión centimétrica en tiempo real.

Además de las áreas de trabajo tradicionales (agricultura de precisión, ingeniería civil, topografía, construcción) cada día surgen nuevas actividades donde este servicio es fundamental, como por ejemplo las relacionadas con el vehículo autónomo, vuelos con dron, robots autónomos, medición de espesores de nieve en pistas de esquí e incluso cortacéspedes autónomos para campos de golf y de fútbol.

● Texto: José Manuel Serna, José Antonio Sánchez Sobrino y Christian Palomar, Instituto Geográfico Nacional

Estación permanente GNSS en el Puerto de Navacerrada.

El Servicio de Posicionamiento en Tiempo Real de España (SPTR) es un servicio público y gratuito, ofrecido por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), que proporciona a sus usuarios la posibilidad de obtener posicionamiento de forma instantánea con una precisión del orden de pocos centímetros por medio de correcciones transmitidas a través de Internet. Se lleva a cabo en colaboración con la mayoría de las comunidades autónomas que poseen una red propia de estaciones permanentes GNSS (Global Navigation Satellite System). Para este fin, y a través de los acuerdos correspondientes, el servicio opera ininterrumpidamente las 24 horas del día aportando una cobertura total en todo el territorio del Estado, incluidas las islas y las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla.

El SPTR resulta ser una herramienta ideal, principalmente en sectores de actividad como la ingeniería civil, la topografía o la agricultura de precisión, que cada vez más recurren a éste, como muestra el progresivo aumento en el número de usuarios registrados. La fuente de datos para este servicio público está constituida por las estaciones permanentes GNSS, que captan las señales de los sistemas por satélite de navegación global, tanto de los europeos GALILEO como de GPS, GLONASS y Beidou.

Introducción

En los últimos años, la técnica del geoposicionamiento se ha convertido en una necesidad básica. El desarrollo de los sistemas de navegación por satélite GNSS, liderado inicialmente por el sistema GPS, ha irrumpido en la vida cotidiana y ha supuesto una revolución en los métodos de trabajo en diferentes

sectores profesionales cuya actividad depende del conocimiento de la posición de una forma precisa.

Además de GPS, operan otros sistemas GNSS, entre los que destaca GALILEO, que es operado por la Unión Europea (UE), teniendo nuestro país un papel muy relevante tanto desde el sector público como el del privado. Otros son el sistema ruso GLONASS y el chino BEIDOU.

La señal transmitida de forma directa por los satélites de los sistemas GNSS, permite alcanzar una precisión en el posicionamiento de varios metros de forma instantánea, la misma que se logra por defecto cuando se usa el receptor GNSS del teléfono móvil o del automóvil al hacer uso del navegador.

Ésta es una precisión suficiente para navegación, pero no para actividades que exigen una centimétrica como la requerida por los topógrafos, o el guiado de maquinaria agrícola de forma autónoma en campos de cultivo o el guiado de una motoniveladora en una obra. Por este motivo se desarrollaron los sistemas de cálculo y transmisión de correcciones diferenciales que operan corrigiendo esa posición inicial para obtener una de mayor precisión, del orden de un par de centímetros.

Estos sistemas se basan en la utilización de los datos que proveen las estaciones permanentes GNSS distribuidas por el territorio y cuyas coordenadas es imprescindible conocer con la máxima precisión posible. Para ello se utiliza un software de cálculo científico muy riguroso, obteniendo así precisiones del orden del milímetro en las coordenadas de todas las estaciones. A partir de dichas coordenadas y, mediante un procesamiento adecuado, es posible calcular en tiempo real -en cada instante- el error de



Servicio de Posicionamiento en Tiempo Real de España.

la señal transmitida por los satélites GNSS, y transmitir esta información en forma de correcciones diferenciales para que puedan ser utilizadas por usuarios con equipos de observación adecuados.

El Instituto Geográfico Nacional (IGN) desarrolla y mantiene un servicio de correcciones diferenciales con cobertura en toda España conocido como Servicio de Posicionamiento GNSS en Tiempo Real (SPTR), el cual opera de forma continua permitiendo alcanzar una precisión en el posicionamiento del orden de unos pocos centímetros. Este servicio público y gratuito se ha convertido en un referente esencial para miles de profesionales que trabajan en muy diversas áreas de actividad.

Arquitectura básica del SPTR

Para su correcto funcionamiento, el SPTR de España requiere de la combinación de diferentes elementos que se pueden sintetizar en los siguientes:

- Los datos registrados en tiempo real por la red de estaciones permanentes GNSS desplegada por el IGN en todo el territorio nacional.
- El cálculo de las coordenadas precisas de dichas estaciones, crítico para un correcto cálculo a posteriori de las correcciones.
- El cálculo de las correcciones diferenciales.
- La interfaz del servicio para la disseminación en tiempo real de las correcciones que son necesarias para que los

usuarios obtengan su posición de forma muy precisa.

Redes de estaciones permanentes

La Red de Infraestructuras Geodésicas de la Subdirección General de Astronomía y Geodesia del IGN viene desplegando desde 1998 la Red Geodésica Nacional de Estaciones de Referencia GNSS (ERGNSS) en todo el territorio nacional. Una red que opera de forma continua y cuyos productos se utilizan en multitud de aplicaciones en el ámbito de la geodesia, topografía, cartografía, ingeniería civil, agricultura de precisión, meteorología, medio ambiente e investigación en ciencias de la Tierra, entre otras.

Una estación permanente GNSS consiste, básicamente, en un sistema que consta de un receptor y antena GNSS capaz de registrar observaciones de forma continua. Los datos emitidos por estas estaciones son enviados a través de internet en tiempo real al centro de cálculo GNSS del IGN en Madrid para su correcto procesamiento.

La red ERGNSS está formada por unas 125 estaciones uniformemente distribuidas por todo el territorio nacional. Algunas de éstas también pertenecen, a su vez, a redes europeas o mundiales que trabajan de forma coordinada para, entre otros objetivos, mantener un sistema homogéneo y preciso de referencia de coordenadas en los ámbitos europeo y mundial.

Algunas de las estaciones de la ERGNSS son compartidas entre



Distribución de estaciones permanentes ERGNSS que proveen datos al SPTR.

el IGN y otras instituciones como Puertos del Estado y la mayoría de las comunidades autónomas, en el marco de la obligada y necesaria colaboración y coordinación entre instituciones públicas para la optimización de los recursos públicos.

El IGN se encarga tanto de mantener las estaciones permanentes GNSS, asegurando su operatividad continua, como de generar y disseminar los datos registrados para que los usuarios finales puedan beneficiarse de ellos.

Además de los datos de la red ERGNSS, y gracias a los convenios y acuerdos de colaboración firmados por el IGN con instituciones autonómicas, el SPTR utiliza también datos registrados por redes permanentes GNSS de las comunidades autónomas y de algunas estaciones de Puertos del Estado. De esta forma, se asegura una mayor integridad del servicio ante la fortuita caída de comunicaciones con alguna estación del IGN.

En resumen, a las estaciones del IGN se suman otras tantas de estos organismos y redes autonómicas, disponiendo el SPTR de los datos de aproximadamente 275 estaciones permanentes GNSS, cuyas observaciones son utilizadas en tiempo real y de forma continua como datos de entrada en el servicio.

Los datos GNSS recibidos por las estaciones se envían cada segundo al Centro de Proceso de Datos en el IGN con una latencia

Distribución de las distintas subredes que conforman el conjunto de la red SPTR.



o retardo entre la generación del dato y la llegada del mismo que no ha de exceder un par de segundos, asegurando así la calidad de las correcciones generadas y enviadas al usuario.

Centro de procesamiento de datos en tiempo real

La infraestructura de procesamiento para el SPTR está alojada en el Centro de Procesamiento de Datos del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), el cual dispone de personal que garantiza el mantenimiento del servicio de forma continua.

El procesamiento de datos se realiza de forma distribuida en distintos servidores virtuales, para lo cual se ha dividido el territorio en 17 subredes (clústeres), de modo que cada servidor procesa los datos correspondientes a 3-4 subredes. Esta arquitectura del *hardware* se debe al elevado número de estaciones y la complejidad de los cálculos que se han de realizar de forma simultánea.

De manera simplificada, el procesamiento consiste en una modelización de todos los errores que afectan a la señal GNSS en cada instante y en cada posición, especialmente de los errores derivados del estado de las principales capas atmosféricas que degradan la señal, como la troposfera y la ionosfera.

Interfaz con los usuarios

El uso de las correcciones diferenciales GNSS proporcionadas por el servicio exige un registro previo en el mismo, gratuito, que se hace a través de un portal de usuario al que se accede a través de la página web <http://ergnss.ign.es/gnuserportal/>.

El registro de usuario permite, por ejemplo, conocer su área de

actividad profesional, generar estadísticas de uso del servicio, para mejorar y reforzar este último en aquellas zonas en las que sea necesario, así como para poder informar vía correo electrónico de actualizaciones o incidencias en el servicio.

La transmisión de correcciones al dispositivo GNSS del usuario se hace a través de un cliente con un protocolo de transmisión específico a través de Internet que todos los receptores GNSS del mercado de uso profesional tienen implementado. El servicio ofrece dos tipos de soluciones:

- **Solución de red.** Se transmiten correcciones diferenciales calculadas a partir de los datos de las estaciones permanentes más próximas al usuario, mediante los cuales se elabora un modelo de errores GNSS en dicha red de estaciones. En esta modalidad, el usuario comunica su posición al sistema enviando previamente un mensaje automático con sus coordenadas al Centro de Proceso de Datos y el sistema calcula y envía las correcciones para su ubicación específica. Esta es la modalidad más recomendada para los usuarios y además se ofrece mediante diferentes algoritmos y procedimientos de cálculo, que da lugar a diferentes soluciones/formatos posibles.

- **Solución de estaciones individuales.** El usuario elige de forma manual la estación de referencia de la que requiere obtener los datos. En esta modalidad, el usuario deberá tener en cuenta cuál es la estación más cercana a su posición, ya que la distancia entre ésta y su ubicación es un factor que degrada la precisión de las correcciones. Dependiendo de la tecnología del receptor usuario, se obtienen

resultados óptimos hasta una distancia de 30-40 kilómetros.

Para más información acerca del uso y las características del servicio se recomienda consultar la página web del IGN, donde podrán encontrar información detallada, así como un mapa en tiempo real del estado de todas las estaciones GNSS.

<https://www.ign.es/web/ign/portal/gds-gnss-tiempo-real>

También hay a disposición de los usuarios un folleto explicativo y un buzón de correo (buzon-geodesia@transportes.gob.es) en el que se ofrece soporte para la utilización del servicio, reporte de incidencias y experiencias o comunicación directa con los responsables de la administración del sistema.

Ejemplos de aplicaciones prácticas del servicio

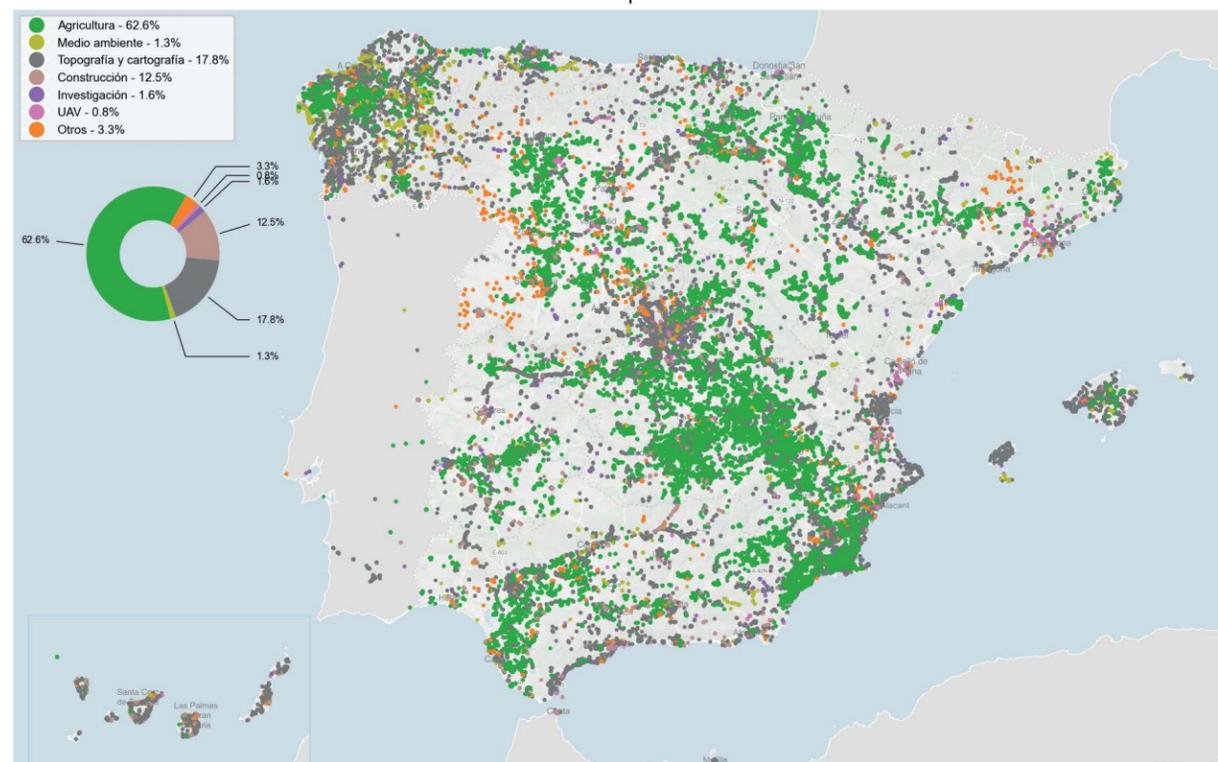
Los usuarios registrados en el Servicio de Posicionamiento en Tiempo Real se pueden englobar básicamente en los siguientes sectores de actividad: topografía y cartografía, ingeniería civil, agricultura de precisión, medio ambiente, investigación, vehículo autónomo empresas que prestan su propio servicio de correcciones GNSS.

Actualmente hay más de 15 000 usuarios registrados, existiendo un crecimiento continuo y lineal en los nuevos registros, principalmente por parte de usuarios pertenecientes al sector agrícola, que representan en torno al 60 % de los usuarios.

Agricultura de precisión

El SPTR es una herramienta fundamental para la automatización y tecnificación de algunos procesos agrícolas. Los sistemas GNSS permiten crear mapas detallados con información georreferenciada

Conexiones al SPTR por área de actividad



Conexiones al SPTR por área de actividad en el mes de noviembre de 2024.

sobre variabilidad del suelo, rendimiento y otros parámetros. Se pueden aplicar fertilizantes, pesticidas o riego de manera precisa, minimizando el desperdicio y el impacto ambiental.

Gracias al autoguiado y dirección asistida de tractores y maquinaria se pueden seguir trayectorias exactas, reduciendo el solapamiento y maximizando la eficiencia en la aplicación de fitosanitarios y

abonos. La ubicación exacta de cada semilla mejora el rendimiento y facilita operaciones futuras como el riego o la fertilización.

También una precisión de posicionamiento centimétrica es ideal para actividades como la nivelación del terreno o siembra de cultivos de alta densidad.

Cada vez es más frecuente emplear drones, volando de forma autónoma, conectados

a servicios de posicionamiento GNSS en tiempo real, para efectuar gran parte de estas tareas. Los drones permiten realizar tratamientos aéreos de manera más precisa y eficiente, reduciendo el uso de agua y productos, y minimizando el impacto ambiental.

El IGN efectúa tareas de difusión del servicio y participación en congresos y ferias para darlo a conocer a todos aquellos potenciales usuarios. El objetivo fundamental es resolver dudas sobre cuestiones técnicas que puedan plantearse (especialmente en el

El SPTR, servicio fundamental en la agricultura de precisión.

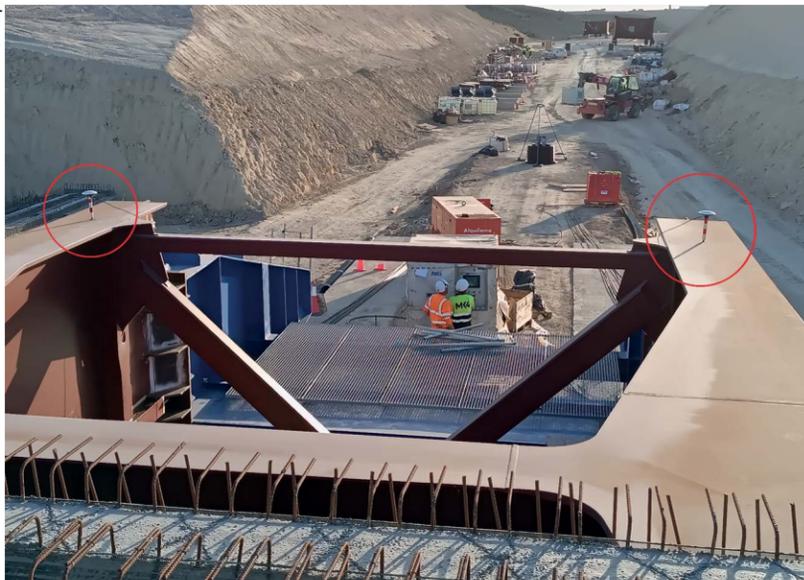


Sistemas de autoguiado de maquinaria agrícola.





Trabajos de topografía convencional.



Lanzamiento de puente con GNSS.



Asfaltado con sensores GNSS.

área de la agricultura), donde los usuarios no suelen disponer de amplios conocimientos técnicos.

Topografía e ingeniería civil

Los trabajos topográficos de obra, que básicamente consisten en levantamientos y replanteos, han evolucionado notoriamente con el uso del GNSS en general y, sobre todo, con los servicios de correcciones en tiempo real GNSS como el SPTR. Hasta hace pocos años, estos trabajos eran realizados con estaciones totales de medida de ángulos y distancias, pero actualmente estos instrumentos han sido sustituidos, en una gran parte, por el uso de sistemas como el SPTR. La única limitación importante en este campo para el uso del GNSS se da en entornos con un horizonte no despejado o en obras subterráneas. El poder conocer la posición global de un punto del terreno con precisión de algunos centímetros en unos pocos segundos ha simplificado este tipo de trabajos enormemente y el uso de GNSS, y particularmente del SPTR en trabajos de topografía, está ampliamente extendido, mejorando la precisión global, la compatibilidad entre los diferentes actores y la eficacia y rendimiento en todas las tareas.

En el caso del guiado de maquinaria de ingeniería civil, la conexión de los equipos GNSS de las máquinas al SPTR proporciona en pocos segundos una precisión centimétrica para efectuar todo tipo de trabajos con motoniveladoras, retroexcavadoras, buldócer, máquinas de fresado o extendedoras de aglomerado de asfalto. La automatización de las labores en una motoniveladora, por ejemplo, proporciona una comodidad, precisión y rendimiento que son incomparables a las de una máquina que no utilice sistemas GNSS.



Maquinaria de construcción y sistemas GNSS en tiempo real.

Algunos ejemplos de casos prácticos en ingeniería civil se pueden encontrar en la correcta ubicación de los cajones flotantes en obras de ampliación de diques, el guiado durante el proceso de lanzamiento del viaductos, permitiendo controlar la posición y los movimientos en tiempo real durante la fase de lanzamiento o la ubicación de bloques en la remodelación, reconstrucción o nueva construcción de diques o espigones, ubicando dichos bloques en la escollera en la posición adecuada.

Vehículo autónomo

La navegación autónoma de vehículos se convertirá en los próximos años en algo cotidiano en la tecnología automovilística, y el

Prototipo de vehículo autónomo.



SPTR puede ser una opción fundamental para el desarrollo de este modo de navegación en España. El uso del SPTR, junto con el resto de los sistemas de control del vehículo, permitirán que el guiado sea mucho más preciso y seguro.

El Centro de Automática y Robótica (CAR), centro mixto del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), lleva desde 2009 desarrollando sistemas de conducción autónoma mediante diferentes proyectos y programas de la Comisión Europea (H2020 y FP7) así como del Plan Nacional de Investigación, al mismo tiempo que colabora con diferentes empresas interesadas en la implementación de estos sistemas.

Para sus desarrollos, el CAR utiliza, además de otras técnicas de posicionamiento, el SPTR, de tal forma que los técnicos del CAR han mantenido numerosos contactos y consultas profesionales con el IGN.

Existen otras empresas privadas trabajando intensamente en el desarrollo de sistemas de guiado autónomo de vehículos y que hacen uso del SPTR, por lo que desde la Red de Infraestructuras Geodésicas se intenta intensificar estos contactos de cara a promover el uso del servicio en el sector.

Desde hace tiempo también se están realizando pruebas de empleo de vehículos autónomos para efectuar el transporte y entrega de mercancías y paquetes.

Robótica: automatización en la industria

Los robots móviles autónomos están diseñados para realizar tareas específicas de manera autónoma sin la necesidad de intervención humana constante. A diferencia de los robots tradicionales estáticos, anclados a un lugar fijo, los robots móviles pueden desplazarse por



El SPTR aplicado en robótica.

diversos entornos, incluidos los dinámicos y desestructurados, lo que les permite operar en distintas localizaciones según las necesidades y la demanda de la empresa.

Los robots móviles autónomos representan una herramienta tecnológica sólida y robusta que transforma la manera de automatizar sectores como la logística, la manufactura, inspección, la agricultura o el comercio, que no solo mejoran la eficiencia operativa, sino que también abren nuevas oportunidades para optimizar procesos y aumentar la productividad.

Detección de tsunamis

El IGN y el Centro Común para la Investigación de la Comisión Europea (JRC) han firmado un acuerdo de entendimiento para la colaboración en la mejora de los sistemas de alerta temprana de maremotos. Más concretamente, el JRC va a ceder al IGN una boya equipada con un receptor GNSS y transmisión de datos en tiempo real para su instalación en el Mediterráneo, al sur de la Isla de Cabrera.

La boya se instalará con la colaboración del Sistema de Observación y Predicción Costero de las Islas Baleares (SOCIB), lo

que potencialmente podrá permitir medir el nivel del mar a partir del desplazamiento vertical obtenido por técnicas GNSS y, por tanto, confirmar el paso de un tsunami por la boya antes de que éste llegue a la costa.

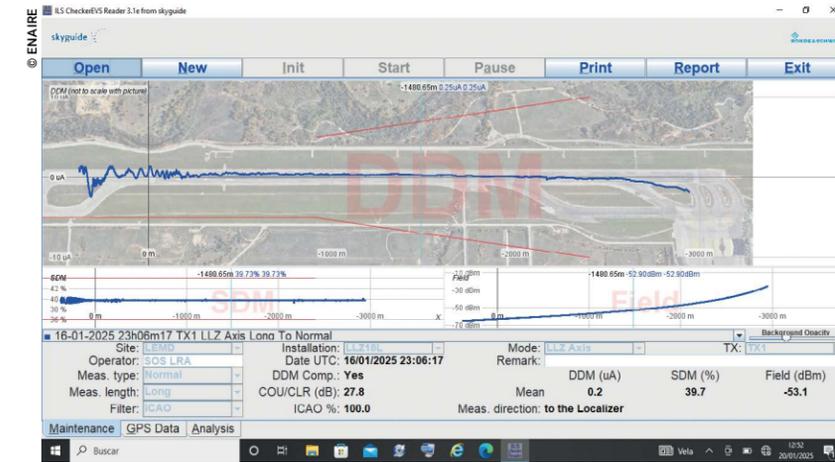
Otras aplicaciones

- **Sistemas de aproximación y aterrizaje en aeropuertos.** Se realizan conexiones al SPTR, por ejemplo, para efectuar la calibración en tierra de radioayudas para la navegación aérea (ILS y VOR) y verificar que se encuentran dentro de los límites de tolerancia permitidos.



Calibración de sistema de ayuda en el aterrizaje ILS de aeronaves.

Calibración de sistema de radionavegación aérea VOR.



Verificación de sistema ILS en pista de aterrizaje.



Cortacésped equipado con receptor GNSS.

- **Cortacésped.** Los cortadores de césped robóticos están transformando el mantenimiento de los campos de golf y de

fútbol al reducir costes, minimizar los niveles de ruido y mitigar el impacto ambiental, optimizando las pasadas que

Medición de espesor de pistas de esquí.



realiza mediante guiado automático con GNSS. Actualmente, muchos de estas máquinas están conectadas al SPTR en toda la geografía española.

- **Medición espesor de nieve en pistas de esquí.** La máquina pisanieve efectúa un levantamiento del terreno en los meses de verano, en ausencia de nieve. Repitiendo la operación cuando hay nieve, se determina el espesor del manto de nieve de forma rutinaria en la temporada invernal a medida que va preparando las pistas cada día, determinando este espesor de forma muy precisa en todos los trazados.

- **Monitorización de buques en maniobras en puerto.** La gestión del riesgo operativo en entornos portuarios y offshore se fundamenta en el conocimiento del entorno y sus variaciones. La monitorización marítima se enfrenta a la tarea de obtener la información requerida (altura de ola, períodos, corrientes, agitación local, parámetros ambientales, parámetros inerciales...) en uno de los entornos más desafiantes, como es el entorno marítimo. Gracias a la instalación de sistemas inerciales y de receptores GNSS a bordo de buques o estructuras flotantes se pueden obtener los desplazamientos, con precisión centimétrica, que tienen los buques cuando están atracados en los puertos.

- **Smartphones y la nube.** La tecnología actual de los receptores GNSS incluidos en los teléfonos inteligentes no permite, de momento, que éstos puedan recibir y procesar correcciones precisas provenientes de sistemas de posicionamiento en tiempo real, aunque existen empresas que están investigando estrategias para mejorar la



© DEEP INSIGHT-UPM

Sistema de monitorización de buques en puertos.

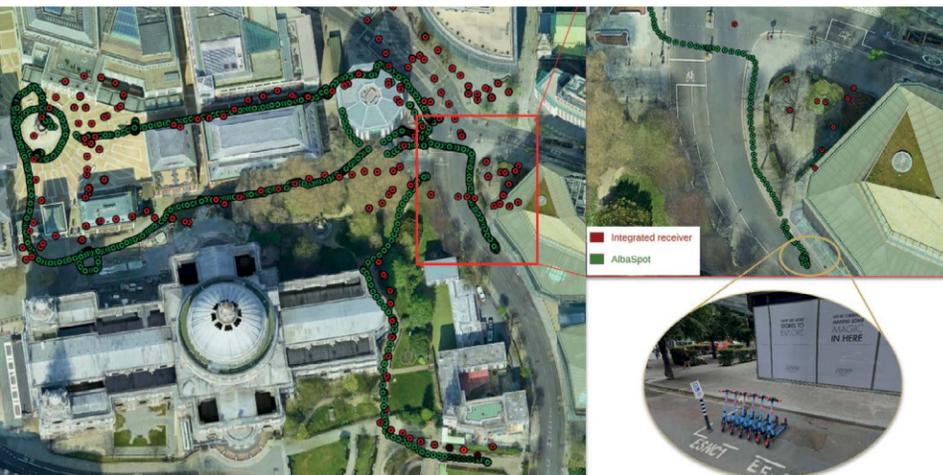
precisión actual de posicionamiento de los teléfonos móviles (posicionamiento absoluto, que se sitúa en unos 5-10 metros).

Existirían opciones de futuro, como trabajar con señales del sistema de aumentación por satélite EGNOS o el servicio HAS de la constelación GALILEO, pero también existe la posibilidad de emplear información generada por sistemas como el SPTR para, de alguna forma, hacer disponibles esos datos a las compañías telefónicas para que puedan incorporarla a sus sistemas, y

que cada terminal haga uso de ella en función de sus necesidades. Para ello, el dispositivo envía información sobre su posición a la nube, se hace el procesado de posicionamiento en la nube y se usarían API de acceso a las correcciones a través de la operadora de comunicaciones.

Algunas de las ventajas de esta estrategia son: la posibilidad de uso masivo de dispositivos, la reducción del consumo de batería del dispositivo móvil, la alta eficiencia debido al procesado en la nube o la baja latencia de datos.

Patinete eléctrico con *smartphone*. Comparativa de posicionamiento procesado en la nube y posicionamiento absoluto.



© Alhora Technologies

● Conclusiones

El SPTR se ha convertido en un servicio fundamental y estratégico del IGN y, por tanto, del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible como servicio público. Se trata de una herramienta esencial para un gran número de profesionales que obtienen, gracias a este servicio, un incremento de la producción y un ahorro de costes en sus trabajos cotidianos, favoreciendo a la vez el desarrollo tecnológico e industrial de las empresas.

En cuanto al desarrollo del sistema en los años venideros, es previsible el aumento de su importancia, dado el incremento de posibles aplicaciones que se pueden añadir a las anteriormente citadas, algunas difícilmente imaginables en la actualidad, sobre todo las aplicaciones relacionadas con sistemas autónomos de navegación.

Se sabe con certeza que la progresiva mejora tecnológica de los sistemas GNSS en general, y de GALILEO en particular, dará como resultado que las prestaciones de este tipo de servicios sean cada vez más precisas, más eficientes, más simples y seguras, a la vez que mejorarán su integridad, aspecto este último fundamental en las aplicaciones de navegación autónoma. Estas circunstancias conllevarán la extensión del uso de servicios como el SPTR a un número cada vez mayor de usuarios, y de perfiles más heterogéneos que los observados en la actualidad.

En conclusión, es previsible que el SPTR se convierta en un servicio estratégico para el correcto funcionamiento de gran variedad de aplicaciones que precisan posicionamiento GNSS preciso en tiempo real. ■