

El Servicio de Posicionamiento GNSS en Tiempo Real del IGN (SPTR). Características y aplicaciones

The IGN Real Time GNSS Positioning Service (SPTR). Characteristics and applications

José Manuel Serna Puente, José Antonio Sánchez Sobrino, Christian Palomar Pozo

REVISTA **MAPPING**
Vol.34, 219, 14-24
2025
ISSN: 1131-9100

Resumen

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 (NRTK).

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.

Abstract

The Spanish Real-Time Positioning Service (SPTR) is a public and free of charge service provided by the National Geographic Institute (IGN), which allows users to obtain instantly positioning with an accuracy of a few centimeters through corrections transmitted via the Internet (NRTK).

It is carried out in collaboration with most of the Spanish Autonomous Communities that have their own permanent GNSS (*Global Navigation Satellite System*) stations network. For this purpose, and through the corresponding agreements, the service operates continuously 24 hours a day, providing full coverage throughout the entire national territory, including the islands and the autonomous cities of Ceuta and Melilla.

The SPTR proves to be an ideal tool, especially in fields such as civil engineering, surveying, or precision agriculture, which increasingly rely on this service, as shown by the steady growth in the number of registered users. The data source for this public service consists of permanent GNSS stations that receive signals from global navigation satellite systems, including the European GALILEO, as well as GPS, GLONASS, and Beidou.

Palabras clave: GNSS, Posicionamiento, Tiempo real, NRTK, IGN, SPTR, ERGNSS.

Keywords: GNSS, Positioning, Real time, NRTK, IGN, SPTR, ERGNSS.

Red de Infraestructuras Geodésicas, Instituto Geográfico Nacional
jmsema@transportes.gob.es
jassobrino@transportes.gob.es
cpalomar@transportes.gob.es

Recepción 23/06/2025
Aprobación 11/07/2025

1. 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 nuestra 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 unos metros de forma instantánea, la misma que logramos por defecto cuando usamos el receptor GNSS de nuestro teléfono móvil o de nuestro automóvil cuando hacemos uso del navegador.

Esta precisión es suficiente para la navegación, pero otras actividades, como las de topografía, el guiado de maquinaria autónoma agrícola en campos de cultivo o el guiado de una motoniveladora en una obra, requieren de una precisión centimétrica. 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 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



Figura 1. Servicio de Posicionamiento en Tiempo Real de España

unos pocos centímetros. Este servicio público y gratuito se ha convertido en un referente esencial para miles de profesionales trabajando en muy diversas áreas de actividad.

2. ARQUITECTURA BÁSICA DEL SPTR

Para su correcto funcionamiento, el Servicio de Posicionamiento GNSS en Tiempo Real requiere de la combinación de diferentes elementos, que se pueden sintetizar en los siguientes:

1. Los datos registrados en tiempo real por las redes de estaciones permanentes GNSS desplegadas en todo el territorio nacional.
2. El cálculo de las coordenadas precisas de dichas estaciones, crítico para un correcto cálculo a posteriori de las correcciones.
3. El cálculo de las correcciones diferenciales.
4. La interfaz del servicio para la diseminación de las correcciones que son necesarias para que los usuarios obtengan su posición con precisión centimétrica en tiempo real.

2.1. Redes de estaciones permanentes GNSS

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. Se trata de 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, además de publicar también datos horarios y diarios en forma de ficheros RINEX para aplicaciones en postproceso.



Figura 2. Estación permanente GNSS en el Puerto de Navacerrada

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 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 diseminar 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 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 o retardo entre la generación del dato y la llegada de este que no ha de exceder un par



Figura 3. Distribución de las estaciones permanentes ERGNSS que proveen datos al SPTR

de segundos, asegurando así la calidad de las correcciones generadas y enviadas al usuario.

2.2. Centro de procesamiento de datos en tiempo real

La infraestructura de procesamiento para el Servicio de Posicionamiento GNSS en Tiempo Real 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.

El procesado 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 (troposfera e io-



Figura 4. Distribución de las distintas subredes que conforman el SPTR

nosfera). Otros errores modelados son la deriva de los relojes o las órbitas de los satélites. Se introducen también técnicas de mitigación del efecto multipath. Un aspecto importante en esta fase es la correcta introducción de los parámetros de calibración de las antenas GNSS empleadas en las estaciones de referencia.

2.3. 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 denominado NTRIP.

El usuario únicamente ha de configurar en su receptor tres parámetros básicos para la conexión, además de su usuario y contraseña: URL o dirección IP, puerto de conexión y punto de montaje. Este último hace referencia al tipo de solución que el usuario desea recibir. 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.

Los datos de acceso y puntos de montaje disponibles son los siguientes.

- IP:192.148.213.42 o URL: ergnss-tr.ign.es
- Puerto 2101
- Puntos de montaje:
 - VRS3, FKP3, MAC3, CERCANA3: formato RTCM 3.1 (GPS, GLONASS).

- VRS3M, FKP3M, MAC3M, CERCANA3M: formato RTCM 3.2 MSM (GPS, GLONASS, GALILEO, BEOIDOU).

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.

Los datos de acceso y puntos de montaje disponibles en esta modalidad de correcciones son los siguientes.

- IP: 192.148.213.42 o URL: ergnss-tr.ign.es
- Puerto=2102
- Puntos de montaje: nombre de la estación con cuatro caracteres seguido de "3M" (ejemplos: IGNE3M, BURG3M...). El formato es RTCM 3.2 MSM.

Entre los principales problemas que pueden impedir un posicionamiento rápido y de calidad se pueden enumerar:

- Error al introducir en el receptor las credenciales de usuario.
- Problemas en la configuración del receptor. Por ejemplo, es imprescindible enviar al SPTR el mensaje NMEA.
- Ausencia de cobertura de Internet.
- Incorrecta selección del punto de montaje (ejemplo: punto simple con gran distancia a la estación de referencia).
- Poca visibilidad de satélites (aunque este problema se mitiga haciendo uso de los puntos de montaje multiconstelación).
- Periodos de alta actividad ionosférica.
- *Multipath* en entornos urbanos.
- SPTR no operativo (las tareas de mantenimiento suelen realizarse en horario nocturno o durante los fines de semana).

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.

Existe un servicio adicional, pensado principalmente para aquellos usuarios o empresas que están interesados en obtener los datos brutos de las estaciones de referencia de forma continua. Es también gratuito y no es necesario registrarse. Los datos de acceso a este caster son: IP 193.144.251.13, puerto 2101 y punto de montaje, el nombre de la estación de cuatro caracteres seguido de «0» (usuario «ign» y contraseña “*ergnss*”).

En el caso de utilizar estos datos para el desarrollo de servicios o productos, se debe incluir en ellos la siguiente mención: «incluye datos GNSS de estaciones del Instituto Geográfico Nacional de España, derivado de RRGG CC BY 4.0 ign.es».

Este servidor tiene ciertas características especiales a tener en cuenta:

- Sólo incluye las estaciones que forman parte de la red ERGNSS del IGN (<https://www.ign.es/web/ign/portal/gds-gnss-estaciones-permanentes>).
- Solo disemina datos brutos de las estaciones, no emite correcciones de red.
- Los datos que recibe el usuario son sin efectuar corrección de centro de fase de antena, con formato RTCM 3.2.

3. MONITORIZACIÓN Y PRUEBAS DEL SERVICIO

El objetivo fundamental del servicio es que esté disponible las 24 horas del día, los siete días de la semana, proporcionando en todo momento a sus usuarios la mejor precisión y estabilidad de posicionamiento alcanzable con esta tecnología.

Para alcanzar este objetivo, se procedió a diseñar el sistema de la forma óptima para garantizar el correcto funcionamiento de todos los procesos involucrados. Se trabaja diariamente para optimizar la calidad de respuesta del servicio.

Es un sistema complejo, por lo que para asegurar su correcto funcionamiento se hacen necesarias tareas detalladas de monitorización de todos los parámetros de control, así como pruebas constantes (tanto software en oficina como en campo).

Para efectuar estas tareas de monitorización se emplean herramientas propias del software de gestión de red empleado, así como utilidades propias diseñadas a partir de los parámetros obtenidos en el procesado.

El sistema permite monitorizar, entre otros, los siguientes parámetros:

- Calidad de las coordenadas de las estaciones GNSS que forman parte del sistema.
- Datos de entrada de cada una de las estaciones de referencia GNSS: satélites observados, potencia de la señal, detalles de las observaciones (fase, pseudorange, doppler).
- Estado detallado de las conexiones de todos los usuarios conectados al servicio.
- Resultado del procesado de red de las subredes que componen el sistema (resolución de ambigüedades en la subred, información sobre el estado de la ionosfera y la troposfera).

En la actualidad, existe un máximo del ciclo de actividad solar. Esto hace que la actividad ionosférica sea muy elevada, lo que puede llegar a afectar de forma muy negativa al funcionamiento de este tipo de sistemas. En el SPTR se dispone de herramientas que permiten conocer en tiempo real, y para cada una de las subredes del sistema, el estado de la ionosfera (ver en la página web del servicio).

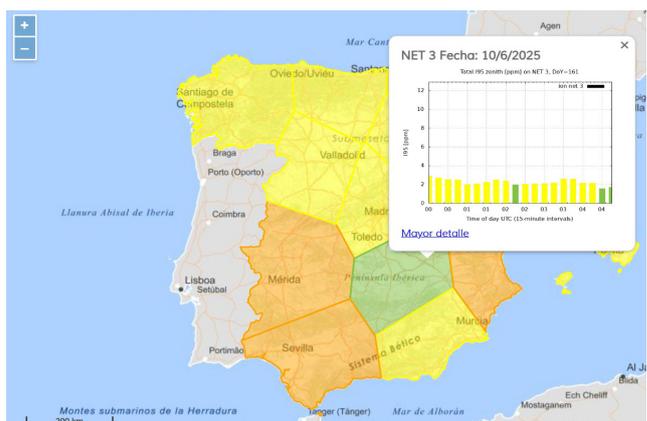


Figura 5. Mapa en tiempo real de actividad ionosférica

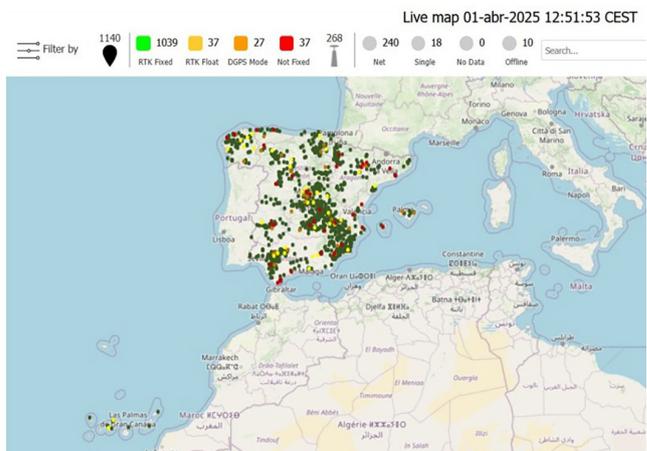


Figura 6. Herramienta principal de monitorización del sistema (estaciones y usuarios)

La mejor herramienta de monitorización de un servicio en tiempo real como el SPTR es el resultado obtenido por los usuarios que hacen uso de él. Por ello se mantiene un contacto directo con los usuarios (a través del buzón de correo electrónico) para que transmitan sus experiencias de uso y las dificultades que hayan podido encontrar.

Otras actividades de monitorización y pruebas del sistema son la generación automatizada de informes de calidad, estaciones permanentes GNSS configuradas como rover del sistema, conexiones con diferentes herramientas software, pruebas de campo realizadas por personal de los servicios regionales del IGN, pruebas de conexión con receptores de bajo coste (su uso está experimentado un incremento muy relevante), etc.

4. 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 16 000 usuarios registrados (junio 2025), existiendo un crecimiento continuo y lineal de los nuevos registros, principalmente por parte de usuarios pertenecientes al sector agrícola.

En la siguiente imagen se puede ver la distribución geográfica de usuarios en el mes de abril de 2025, por

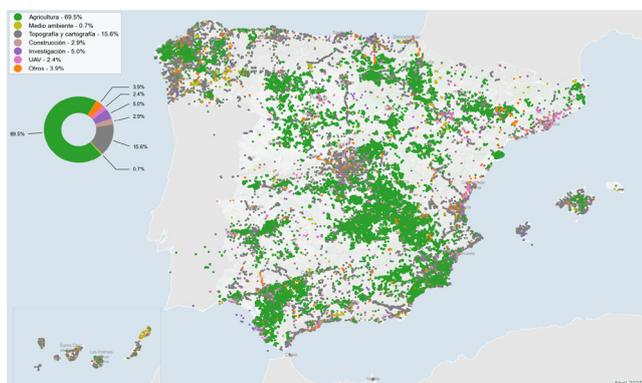


Figura 7. Conexiones al SPTR por área de actividad durante abril de 2025.

área de actividad, donde se puede visualizar que más del 60% de los usuarios registrados pertenecen al sector agrario (color verde).

4.1. 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 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 de tractores y maquinaria se pueden seguir trayectorias exactas, reduciendo el solapamiento y maximizando la eficiencia en la aplicación de fitosanitarios y abonos. En tareas de plantación, la ubicación exacta de cada semilla mejora el rendimiento y facilita operaciones futuras como el riego o la fertilización.

También una precisión de posicionamiento centi-



Figura 8. El SPTR, servicio fundamental para la agricultura de precisión (imagen cortesía de John Deere)



Figura 9. Sistemas de autoguiado de maquinaria agrícola (imagen cortesía de tractorDrive)

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

4.2. 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



Figura 10. Trabajos de topografía convencional

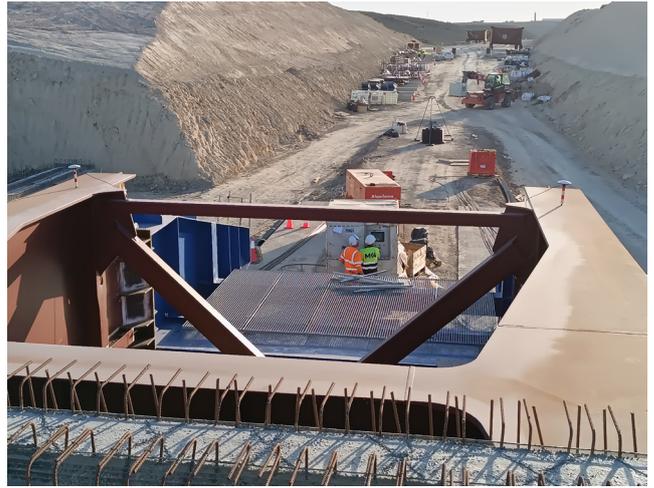


Figura 11. Lanzamiento de puente con GNSS (imagen cortesía de Altop)



Figura 12. Asfaltado con sensores GNSS (imagen cortesía de Topcon)

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, bulldozers, 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 de guiado.

Algunos ejemplos de casos prácticos en ingeniería civil los podemos encontrar en la correcta ubicación



Figura 13. Maquinaria de construcción y sistemas GNSS en tiempo real (imagen cortesía de Topcon)



Figura 14. Prototipo de vehículo autónomo (imagen cortesía de CSIC-Autopía)

de los cajones flotantes en obras de ampliación de diques, el guiado durante el proceso de lanzamiento de 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.

4.3. Vehículo autónomo

La navegación autónoma de vehículos se convertirá en los próximos años en algo cotidiano en la tecnología automovilística, y el SPTR puede convertirse en un actor importante 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 proyec-



Figura 15. El SPTR aplicado en robótica (imagen cortesía de Robotnik)

tos 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.

4.4. 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 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.

4.5. Detección de tsunamis (proyecto IGN-JRC)

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.



Figura 16. Calibración de sistema de ayuda en el aterrizaje ILS de aeronaves (imagen cortesía de Enaire)



Figura 17. Calibración de sistema de radionavegación aérea VOR (imagen cortesía de Enaire)

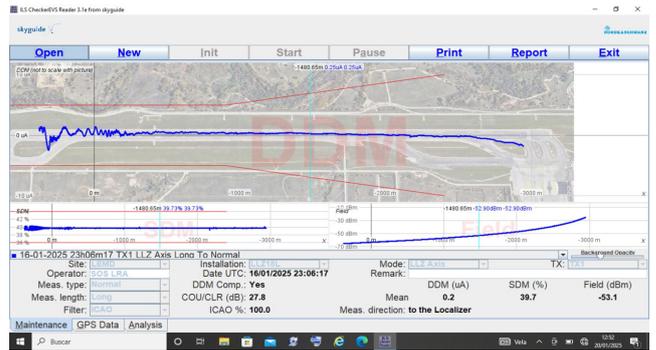


Figura 18. Verificación de sistema ILS en pista de aterrizaje (imagen cortesía de Enaire)



Figura 19. Cortacésped equipado con receptor GNSS (imágenes cortesía de Positec)

4.6. 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.

Cortacéspedes

Los cortadores de césped robóticos están trans-



Figura 20. Medición de espesor de pistas de esquí (imagen cortesía de ARI).



Figura 21. Sistema de monitorización de buques en puertos (imagen cortesía de DEEP INSIGHT-UPM)

formando 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 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

Durante el verano se efectúa un levantamiento LiDAR (UAV o avión) del terreno, en ausencia de nieve.

En la temporada invernal, a medida que las máquinas pisanieves van preparando las pistas cada día, se determina el espesor del manto de nieve de forma rutinaria, de forma muy precisa en todos los trazados mediante conexiones a sistema de posicionamiento GNSS en tiempo real como el SPTR.

4.7. 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 lo-

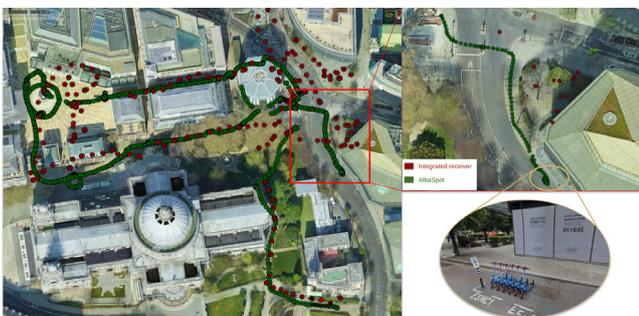


Figura 22. Patinete eléctrico con smartphone. Comparativa de posicionamiento procesado en la nube y posicionamiento absoluto (imagen cortesía de Albora Technologies)

cal, 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.

4.8. Smartphones y la Nube

La tecnología actual de los receptores GNSS incluidos en los smartphones 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 precisión actual de posicionamiento de nuestros 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 puede enviar información sobre su posición a la nube, hacer el procesado de posicionamiento en la nube y se usarían APIs de acceso a las correcciones a través de la operadora de comunicaciones.

Algunas de las ventajas de esta estrategia son las siguientes:

- Posibilidad de uso masivo de dispositivos.
- Reducir el consumo de batería del dispositivo móvil.
- Alta eficiencia debido al procesado en la nube.
- Baja latencia de datos.

5. CONCLUSIONES

El Servicio de Posicionamiento GNSS en Tiempo Real se ha convertido en un servicio público fundamental y estratégico del IGN y, por tanto, del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. 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.

Lo que sí se sabe con certeza es 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.

Nuevas tecnologías como el SSR (*State Space Representation*) permitirán superar las limitaciones de los

sistemas actuales (OSR: *Observation State Representation*) y hacer un uso más eficiente del ancho de banda de transmisión de las correcciones a los usuarios (posibilidad de retransmisión por satélite o haciendo uso del *Digital Audio Broadcasting*) así como evitar los cuellos de botella debidos a la necesidad de un enlace único bidireccional entre cada usuario y el servicio. En el SPTR ya se está desarrollando y haciendo pruebas con este tipo de tecnología.

AGRADECIMIENTOS

Especial agradecimiento a todos los responsables de las redes regionales cuyas estaciones aportan datos al servicio.

Se agradece también a las empresas que han participado en esta publicación aportando fotografías de ejemplos prácticos de uso del SPTR.

Sobre los autores

José Manuel Serna Puente

Ingeniero Técnico de Telecomunicación (2000) e Ingeniero de Telecomunicación (2002) por la Universidad Politécnica de Madrid.

En 2005 aprueba la oposición para incorporarse al cuerpo de Astrónomos de la Administración General del Estado. A partir de ese momento ejerce su actividad profesional en el Observatorio de Yebes (Guadalajara), adscrito a la Subdirección General de Astronomía y Geodesia del Instituto Geográfico nacional de España (IGN). Sus responsabilidades abarcan principalmente las siguientes áreas: diseño construcción y mantenimiento de receptores criogénicos de radioastronomía, sistemas de medida de antenas, gravímetros absolutos y relativos, sistemas Satellite Laser Ranging (SLR).

En 2021 se incorpora a la Red de Infraestructuras Geodésicas, también del IGN, siendo el responsable del Servicio de Posicionamiento GNSS en Tiempo Real (SPTR).

José Antonio Sánchez Sobrino

Ingeniero Técnico en Topografía e Ingeniero en Geodesia y Cartografía por la Universidad Politécnica de Madrid. Desde 1993 trabaja en la Red de Infraestructuras Geodésicas, siendo actualmente jefe de área y respon-

sable de la Unidad. También es profesor asociado en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la UPM desde 2001.

Christian Palomar Pozo

Ingeniero especializado en geodesia, con una sólida formación en Ingeniería Geomática y Topografía por la Universidad Politécnica de Madrid. Su Trabajo Fin de Grado, desarrollado en colaboración con el Instituto Geográfico Nacional (IGN), se centró en el estudio de las irregularidades del movimiento de rotación terrestre mediante el análisis de la técnica de Interferometría de Muy Larga Base (VLBI).

Motivado por esta experiencia, en 2021 accedió por oposición al Cuerpo de Ingenieros Técnicos en Topografía, comenzando su carrera profesional en la Unidad de Geodesia del IGN, concretamente en el recién inaugurado Centro de Análisis VLBI.

Tras un periodo como analista en dicho centro, se incorporó como técnico al Servicio de Posicionamiento en Tiempo Real, donde continúa desarrollando su labor hasta la actualidad.

En 2025, consolidó su trayectoria profesional al superar las oposiciones de acceso al Cuerpo de Ingenieros Geógrafos, ampliando así su ámbito de actuación dentro del sistema geoespacial nacional.