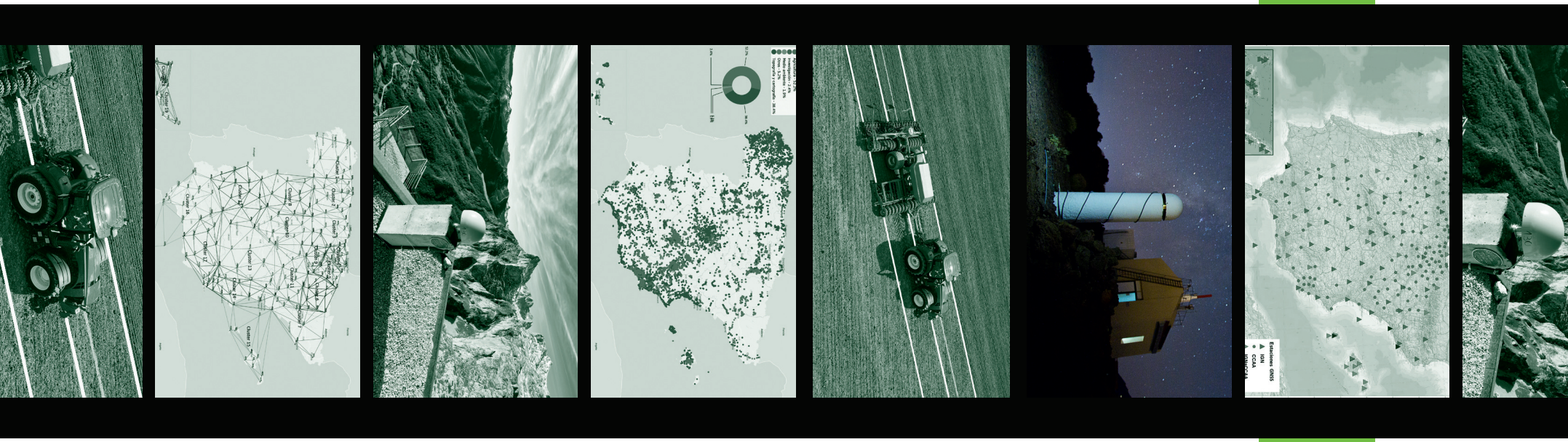
Georreferencia

■ *Texto: VÍCTOR PUENTE GARCÍA, JESÚS DÍAZ CENTENO, JOSÉ ANTONIO SÁNCHEZ SOBRINO.*
Área de Geodesia. Subdirección General de Geodesia y Cartografía.



Un servicio gratuito para el geoposicionamiento preciso en nuestro país

Servicio de Posicionamiento en Tiempo Real de España.....

El Instituto Geográfico Nacional (IGN) es garante del Sistema Geodésico de Referencia Oficial en España, una infraestructura necesaria para actividades que requieran una georreferenciación precisa y, desde hace décadas, el soporte del Servicio de Posicionamiento en Tiempo Real.

Estación permanente GNSS del Observatorio de Izaña (Tenerife).

Estación permanente GNSS en Fuente Dé (Cantabria).

El Servicio de Posicionamiento en Tiempo Real (SPTR)

es un servicio público y gratuito ofrecido por el MITMA a través del IGN, que proporciona a sus usuarios la posición 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 de estaciones permanentes GNSS (Global Navigation Satellite System) para este fin, a través de los correspondientes acuerdos, y opera ininterrumpidamente las 24 horas del día aportando cobertura en todo el territorio del Estado. El SPTR resulta fundamental en sectores de actividad como la ingeniería civil, la topografía o la agricultura de precisión, que cada vez más recurren a él como muestra el creciente número de usuarios. 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 o Beidou, y que operan de forma continua.

Geopiosicionamiento

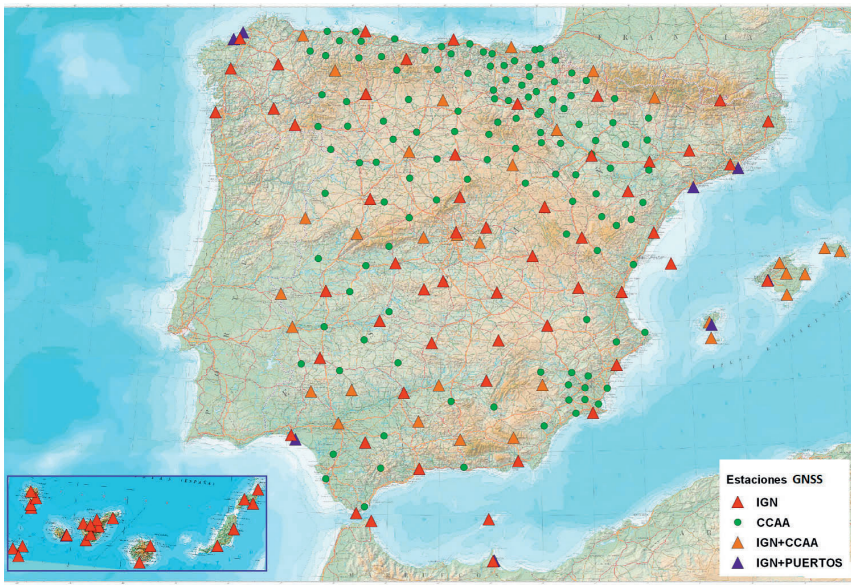
En los últimos años, el geoposicionamiento se ha convertido en una necesidad básica. El desarrollo de los sistemas de navegación por satélite GNSS, liderado inicialmente por el sistema GPS, ha irrumpido en nuestra vida cotidiana y ha supuesto una revolución en los métodos de trabajo en diferentes sectores profesionales cuya actividad depende del conocimiento de la posición de una forma precisa. Además del GPS operan otros sistemas GNSS, entre los que destaca Galileo, que es operado por la Unión Europea (UE) y donde nuestro país tiene un papel muy relevante tanto desde el sector público como el privado. Otros son el sistema ruso Glonass, el chino Beidou, el japonés QZSS y el indio Irnss.
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 logramos por defecto cuando usamos el receptor GNSS de nuestro teléfono móvil o de nuestro automóvil. Esta es una precisión suficiente para navegación, pero no para otras actividades que requieren una mucho mayor, como son los trabajos topográficos o el guiado de maquinaria de precisión de forma automática en campos como la Ingeniería civil o la Agricultura. Por este motivo, se desarrollaron los sistemas de cálculo y transmisión de "correcciones diferencia-

les" que operan «corrigiendo» esa posición inicial a valores mucho más precisos, del orden de un par de centímetros.
Estos sistemas se basan en la utilización de los datos que proveen las estaciones (geodésicas) permanentes GNSS distribuidas por el territorio y cuyas coordenadas es imprescindible conocer con la máxima precisión posible. Para ello se utiliza el cálculo científico más riguroso, consiguiendo precisiones en el conocimiento de las coordenadas de todas las estaciones del orden de algunos milímetros. 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 las denominadas "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 en Tiempo Real (SPTR), el cual opera de forma continua permitiendo alcanzar una precisión en el posicionamiento del orden de unos pocos centímetros. En este artículo se presentan las principales características de este servicio público y gratuito que se ha convertido en un referente esencial para muchos profesionales.

Arquitectura del servicio de posicionamiento en tiempo real de España

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

1. Los datos registrados en tiempo real por la red de estaciones permanentes desplegada por todo el territorio.
2. El cálculo de las coordenadas precisas de dichas estaciones, necesario para un correcto cálculo posterior de las correcciones.
3. El cálculo de "correcciones diferenciales".
4. La interfaz del servicio con los usuarios para la diseminación en tiempo real de las correcciones necesarias para que estos obtengan su posición de forma muy precisa.



Distribución de estaciones permanentes que proveen datos al SPTR.

Redes de estaciones permanentes

El Área de Geodesia del IGN viene desplegando desde 1998 la Red Geodésica Nacional de Estaciones de Referencia GNSS (ERGNSS) en todo el territorio nacional, 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. La finalidad de estas estaciones al inicio de su existencia era puramente geodésica (la determinación de una posición muy precisa que sirviera como referencia fundamental del sistema de referencia geodésico nacional), pero a lo largo de los más de veinte años de historia de la ERGNSS han ido surgiendo numerosas necesidades, aplicaciones adicionales y formas de trabajo.
Una estación permanente GNSS consiste básicamente en un equipo receptor y antena GNSS que registra observaciones de forma continua, además de una marca física suficientemente definida a la que se refieren las coordenadas calculadas. Dichos datos son transmitidos en tiempo real a través de Internet a la sede central del IGN en Madrid, y constituyen la fuente de datos necesaria para el funcionamiento del Servicio de Posicionamiento en Tiempo Real. Además de la transmisión de las observaciones

al Centro de Proceso de Datos, también las almacena internamente en forma de ficheros que se descargan cada hora en el IGN para un procesado de alta precisión y la obtención (además de las coordenadas precisas) de otros productos, como son los valores atmosféricos que afectan a las señales.

Actualmente, la red ERGNSS del IGN está formada por cerca de 120 estaciones uniformemente distribuidas por todo el territorio nacional. Algunas de estas también pertenecen, a su vez, a redes europeas o mundiales que trabajan coordinadamente para, entre otros objetivos, mantener un sistema homogéneo y preciso de referencia de coordenadas en los ámbitos europeo y mundial, respectivamente. Así, 27 estaciones están integradas en la red europea de Euref (European Reference Frame) y cuatro en la red mundial del IGS (International GNSS Service). Por otro lado, tres de estas estaciones son parte de la infraestructura del Galileo Reference Center (GRC) para el control del sistema Galileo.

La ERGNSS está en constante mejora y modernización, actualizando los equipos de observación para registrar las nuevas constelaciones de satélites (Galileo y Beidou) y extendiéndose a más emplazamientos para proporcionar la mejor cobertura e integridad posible del servicio en todo el territorio nacional.

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 los puedan explotar.

Además, algunas de las estaciones de 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. En este sentido, existen convenios o acuerdos entre el IGN y las mencionadas instituciones por los que se establece el carácter «compartido» de las estaciones GNSS, puesto que muchas comunidades autonómas también tienen servicios propios complementarios del posicionamiento en tiempo real a nivel autonómico.

En resumen, a las 120 estaciones del IGN se suman otras tantas de estos organismos y redes autonómicas, contando para el SPTR con los datos de aproximadamente 240 estaciones permanentes GNSS cuyas observaciones son utilizadas en tiempo real y de forma continua como datos de entrada en el servicio.

Este importante número de estaciones permanentes GNSS, distribuidas homogéneamente por todo el territorio nacional, aportan una configuración que aumenta la fiabilidad e integridad del sistema y, a su vez, permite proporcionar correcciones diferenciales GNSS con cobertura continua y homogénea para la totalidad del territorio nacional.

Las mediciones de estas 240 estaciones se envían cada segundo al Centro de Proceso de Datos en el IGN con una latencia o retraso entre la generación del dato y su recepción que no ha de exceder un par de segundos, asegurando así la calidad de las correcciones generadas y enviadas al usuario.

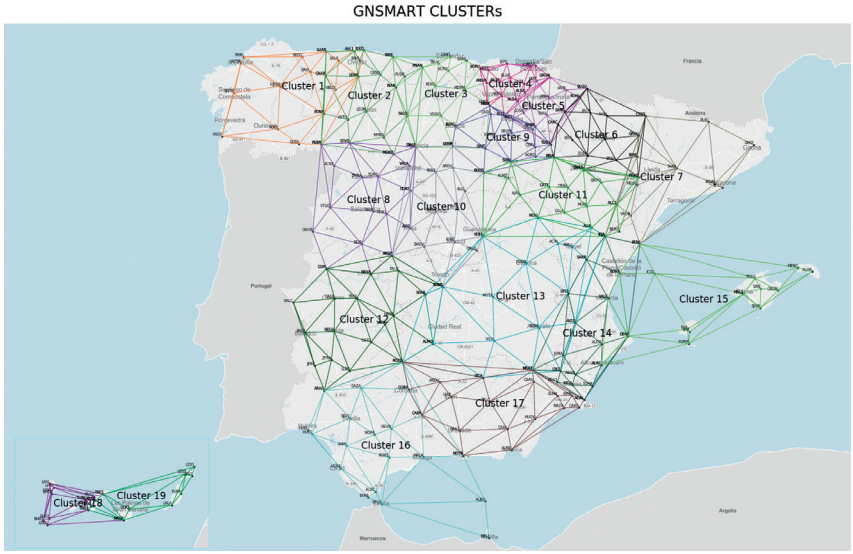
Este flujo continuo y necesario de datos exige un mantenimiento y atención cotidianos en las estaciones permanentes GNSS, tanto de los equipos como de las comunicaciones entre estas y el Centro de Proceso de Datos en el IGN.

Redes colaboradoras

- Aragea: Red de Geodesia Activa de Aragón
- ERVA: Red de Estaciones de Referencia de Valencia
- Estaciones GNSS de Puertos del Estado
- Itacyl: Red de estaciones GNSS de Castilla y León
- RAP: Red Andaluza de Posicionamiento
- Red de estaciones permanentes GNSS de la Comunidad de Madrid
- Regam: Red de Geodesia Activa de la Región de Murcia
- REP: Red Extremeña de Posicionamiento
- RGAC: Red GNSS Activa de Cantabria
- RGAN: Red de Geodesia Activa de Navarra
- Rgapa: Red GNSS Activa del Principado de Asturias
- RGE: Red GPS/GNSS de Euskadi
- Rioja: Red de estaciones permanentes GNSS-La Rioja
- XGAIB: Xarxa de Geodèsia Activa de les Illes Balears

Centro de Análisis Geodésico

A partir de los datos registrados por la red de estaciones permanentes GNSS, el Centro de Análisis GNSS se encarga de la determinación precisa de las coordenadas de las estaciones de la red. El conocimiento de estos valores con la suficiente



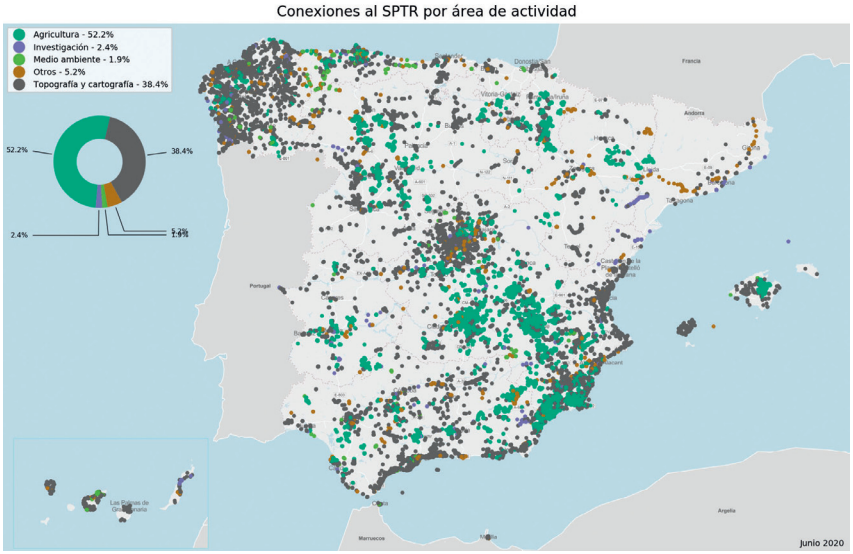
Distribución de clusteres de cálculo.

precisión es un factor fundamental para la calidad de las correcciones que emite el SPTR.
Tanto las estaciones del IGN como las del resto de redes participantes son procesadas de forma continua para asegurar una alta calidad y homogeneidad en las coordenadas y, al mismo tiempo, con el objetivo de monitorizar cualquier movimiento o modificación significativa, como por ejemplo cuando se produce un cambio de equipamiento (antena o receptor) que puede alterar en unos milímetros, debido a diferentes variables, la posición de la marca geodésica.
Las coordenadas de las estaciones, obtenidas mediante la combinación de varios centros de análisis de datos, se validan por un grupo de trabajo en el seno de la Comisión Especializada del Sistema Geodésico (Consejo Superior Geográfico) y se comunican a los gestores de las redes para su implementación práctica.
En este sentido, el IGN realiza de manera continua cálculos muy precisos utilizando para ello su amplia experiencia como Centro de Análisis de datos GNSS en la red europea Euref. Desde el año 2001, se viene procesando de forma diaria y semanal una subred europea de estaciones para el mantenimiento del marco de referencia de coordenadas ETRS89 en el ámbito de la península ibérica, archipiélagos (Baleares, Canarias, Azores), Francia, Italia, Irlanda y Gran Bretaña. Con estos cálculos continuos también se elaboran, por ejemplo, series temporales de coordenadas y se obtienen resultados de velocidades de placa tectónica o deformaciones del terreno locales.
El Centro de Análisis de Datos GNSS del IGN participa también en otros proyectos internacionales de cálculo continuo, obteniendo diferentes productos, no solo coordenadas, de las estaciones GNSS que aportan un valor añadido. Así por ejemplo, y a modo de curisosidad, cada hora se realiza un cálculo que sirve para obtener el contenido de vapor de agua en la troposfera sobre la vertical de todas las estaciones de España y Portugal, valores que son enviados con el mínimo retardo posible a la red de agencias meteorológicas europeas (Eumetnet) para su integración en modelos numéricos de predicción del tiempo (Aemet o MeteoFrance, por ejemplo, utilizan estos valores en diferentes modelos de predicción).
Existen otros proyectos en los que se calculan, con fines geodinámicos, las velocidades de desplazamiento de las estaciones dentro de la placa tectónica y que también pueden aportar una información muy valiosa para la evaluación y estudio del cambio climático, monitorizando, por ejemplo, la subida del nivel medio del mar.

Centro de procesamiento de datos en tiempo real

La infraestructura de procesamiento para el Servicio de Posicionamiento 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 19 subredes (*cluster*), de tal forma que cada servidor procesa los datos correspondientes a 3 *clusters*. Esta división del *hardware* se debe al elevado número de estaciones y a la complejidad de los cálculos que se han de realizar instantáneamente.
De forma muy simplificada, el procesamiento consiste en el cálculo en cada instante (cada segundo) del error en el posicionamiento de la señal transmitida por los satélites GNSS mediante la comparación con las coordenadas precisas de las estaciones permanentes. De esta manera es posible calcular correcciones diferenciales y transmitirlas a

través de Internet. En realidad, lo que se hace es 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.
Actualmente existen copias clónicas de los servidores para su reposición inmediata en caso de incidencia en alguno de ellos, pero también se está trabajando en implementar un sistema más seguro de respaldo con una reposición automática. La integridad del servicio en caso de una eventual caída de los servidores o de las comunicaciones es vital para asegurar el funcionamiento permanente del SPTR.



Conexiones por área de actividad en el mes de junio de 2020.

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 los usuarios permite conocer su número y el sector de actividad, generar estadísticas de uso para mejorar y reforzar el servicio 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 denominado NTRIP. Prácticamente todos los receptores GNSS del mercado de uso profesional tienen implementado este protocolo, siendo un estándar en la transmisión de datos GNSS. También es necesario que el dispositivo del usuario tenga conexión a Internet y, como es natural, contar con la cobertura telefónica en el área de trabajo, algo que actualmente sucede en prácticamente todo el territorio.
El servicio se proporciona a través de la URL ergnss-tr.ign.es, la cual facilita dos tipos de soluciones para obtener su posicionamiento preciso:

- Solución de red a través del puerto 2101, en la que se transmiten correcciones diferenciales calculadas a partir de los datos de las estaciones permanentes próximas al usuario. En esta modalidad, el usuario comunica su posición al sistema enviando previamente un mensaje automático con sus coordenadas al Centro de Proceso de Datos (CPD) y este calcula y envía las correcciones para su ubicación específica. Es decir, las correcciones se generan y envían específicamente para el lugar donde se encuentra el usuario. Esta es la modalidad más frecuente en los usuarios y además se ofrece mediante diferentes algoritmos y procedimientos de cálculo.
- Solución de estaciones individuales a través del puerto 2102. El usuario elige a qué estación permanente se quiere conectar y recibe sus datos. En esta modalidad, el usuario ha de conocer qué estación se encuentra cerca de su posición, ya que la distancia entre esta y su ubicación es un factor que degrada la precisión de las correcciones. Dependiendo, de la tecnología del usuario, se obtienen resultados óptimos hasta a 50 km de distancia.

Así mismo, se proporciona a los usuarios un buzón de correo (buzon-geodesia@mitma.es) en el que se ofrece soporte para la utilización del servicio o comunicación con los responsables de la administración del sistema.

Utilización del servicio

Actualmente hay más de 5.000 usuarios registrados en el servicio y con un crecimiento continuo y lineal de nuevos registros, mayoritariamente por parte del sector de la agricultura. En el

Sectores de actividad de los usuarios

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.
- Control de flotas
- Conducción autónoma y conectada
- Agricultura de Precisión.
- Medio Ambiente.
- Investigación.

gráfico de la izquierda se puede ver la distribución geográfica de usuarios en el mes de junio de 2020 por área de actividad.
Cabe reseñar que, si bien el mayor número de usuarios corresponde al sector de la topografía y cartografía (por el conocimiento del SPTR que tienen estos profesionales), actualmente se está trabajando en una campaña de difusión entre las empresas de actividad agrícola, ya que se prevé un incremento importante y un uso masivo del servicio en los próximos años, entre otros, en automatización de tareas agrícolas o asistencia mediante sistemas de guiado, observándose una fuerte zonificación del uso en importantes zonas de cultivo.
Dada la potencial importancia de este sector, el IGN ha contactado con los principales fabricantes y distribuidores de maquinaria agrícola con la finalidad de darles a conocer el SPTR, ya que por desconocimiento muchos agricultores utilizan a veces servicios de correcciones GNSS privados no gratuitos.
Lo mismo podemos resaltar respecto a la ingeniería civil. Los trabajos topográficos de obra, que básicamente consisten en la medición de los elementos del terreno o en el replanteo de los proyectos de obra, 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 medidas de distancia y ángulos usando instrumentos como teodolitos o estaciones totales, pero actualmente estos instrumentos han sido sustituidos en una gran parte por el uso de sistemas como el SPTR. 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.
De la misma manera, la navegación autónoma de vehículos se convertirá en los próximos años en algo cotidiano en la tecnología automovilística y el SPTR del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (Mitma) puede ser un pilar fundamental y complementario para el desarrollo de este modo de navegación terrestre en España. El uso del SPTR, junto al resto de sistemas de control del vehículo, harán que el guiado sea mucho más seguro.
En resumen, el Servicio de Posicionamiento en Tiempo Real se ha convertido en un servicio público fundamental y estratégico del Mitma, resultando una herramienta esencial para un gran número de profesionales que obtienen 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, tanto las de los sectores mencionados, como las proveedoras de tecnología y aplicaciones.
En cuanto al desarrollo del sistema en los años venideros, es más que previsible el aumento de su importancia dado el incremento de posibles aplicaciones que se pueden añadir a las anteriormente citadas, difícilmente imaginables en la actualidad. Lo que sí se sabe con seguridad 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 más seguras. 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 que se observan actualmente. ■

El SPTR, servicio fundamental en la agricultura de precisión.

Foto: John Deere