



PROGRAMME OF THE  
EUROPEAN UNION



EGNOS

NAVIGATION MADE IN EUROPE

# EUROPEAN RADIO NAVIGATION PLAN 2023



La presente publicación es un documento de trabajo de los servicios de la Comisión Europea, redactado por la DG Industria de Defensa y Espacio en cooperación con el Centro Común de Investigación (JRC), el servicio de ciencia y conocimiento de la Comisión Europea.

Las opiniones expresadas en el presente documento corresponden únicamente a los servicios de la Comisión y, en ningún caso, pueden considerarse una posición oficial de la Comisión Europea. La información que figura en el presente documento está destinada a ser objeto de examen por parte de los Estados miembros o de las entidades que se ocupan del posicionamiento, la navegación y la temporización (PNT).

Ni la Comisión Europea ni ninguna persona que actúe en su nombre son responsables del uso que pudiera hacerse de esta publicación. Para obtener información sobre la metodología y la calidad de los datos utilizados en esta publicación cuya fuente no es ni Eurostat ni otros servicios de la Comisión, los usuarios deben ponerse en contacto con la fuente referenciada. Las designaciones empleadas y la presentación del material en los mapas no implican juicio alguno de la Unión Europea sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto del trazado de sus fronteras o límites.



La política de reutilización de la Comisión Europea se rige por la Decisión 2011/833/UE de la Comisión, de 12 de diciembre de 2011, relativa a la reutilización de los documentos de la Comisión (DO L 330 de 14.12.2011, p. 39). Salvo que se indique otra cosa, la reutilización del presente documento queda autorizada en virtud de una licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>). Esto significa que se permite la reutilización siempre que la fuente esté adecuadamente identificada y se indique cualquier cambio. Para cualquier uso o reproducción de fotografías u otro material que no sea propiedad de la UE, debe solicitarse permiso directamente a los titulares de los derechos de autor.

Todos los contenidos © Unión Europea, 2023, salvo que se indique lo contrario en el documento.

ISBN del formato impreso: 978-92-68-11353-0 doi: 10.2889/800167

Número de catálogo: HV-09-23-074-ES-C

ISBN del formato electrónico (PDF): 978-92-68-11349-3 doi: 10.2889/622170

Número de catálogo: HV-09-23-074-ES-N

Cómo citar el presente informe: Comisión Europea, «Plan Europeo de Radionavegación de 2023», 2023, ISBN 978-92-68-11353-0, doi: 10.2889/800167.

# Índice

Índice .....	3
1 INTRODUCCIÓN.....	6
1.1 Contexto del Plan Europeo de Radionavegación (PER).....	7
1.2 Propósito del PER.....	8
1.3 Alcance del PER .....	8
1.4 Objetivos del PER .....	8
1.5 Estructura del PER.....	9
1.6 Observaciones sobre el PER .....	9
2 PANORAMA DE LOS SISTEMAS Y SERVICIOS DE PNT .....	10
2.1 Introducción a los sistemas y servicios de PNT .....	11
2.2 Papel de los sistemas y servicios de PNT en la sociedad.....	12
2.3 Beneficios económicos de los sistemas y servicios de PNT / GNSS.....	13
2.4 Necesidades de los usuarios de servicios de PNT .....	14
2.5 Retos en el ámbito de los sistemas y servicios de PNT / GNSS .....	16
2.6 Tendencias y oportunidades .....	18
2.7 Sistemas y servicios de PNT .....	20
2.7.1 Visión general de los sistemas de PNT .....	20
2.7.2 Sistemas mundiales de navegación por satélite (GNSS) y aumentación .....	23
2.7.3 Sistemas de PNT convencionales .....	25
2.7.4 Sistemas de PNT emergentes / de próxima generación.....	27
2.8 Interoperabilidad y compatibilidad.....	29
2.9 Políticas internacionales en materia de PNT.....	30
3 Sistemas y servicios de PNT de la UE .....	31
3.1 Programa Espacial de la Unión 2021-2027 .....	32
3.2 Servicios de Galileo .....	33
3.2.1 Servicio abierto de Galileo.....	34
3.2.2 Servicio de alta precisión.....	37
3.2.3 Servicio de Autenticación Comercial (CAS) / Servicio de Autenticación de Señal (SAS) .....	38
3.2.4 Servicio público regulado (PRS).....	39
3.2.5 Servicio de emergencia y alerta temprana (EWS) .....	40
3.2.6 Servicio de temporización .....	41
3.2.7 Contribución al servicio de búsqueda y salvamento (SAR) .....	42
3.2.8 Contribución a los servicios de seguridad de la vida humana .....	43
3.2.9 Contribución a la información meteorológica espacial .....	44
3.2.10 Hoja de ruta para los servicios de Galileo .....	45



3.3	Servicios EGNOS .....	46
3.3.1	Servicio abierto de EGNOS .....	47
3.3.2	Servicio de seguridad de la vida humana de EGNOS.....	48
3.3.3	Servicio de acceso a los datos EGNOS (EDAS) .....	51
3.4	Políticas y medidas recomendadas en la UE en materia de PNT .....	52
3.4.1	Resiliencia de las infraestructuras críticas europeas.....	53
3.4.2	Pacto Verde Europeo.....	54
3.4.3	Aviación tripulada.....	55
3.4.4	Aviación no tripulada.....	57
3.4.5	Navegación marítima y por vías navegables interiores.....	59
3.4.6	Transporte por carretera.....	62
3.4.7	Transporte ferroviario .....	64
3.4.8	Agricultura .....	65
3.4.9	Servicios basados en la localización .....	67
3.4.10	Búsqueda y salvamento.....	68
3.4.11	Cartografía y levantamiento topográfico .....	69
3.4.12	Temporización y sincronización precisas (finanzas, redes eléctricas, comunicaciones) .....	71
3.4.13	Usuarios del espacio.....	72
3.4.14	Seguridad y defensa .....	73
3.4.15	Necesidades de los usuarios de desplazamientos multimodales.....	74
3.4.16	Transporte de mercancías y logística .....	74
3.5	Cooperación de la UE en materia de navegación por satélite .....	75
4	Visión para los servicios de PNT en la UE.....	77
5	APÉNDICE A: sistemas de PNT .....	80
5.1	Sistemas mundiales de navegación por satélite (GNSS) .....	80
5.1.1	Sistemas de navegación por satélite con cobertura mundial.....	83
5.1.2	Sistemas de navegación por satélite con cobertura regional.....	99
5.1.3	Sistemas de aumentación .....	104
5.2	Sistemas de PNT convencionales .....	109
5.2.1	Radiofaros no direccionales (NDB).....	109
5.2.2	Radiofaros omnidireccionales VHF (VOR) .....	110
5.2.3	Equipos de medición de distancias (DME) .....	111
5.2.4	Sistema de aterrizaje instrumental (ILS).....	112
5.2.5	Sistemas de navegación aérea táctica (TACAN) .....	114
5.2.6	Sistemas de radionavegación de larga distancia (LORAN) .....	114
5.2.7	Sistemas de distribución de tiempo y frecuencia de onda larga.....	118



5.2.8	Relojes atómicos.....	119
5.3	Tecnologías emergentes .....	121
5.3.1	White Rabbit (WR).....	122
5.3.2	Distribución de tiempo a través de redes informáticas .....	123
5.3.3	Pseudolitos .....	124
5.3.4	Servicios de PNT basados en la 5G y en las redes celulares .....	126
5.3.5	Modo de alcance (modo R) .....	128
5.3.6	Navegación visual .....	130
5.3.7	Navegación basada en teléfonos móviles .....	132
5.3.8	Navegación a estima mediante IMU .....	134
5.3.9	Navegación magnética .....	135
5.3.10	Órbita terrestre baja (LEO) .....	136
5.3.11	Tecnologías cuánticas.....	137
5.3.12	Servicios de PNT mediante púlsares.....	142
5.4	Resumen de las fortalezas, las debilidades, las oportunidades y las amenazas .....	144
6	APÉNDICE B: servicios de PNT resilientes .....	146
7	APÉNDICE C: Reglamentos y normas .....	147
8	APÉNDICE D: Principales partes interesadas de la UE en el ámbito de los servicios de PNT.....	152
9	APÉNDICE E: Marcos de referencia de la UE.....	156
10	APÉNDICE F: ACRÓNIMOS.....	158

# 1 INTRODUCCIÓN

Los servicios dependientes del **posicionamiento, la navegación y la temporización (PNT<sup>1</sup>)** constituyen un **motor de crecimiento económico** desde hace tiempo. Asimismo, desempeñan un papel clave en la sociedad y en múltiples sectores y prestan apoyo a infraestructuras críticas. Mientras que la dependencia de los servicios de PNT está aumentando en las aplicaciones civiles y comerciales, estos servicios también ejercen una función cada vez más importante en las operaciones de defensa, seguridad y salvaguardia de la vida.

En la actualidad, los servicios de PNT se basan principalmente en los sistemas de radionavegación y, en particular, en los servicios prestados por los **sistemas mundiales de navegación por satélite (GNSS, por sus siglas en inglés)**. El uso de GNSS se ha extendido a muchos sectores, en función de la evolución de las constelaciones existentes y de la aparición de otras nuevas. A día de hoy, alrededor del [10 % del producto interior bruto \(PIB\) de la Unión Europea \(UE\)](#) depende del uso de los **servicios de GNSS**, y las tendencias apuntan a que este porcentaje seguirá creciendo. En general, existe un potencial significativo para que la industria de muchos sectores aproveche mejor los servicios de GNSS y haga uso y se beneficie del rendimiento superior que ofrecen los GNSS.

Los **sistemas terrestres de PNT** han desempeñado un papel clave durante muchos años, tanto en combinación con los GNSS como de manera independiente. No obstante, la adopción y la evolución de las soluciones de GNSS abren la posibilidad de retirar del servicio o **racionalizar algunos sistemas terrestres de PNT**. Esto permitiría ahorrar costes en la instalación, la explotación y el mantenimiento de la infraestructura terrestre. También liberaría el espectro radioeléctrico asociado.

Sin embargo, las señales de GNSS son vulnerables a interferencias naturales y artificiales, así como a ataques intencionados como la perturbación (*jamming*) y la suplantación (*spoofing*). Por ello, por lo que respecta a las aplicaciones críticas o a la protección de infraestructuras críticas, existe un amplio consenso en considerar que los GNSS, incluso en un entorno multiconstelación y multifrecuencia, no deben ser la única fuente de información sobre PNT. Para estas aplicaciones, debe desarrollarse y mantenerse una solución de **PNT alternativa** (de reserva, pero también complementaria), que no esté basada necesariamente en tecnologías de radiofrecuencia.

En la Unión Europea (UE), la Comisión Europea gestiona los **Sistemas Mundiales de Navegación por Satélite Europeos (EGNSS)** Galileo y EGNOS. **Galileo** es el GNSS autónomo de la UE bajo control civil y ofrece servicios de PNT de última generación a usuarios de todo el mundo. El **Sistema Europeo de Navegación por Complemento Geostacionario (EGNOS)** es el sistema de aumentación de la UE que mejora (la precisión e integridad de) las señales de navegación existentes generadas por el sistema de posicionamiento global (GPS), y por Galileo en el futuro. EGNOS permite el uso de señales de GNSS en aplicaciones que tutelan la seguridad de la vida humana, especialmente en el sector de la aviación.

Los **usos de los servicios de GNSS son múltiples**. Por citar algunos, los servicios de GNSS se utilizan actualmente para mejorar los flujos de tráfico y la eficiencia de los vehículos, ayudar a realizar el seguimiento de paquetes y envíos proporcionando soluciones logísticas de valor añadido, facilitar las operaciones de protección civil en entornos hostiles, acelerar las operaciones de rescate y proporcionar herramientas críticas a la guardia costera y a las autoridades de control fronterizo. Los GNSS son asimismo un instrumento formidable para incorporar el sello de tiempo necesario en las transacciones financieras, la investigación científica en ámbitos como la meteorología, la ciencia atmosférica, la geofísica y la geodesia, así como para actividades económicas esenciales clave.

Aunque el uso de los **GNSS** va en aumento, los servicios que estos ofrecen **aún no se aprovechan plenamente** en todos los sectores del mercado. Además, el uso de vehículos autónomos, no tripulados y controlados de forma remota está experimentando un crecimiento exponencial. Teniendo en cuenta el papel que los servicios de GNSS pueden desempeñar en todos estos sectores del mercado, existe una clara necesidad de que la UE aproveche plenamente los beneficios que Galileo y EGNOS pueden ofrecer y facilite su adopción en todos y cada uno de los sectores.

---

<sup>1</sup> Los acrónimos se definen en el [APÉNDICE F: ACRÓNIMOS](#), también los empleados en gráficos y cuadros.

## 1.1 Contexto del Plan Europeo de Radionavegación (PER)

El contexto en el momento de redactar esta versión del Plan Europeo de Radionavegación —año 2023— juega un papel importante en su ambición, su alcance y sus objetivos. Los principales elementos contextuales de esta edición del PER son los siguientes:

1. La [Estrategia Espacial para Europa](#), publicada en 2016, en la que se pedía a la Comisión Europea que publicara «un plan europeo de radionavegación para facilitar la incorporación de las aplicaciones del sistema global de navegación por satélite en las políticas sectoriales». Sobre esta base, en 2018 se publicó una [primera versión del PER](#).

El presente documento, que es la segunda versión del PER, sigue teniendo como objetivo principal «facilitar la introducción de aplicaciones de Galileo y EGNOS en diferentes sectores de mercado».

2. El **Tribunal de Cuentas Europeo** publicó en 2021 un [Informe Especial](#) sobre los programas espaciales de la UE Galileo y Copernicus, y sobre la necesidad de dar un impulso adicional a la actualización de sus datos y servicios.

La recomendación 4, referente a la mejora de la utilización del marco normativo para apoyar la captación de los servicios espaciales de la UE, pide a la Comisión Europea en su letra c) que establezca «calendarios para cada segmento de mercado pertinente en los que la normativa o la normalización puedan facilitar el uso de Galileo, y [los supervise] de cerca». Por lo tanto, el objetivo de esta versión del PER es dar respuesta a esta recomendación.

3. Los [servicios de PNT, sobre todo los basados en GNSS, son cada vez más importantes](#) para la economía y la sociedad, no solo en lo que respecta a los servicios de [posicionamiento y navegación](#), sino también a los servicios de [temporización](#) (clave para las finanzas, las redes eléctricas, la comunicación, etc.). Esta tendencia seguirá creciendo en los próximos años.

Los servicios y los datos espaciales son un **factor importante para la transformación digital** de la economía y la sociedad, y refuerzan innovaciones digitales como los vehículos autónomos, las soluciones inteligentes y las redes de telecomunicaciones inalámbricas 5G/6G.

4. **El número de perturbaciones de los servicios de GNSS es cada vez mayor** debido a la potencia relativamente baja de las señales de GNSS. Existen dispositivos simples de bajo coste que pueden provocar interferencias deliberadas en las frecuencias utilizadas por los GNSS con la intención de perturbar la recepción de señales de GNSS (*jamming*, como se ha venido a denominar esta práctica) y dispositivos de perturbación (*jammers*) de potencia mucho mayor que pueden afectar a una zona mucho más amplia. Los servicios de GNSS también pueden ser objeto de ataques mediante [spoofing](#), en los que se produce una suplantación con información falsa que da lugar a errores en la solución de PNT. Por último, los servicios de GNSS pueden sufrir un acusado deterioro del rendimiento debido a un fenómeno meteorológico espacial o a fallos del sistema.

Al mismo tiempo, existe una **conciencia mayor sobre las interferencias de los GNSS y se proponen medidas para mejorar la resiliencia de las señales de GNSS** (por ejemplo, la [cooperación de la Unión Europea y los Estados Unidos en materia de navegación por satélite, con especial hincapié en la resiliencia de los servicios](#)).

Esta versión del PER analizará tanto la manera en que los servicios de GNSS son cada vez más resilientes (por ejemplo, los nuevos servicios de Galileo, también la autenticación) como la manera en que otras tecnologías podrían prestar servicios de PNT incluso en caso de perturbaciones de los GNSS.

5. **Los servicios de PNT son fundamentales para las aplicaciones emergentes y algunas tecnologías emergentes también ofrecerán servicios de PNT.**

Son ejemplos de las primeras el uso de **GNSS en el posicionamiento de multiconstelaciones de órbita terrestre baja (LEO)** (necesario para el control de la constelación) u [objetos espaciales](#) (indispensable para los sistemas de gestión del tráfico espacial) o la utilización de **GNSS para las precisiones de temporización** a nivel mundial en el rango de **submicrosegundos** en las tecnologías **5G y 6G**. Ejemplos del último caso son



las **constelaciones LEO destinadas a prestar servicios de PNT** y las futuras capacidades de las **redes 5G y 6G dirigidas a la prestación de servicios de PNT precisos**.

En esta versión del PER se examinará la tecnología emergente relacionada con los servicios de PNT.

6. **Autonomía estratégica en el ámbito de los servicios de PNT:** la autonomía estratégica es uno de los [objetivos políticos de la Unión Europea marcados por la Comisión Von der Leyen](#). La UE está tomando medidas para reforzar la autonomía estratégica europea en diversos ámbitos, como la [autonomía estratégica económica y financiera de la UE](#) o la [Brújula Estratégica para la Seguridad y la Defensa](#). La Brújula Estratégica aboga por la adopción, antes de finales de 2023, de una **Estrategia Espacial de la UE para la Seguridad y la Defensa**.
7. Por último, conviene destacar también el [Reglamento \(UE\) 2021/696 sobre el Programa Espacial de la Unión](#), que define los servicios de los sistemas europeos de radionavegación por satélite y las [prioridades de la Comisión Europea para 2019-2024](#), a las que los servicios de PNT y los GNSS en particular contribuyen en gran medida (por ejemplo, el Pacto Verde Europeo, una Europa Adaptada a la Era Digital).

## 1.2 Propósito del PER

Teniendo en cuenta la información contextual anterior, el propósito de esta edición del PER es:

1. **Proporcionar información pertinente sobre los sistemas y servicios de PNT**, su uso, sus prestaciones más habituales, los puntos fuertes, las debilidades, la evolución, las tendencias, los retos, las oportunidades, etc.  
La intención de esta versión del PER es proporcionar información sintética y resumida sobre los sistemas y servicios de PNT y remitir al lector a fuentes públicas para obtener información más detallada.
2. **Facilitar la adopción de los servicios de los GNSS europeos (Galileo y EGNOS):**
  - Proporcionando [información detallada sobre los servicios actuales y futuros de los EGNSS \(GNSS europeos\)](#) y el valor añadido que aportan con respecto a otros servicios de PNT/GNSS.
  - Recomendando, para cada sector, medidas que deben aplicarse a niveles de la UE para la adopción de los EGNSS en los diversos ámbitos del mercado (por ejemplo, legislación, normas).
3. Sensibilizar y recomendar medidas para **aumentar la resiliencia de los servicios de PNT en la UE**.

## 1.3 Alcance del PER

La presente edición del PER incluye en su alcance los siguientes aspectos:

1. Los sistemas y servicios de **PNT terrestres y espaciales** más relevantes, incluidos los que no están basados en las radiofrecuencias.
2. **El uso actual y la utilización futura prevista** de los sistemas y servicios de PNT.
3. **Los sistemas y servicios de PNT emergentes** (LEO, 5G, fusión de sensores, etc.) en la medida en que vayan a desempeñar un papel importante en el ámbito de PNT.

Queda excluida del alcance de esta versión del PER la descripción de los sistemas y tecnologías que no se utilicen principalmente para el posicionamiento, la navegación o la temporización, como, por ejemplo, los sistemas de vigilancia (por ejemplo, radares, cámaras).

## 1.4 Objetivos del PER

Teniendo en cuenta el contexto, el propósito y el alcance presentados en los apartados anteriores, esta versión del PER persigue los siguientes objetivos:

1. **Presentar los sistemas y servicios de PNT** y poner de relieve el importante papel que desempeñan en la sociedad, los **beneficios económicos** que generan y el **posible impacto de las perturbaciones en los sistemas y servicios de PNT** en caso de que se produzcan, en particular en las infraestructuras críticas.

2. Ofrecer una visión general de las **necesidades de los usuarios de PNT** en los distintos sectores del mercado.
3. Explicar los **retos de los sistemas y servicios de PNT/GNSS** y las **tendencias y oportunidades** de los servicios de PNT/GNSS.
4. Proporcionar una visión general de los principales **sistemas y servicios de PNT**, en particular, los sistemas **convencionales, emergentes** y basados en **GNSS**, junto con su uso actual y futuro y sus prestaciones más habituales, los puntos fuertes, las debilidades y la evolución. Proporcionar información sobre la **interoperabilidad y compatibilidad** de los sistemas y servicios de PNT.
5. Ofrecer una visión general de las **políticas internacionales** pertinentes en materia de PNT.
6. Presentar **información detallada sobre los servicios de los GNSS europeos** (Galileo y EGNOS), destacando su valor añadido con respecto a otros servicios de GNSS y haciendo mención a los futuros servicios previstos.
7. Explicar las **políticas de la Unión Europea** relacionadas con los sistemas y servicios de PNT, incluidas las actividades en curso para facilitar la introducción de los GNSS europeos en las políticas de la UE.
8. Recomendar, por sector de mercado y cuando proceda:
  - **Medidas para facilitar la introducción de los EGNSS**, en particular mediante reglamentos y normas.
  - **Medidas para aumentar la resiliencia de los servicios de PNT.**
9. Ofrecer una **visión a medio plazo** sobre cómo deben evolucionar los sistemas y servicios de PNT en la Unión Europea.

## 1.5 Estructura del PER

La presente versión del PER tiene la siguiente estructura:

- La sección 1 comprende la introducción e incluye el contexto, el propósito, el alcance, los objetivos y la estructura del documento.
- La sección 2 analiza el panorama de los sistemas y servicios de PNT, ocupándose de los objetivos 1 a 5, e incluye una introducción a los sistemas y servicios de PNT, su papel en la sociedad, los beneficios económicos, las necesidades de los usuarios de PNT por segmento de mercado, los retos, las tendencias y las oportunidades, la visión general de los principales sistemas y servicios de PNT, su interoperabilidad y compatibilidad y las principales políticas internacionales en materia de PNT.
- La sección 3 trata los sistemas y servicios de PNT de la UE, abordando los objetivos 6 a 8, e incluye el Programa Espacial de la Unión, los principales servicios prestados por los GNSS europeos Galileo y EGNOS y las políticas actuales de la UE en materia de PNT por segmento de mercado, junto con las medidas adicionales que facilitarían la adopción de los servicios de Galileo y EGNOS o aumentarían la resiliencia de los servicios de PNT. También incluye las actividades de cooperación de la UE en materia de GNSS.
- La sección 4 ofrece la visión a medio plazo de los sistemas y servicios de PNT de la UE, lo que cubre el objetivo 9.
- Los distintos apéndices proporcionan información detallada sobre los diversos aspectos descritos en el documento.

## 1.6 Observaciones sobre el PER

Toda observación sobre el PER es bienvenida y se tendrá en cuenta de cara a la próxima actualización del documento: <mailto:DEFIS-GNSS-ERNP@ec.europa.eu>.

## 2 PANORAMA DE LOS SISTEMAS Y SERVICIOS DE PNT

En esta sección se analiza el panorama de los sistemas y servicios de PNT y se abordan los objetivos 1 a 5 presentados en la sección [1.4](#). Permite al lector consultar información resumida de interés sobre los sistemas y servicios de PNT, las necesidades de los usuarios, los retos, las tendencias y las oportunidades, así como sobre las políticas internacionales en materia de PNT. Sienta las bases para la siguiente sección, en la que se examinarán los sistemas y servicios de PNT de la UE.

La sección:

- Presentará los sistemas y servicios de PNT (sección 2.1).
- Describirá el papel de los sistemas y servicios de PNT / GNSS en la sociedad (sección [2.2](#)).
- Evaluará los beneficios económicos de los sistemas y servicios de PNT / GNSS (sección [2.3](#)).
- Resumirá las necesidades de los usuarios por segmento de mercado (sección [2.4](#)).
- Describirá los retos en el ámbito de los sistemas y servicios de PNT / GNSS (sección [2.5](#)).
- Expondrá las tendencias y oportunidades de los sistemas y servicios de PNT / GNSS (sección [2.6](#)).
- Resumirá los principales sistemas y servicios de PNT (sección [2.7](#)).
- Describirá la importancia de la interoperabilidad y la compatibilidad (sección [2.8](#)).
- Resumirá las principales políticas internacionales en materia de PNT (sección [2.9](#)).

La sección tiene por objeto ofrecer una visión general de los temas mencionados, indicando al mismo tiempo las referencias públicas para consultar más información detallada.



## 2.1 Introducción a los sistemas y servicios de PNT

La sigla **PNT** (posicionamiento, navegación y temporización) describe una combinación de tres capacidades distintas pero integrales:

- El posicionamiento es la capacidad de determinar la ubicación y la orientación de un objeto en dos o tres dimensiones. Esta posición está referenciada con arreglo a un sistema de coordenadas local o, más habitualmente, mundial, como el Marco de Referencia Terrestre de Galileo (GTRF), el Marco de Referencia Terrestre Europeo (ETRF) o el Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF).
- La navegación es la capacidad de determinar una ruta entre la posición actual y la deseada (relativa o absoluta), así como de recorrer esta ruta aplicando correcciones en el rumbo, la orientación y la velocidad.
- La temporización es la capacidad de adquirir y mantener la hora, ya sea a nivel local o mundial (por ejemplo, tiempo universal coordinado o UTC). Esto incluye también el servicio de transferencia de tiempo y frecuencia.

La principal característica de los sistemas de PNT modernos es la capacidad de **determinar y mantener con exactitud tanto la posición como la hora en el marco de referencia mundial** (GTRF, ETRF, ITRF, etc., para la posición, y UTC para la hora) en cualquier lugar del mundo, teniendo en cuenta que los distintos sistemas de PNT tendrán diferentes alcances geográficos, desde el mundial hasta el regional y local.

A lo largo de todo el documento se utilizarán los siguientes conceptos clave:

- **Indicadores de rendimiento para el usuario** utilizados habitualmente al valorar el nivel de prestaciones de los servicios de PNT:
  - Disponibilidad: el porcentaje de tiempo que el usuario puede calcular la solución de posicionamiento, navegación o temporización. Los valores varían considerablemente en función de la aplicación y los servicios específicos utilizados, pero suelen oscilar entre el 95 y el 99,9 %.
  - Precisión: la diferencia entre la solución real ofrecida al usuario y la calculada (para la posición o el tiempo).
  - Integridad: el grado de confianza que puede concederse a la exactitud de la posición o estimación temporal proporcionadas por el receptor.
  - Continuidad: la capacidad de proporcionar las prestaciones requeridas durante una operación sin interrupción una vez iniciada la operación.
- **Otros indicadores de rendimiento pertinentes** para los receptores de PNT:
  - Time To First Fix (tiempo para fijar la posición por primera vez, TTFF): la medida del tiempo transcurrido entre la activación y el momento en que se obtiene una posición dentro de los límites de precisión requeridos.
  - Resistencia al spoofing y al jamming: parámetro cualitativo más que cuantitativo que depende del tipo de ataque o interferencia que el receptor puede mitigar.
  - Autenticación: la capacidad del sistema de garantizar a los usuarios que utilizan señales o datos procedentes de una fuente fiable, protegiendo así las aplicaciones sensibles frente a amenazas de spoofing.

## 2.2 Papel de los sistemas y servicios de PNT en la sociedad

Ante retos mundiales como la revolución digital, el cambio climático y las pandemias mundiales, la economía y la sociedad dependen más que nunca de soluciones innovadoras que puedan procesar macrodatos, mitigar las enfermedades y las catástrofes naturales y provocadas por el ser humano y reforzar la cadena de suministro mundial que sustenta nuestra vida cotidiana. Los **sistemas y servicios de PNT y los GNSS desempeñan un papel fundamental a la hora de contribuir a estas soluciones innovadoras** a través de miles de aplicaciones emergentes o que ya están siendo utilizadas por los ciudadanos, los Gobiernos, las organizaciones internacionales, las ONG, la industria, el mundo académico y los investigadores de todo el mundo (Agencia de la Unión Europea para el Programa Espacial: [Informe de mercado de la EUSPA sobre la observación de la Tierra y los GNSS de 2022](#)). La base total instalada de dispositivos de GNSS pasará de 6 500 millones de unidades en 2021 a 10 600 millones en 2031. El grueso de la base instalada está dominado por el segmento de las soluciones de consumo.

Aparte de estas fuerzas impulsadas por el mercado, la sostenibilidad medioambiental desempeña un papel importante. El **Pacto Verde Europeo** aspira a una sociedad resiliente al cambio climático en un momento en que algunas economías europeas siguen dependiendo en gran medida del carbón y los combustibles fósiles. Esta iniciativa se considera uno de los esfuerzos legislativos más trascendentales de la historia de la Unión Europea, que abarca todos los aspectos de la sociedad y la economía y todos los ámbitos políticos. Probablemente, el objetivo más conocido del Pacto Verde Europeo consiste en reducir a cero las emisiones netas de dióxido de carbono de aquí a 2050, y ya en un 55 % de aquí a 2030 (en comparación con los niveles de 1990). Si bien Europa ya ha reducido una cuarta parte de sus emisiones desde la década de 1990, esto sigue siendo insuficiente para alcanzar los objetivos declarados para 2030 y 2050. Los **datos y servicios espaciales de la UE contribuyen al Pacto Verde Europeo** a través del posicionamiento, la navegación y la temporización utilizados, por ejemplo, en la agricultura inteligente, así como para la reducción de las emisiones del transporte aéreo, marítimo y por carretera mediante la optimización de las rutas. Además, la UE proporciona financiación y apoyo a los empresarios que utilizan los datos de Copernicus y Galileo, lo que se traduce principalmente en la financiación de aplicaciones «ecológicas», al tiempo que se estimulan los mercados pertinentes.

Otro importante factor impulsor de nuestra sociedad es la **transformación digital** que Europa se ha marcado como objetivo para 2030. **La información espacial se perfila como un elemento integrador**, allanando el camino para una infraestructura digital común, abierta e innovadora, en lugar de un simple medio de localización de ubicaciones para aplicaciones. El análisis de macrodatos basado en la inteligencia artificial (IA) augura una revolución en el uso de datos obtenidos vía satélite para tareas entre las que se incluyen la cuantificación de la urbanización mundial, la nutrición de la población mundial y la gestión de los peligros naturales o las pandemias.

**El incremento del número de satélites y de frecuencias aportará multitud de ventajas.** La doble frecuencia ya es necesaria para los algoritmos basados en la fase portadora [corrección diferencial en tiempo real (RTK), posicionamiento puntual preciso (PPP) y PPP-RTK] y la frecuencia triple puede mejorar en mayor medida el rendimiento de los algoritmos de resolución de ambigüedades de fase por lo que respecta a la separación máxima de una estación de referencia (para RTK y RTK de red), la fiabilidad de la solución y el tiempo necesario para obtener y validar esta solución.

No obstante, los **ciberataques, como las interferencias de radiofrecuencia (RFI) de las señales de GNSS**, constituyen uno de los aspectos más importantes que deben tenerse en cuenta. Cada vez son más los incidentes de *jamming* de los GNSS notificados, la mayoría de ellos causados por los denominados «dispositivos de protección de la intimidad» (ilegales en la mayoría de los países). También están aumentando los incidentes relacionados con la práctica del *spoofing* de los GNSS, aunque con menor frecuencia. Los servicios de GNSS deben poder responder a estas amenazas incluyendo **capacidades de vigilancia y autenticación** como elemento necesario de la seguridad general de las aplicaciones, sin perjuicio de que se empleen otras técnicas.

Por último, es fundamental aproximarse a los servicios de PNT a través de la perspectiva del sistema de sistemas basado en la **«fusión de sensores»**, el paradigma de la conducción autónoma y otras aplicaciones exigentes, aumentando la integridad, disponibilidad y precisión del servicio. Se espera que en el futuro la evolución se produzca en el nivel de eficacia de las técnicas de fusión de sensores.

## 2.3 Beneficios económicos de los sistemas y servicios de PNT / GNSS

Los sistemas y servicios de PNT y los GNSS se han convertido en una herramienta ubicua para millones de personas en toda Europa. Muchos aspectos de nuestra vida cotidiana nos resultan más fáciles gracias a señales de GNSS invisibles procedentes del espacio: desde comprobar el estado del medio de transporte que cogemos diariamente a primera hora hasta ver nuestros programas de televisión favoritos antes de acostarnos.

El análisis de la EUSPA sobre los beneficios socioeconómicos proporcionados por los GNSS<sup>2</sup> muestra que el **beneficio económico total derivado de los GNSS asciende a 2 billones EUR** en el territorio europeo (definido como la Europa de los Veintisiete más el Reino Unido, Noruega y Suiza) durante el período de análisis (1999-2027). Además, durante el mismo período, se estimó que más de 100 000 puestos de trabajo altamente remunerados y cualificados en las industrias anteriores y posteriores también eran atribuibles a GNSS en Europa.

Los informes centrados en el [Reino Unido](#) y los [Estados Unidos](#) estiman tanto los beneficios económicos generados por los GNSS en la economía en cuestión como las pérdidas económicas previstas como consecuencia de indisponibilidad temporal de los GNSS. Respecto de las estimaciones de las pérdidas, el escenario contrafáctico pertinente en cada aplicación es la tecnología disponible para su despliegue inmediato en caso de indisponibilidad (y no frente a cualquier tecnología teóricamente viable, como en el caso de los beneficios), lo que significa que las estimaciones de pérdidas y de beneficios varían significativamente. Los resultados de los estudios del Reino Unido, los Estados Unidos y la UE se resumen en el cuadro siguiente.

*Cuadro 1. Resumen de las pérdidas y beneficios económicos notificados*

Focalización del estudio	Beneficios económicos (anuales)	Pérdidas económicas	Pérdidas económicas (diarias)
Reino Unido	6 700 millones GBP	5 200 millones GBP (cinco días)	1 000 millones GBP
EE. UU.	300 000 millones USD	30 300 millones USD (treinta días)	1 000 millones USD
Europa	69 000 millones EUR	No disponible	No disponible

Las discrepancias en los valores notificados sugieren que sería necesario un **análisis minucioso** de los Estados europeos **antes de ampliar o generalizar las conclusiones al contexto europeo**. Entre las diferencias importantes que deberían tenerse en cuenta conviene destacar las diferencias geográficas, como la densidad de población; las diferencias culturales que se reflejan en las actitudes de la población y en los marcos jurídicos; las diferencias en la metodología de estudio, como el alcance del análisis (es decir, los sectores económicos considerados o las constelaciones de satélites incluidas en el análisis) y la elección de escenarios contrafácticos; las diferencias en términos de infraestructura con implicaciones para la resiliencia o la tecnología disponible, y las diferencias temporales que repercuten en los efectos totales estimados y en los valores «diarios» promedio.

Es importante señalar que el [informe elaborado por RAND](#) sostiene que el **coste de la indisponibilidad de los GNSS podría estar sobrestimado**, posiblemente en órdenes de magnitud, ya que en muchas industrias ya existen sistemas de refuerzo operativos.

En resumen, y a pesar de las diferencias y opiniones señaladas anteriormente, podemos afirmar que los GNSS aportan **cada año cientos de miles de millones de euros a la riqueza** mundial, mientras que una interrupción de los GNSS durante unos pocos días podría conllevar una **pérdida económica** de hasta varios **miles de millones de euros al día** en todo el mundo.

<sup>2</sup> Para evaluar los beneficios económicos generados por los GNSS en Europa, el estudio comparó la calidad de los servicios propiciados por los GNSS con un escenario contrafáctico en el que, en su lugar, se había desarrollado la segunda mejor solución viable desde el punto de vista tecnológico. En muchos casos, estas soluciones hipotéticas no se han desarrollado realmente a la escala requerida, debido en gran parte al bajo coste, el alto rendimiento y la amplia disponibilidad de los GNSS.











## 2.4 Necesidades de los usuarios de servicios de PNT

Las necesidades de los usuarios de servicios de PNT se describen ampliamente en los [informes de la EUSPA sobre las necesidades y demandas de los usuarios](#). Estos informes incluyen una visión general del mercado, las tendencias, un análisis de las demandas de los usuarios y especificaciones para diversos segmentos del mercado.

Además, el [informe de mercado de la EUSPA sobre la observación de la Tierra y los GNSS de 2022](#) ofrece una descripción detallada del uso de los servicios de PNT / GNSS en diversos ámbitos del mercado y una visión general de las principales aplicaciones.

Existen otros documentos elaborados fuera de la UE que proporcionan información similar, como el [informe de los Estados Unidos sobre los beneficios económicos del sistema de posicionamiento global \(GPS\)](#) y el [Plan Federal de Radionavegación de los Estados Unidos](#).

[Gráfico 1](#) ofrece una visión general del papel y las tendencias de los GNSS en diversos segmentos del mercado.

	<b>Agriculture</b> – New technologies are pushing the Agriculture sector to new frontiers. GNSS is considered a key driver and enabler for these evolutions, ranging from traditional farming applications to Internet-of-Things, blockchain, Agri-fin tech and value chain management. GNSS-enabled livestock wearables are emerging as an exciting trend which is improving animal welfare.
	<b>Aviation and Drones</b> – Global air traffic took a huge hit due to COVID-19 – airlines responded with consolidation of fleets, and older aircraft prioritised for retirement. Meanwhile, standards evolution in navigation and surveillance presses ahead, enhanced by growing demand from increasingly sophisticated drone operations.
	<b>Biodiversity, Ecosystems and Natural Capital</b> – In the domain of biodiversity, ecosystems and natural capital, GNSS-beacons are used to geo-locate animals for the purposes of monitoring migrations, habitats, and behaviours. These are becoming more accurate and additional biodiversity applications are emerging (e.g. botanical mapping).
	<b>Climate Services</b> – GNSS has limited but important application in the climate services domain. The technology supports a range of geodetic applications that measure properties of the earth (magnetic field, atmosphere) with direct impact on the Earth's climate. GNSS is expected to have an increasing role in the growing market of climate modelling.
	<b>Consumer Solutions, Tourism and Health</b> – GNSS finds increasing use in facilitating our daily lives. From context-aware apps monitoring peak visit times to contactless deliveries and personal fitness apps (powered by wearable devices), navigation and positioning information plays a vital role.
	<b>Emergency Management and Humanitarian Aid</b> – Estimated to save 2,000 lives a year, the new MEOSAR system of the GNSS-based COSPAS-SARSAT programme relies on the proper use of GNSS-enabled Search and Rescue beacons. On the field, GNSS is a valuable tool to coordinate emergency response and humanitarian aid.
	<b>Energy and Raw Materials</b> – Monitoring and management of electricity utility grids heavily rely on GNSS timing and synchronisation, allowing the balance supply and demand and ensuring safe operations. In the domain of raw materials, the increased uptake of augmented GNSS supports site selection, planning and monitoring, as well as mining surveillance activities and mining machinery guidance.
	<b>Fisheries and Aquaculture</b> – GNSS plays a vital role for the efficient and effective monitoring of fisheries activities through applications such as VMS and AIS. As the focus on the sustainability of these activities grows, agriculture lands diminish and food demand rises, GNSS applications are themselves seeing higher demand.



**Forestry** – GNSS is becoming an extremely valuable tool in monitoring and maintaining the sustainability of our forests. Besides precision forestry management, a key emerging trend is the use of GNSS-enabled UAVs and tracking devices help ensure the health of our trees and the efficiency of our timber supply chains.



**Infrastructure** – GNSS contributes to the proper functioning of Infrastructures operations. It allows a safe and on-time completion of construction work through the provision of high accuracy services and supports the synchronisation of telecommunication networks. With the transition towards 5G, the GNSS Timing & Synchronisation function is expected to play an increasingly critical role in telecommunication network operations.



**Insurance and Finance** – The financial world relies on GNSS timing and synchronisation for the accurate timestamping of financial transactions. Insurers, on the other hand, are turning towards GNSS-enabled UAVs for a more accurate and faster claim assessment.



**Maritime and Inland Waterways** – GNSS has shown its versatility providing data insights to monitor global shipping and port activities during the pandemic. Looking to the future, with automation and 5G expected to bring technological advancements in ports, GNSS will continue expanding its role beyond merely providing navigation information.



**Rail** – GNSS is becoming one of the cornerstones for non-safety related applications (e.g. asset management), whilst future adoption of GNSS for safety-related applications, including Enhanced Command & Control Systems, is expected to increase railway network capacity, decrease operational costs and foster new train operations. Thanks to GNSS taking part in digitalisation, Rail is becoming safer, more efficient and more attractive.



**Road and Automotive** – Despite the global slowdown of car production and sales, regulation for safer and autonomous vehicles is on track, with GNSS doubtless playing a key role. With In Vehicle Systems remaining the dominant source of Positioning, Navigation and Timing, it is moreover clear that public transport is increasingly adopting GNSS to improve its services.



**Space** – From using real-time GNSS data for absolute and relative spacecraft navigation, to deriving Earth Observation measurements from it, GNSS has also proven its worth for in-space applications. Driven by the NewSpace paradigm, the diversification and proliferation of space users leads to an increasing need for spaceborne GNSS-based solutions.



**Urban Development and Cultural Heritage** – In this field, GNSS-based solutions are used, in conjunction with EO, to accurately survey and map urban areas and to build advanced 3D models of the built environment. With more than 56% of the population already living in urban areas and this number expected to increase, digital solutions powered by GNSS will be needed more than ever support sustainable growth.

Gráfico 1. Papel y principales tendencias de los GNSS entre mercados (Fuente: [Informe de mercado de la EUSPA sobre la observación de la Tierra y los GNSS de 2022](#))

## 2.5 Retos en el ámbito de los sistemas y servicios de PNT / GNSS

Las **señales de GNSS**, que se reciben con un nivel de potencia muy bajo, son **vulnerables** a las interferencias de radiofrecuencia (RFI) y a fenómenos naturales (por ejemplo, centelleo ionosférico) que pueden provocar perturbaciones en los servicios de GNSS. En el caso de las interferencias de origen antropogénico, estas pueden ser **deliberados** (ataques mediante **jamming y spoofing**) o **involuntarios** (emisiones espurias de otros dispositivos radioeléctricos, propagación por trayectos múltiples de los GNSS).

Aunque actualmente están comúnmente aceptadas las vulnerabilidades de los GNSS, la **confianza** de los sistemas o aplicaciones basados en PNT va más allá de los GNSS y debe abarcar la **aplicación de extremo a extremo**, que solo es tan segura como su componente más débil. El GNSS no es necesariamente la parte más fácil de atacar para un agente malicioso: podría resultar más fácil o más barato piratear la salida de un receptor para comunicar posiciones falsas que suplantar las señales de GNSS entrantes. Esta es, por ejemplo, la forma en que el sistema marítimo de identificación automática (AIS) comunica las posiciones a miles de km de la posición real del buque, algo que a día de hoy está fuera del alcance de ataques mediante *spoofing*.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones publicó en julio de 2022 la [Carta Circular CR/488](#) para la prevención de la interferencia perjudicial a los receptores del servicio de radionavegación por satélite. La [Resolución A41-8C de la Asamblea de la Organización de Aviación Civil Internacional \(OACI\)](#) anima a los Estados a que adopten medidas para garantizar la resiliencia de los sistemas y servicios de comunicación, navegación, vigilancia/gestión del tránsito aéreo (CNS/ATM), invita a la OACI a obtener servicios de determinación de la posición y temporización más resilientes y alienta a los organismos normativos y a la industria a desarrollar capacidades apropiadas de detección, mitigación y notificación de interferencias a bordo de la aeronave, componentes del sistema CNS satelitales y basados en tierra.

La [Directiva 2014/53/UE sobre equipos radioeléctricos](#) establece los requisitos esenciales que deben cumplir los dispositivos basados en servicios de PNT para poder introducirse en el mercado de la UE. Esta Directiva es el acto jurídico de la UE que obliga a los fabricantes de equipos radioeléctricos, incluidos los transmisores y receptores de GNSS, a hacer un uso eficiente del espectro radioeléctrico. En otras palabras, los productos conformes con la Directiva evitan la producción de interferencias perjudiciales, que constituyen los elementos que pueden afectar a los servicios de radionavegación. El uso de normas armonizadas en apoyo de la Directiva sobre equipos radioeléctricos desarrolladas por las [organizaciones europeas de normalización](#) supone una presunción de conformidad con los requisitos legales.

Además de las medidas establecidas en las normas armonizadas que reflejan el estado actual de la tecnología, a día de hoy existen varias medidas que pueden utilizarse para [proteger a los GNSS frente al jamming y el spoofing](#):

- **Garantizar un entorno radioeléctrico limpio** y el uso de bandas de frecuencia asignadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones es el primer nivel de protección para los usuarios de GNSS.
- **Autenticar las señales de GNSS:** la autenticación de GNSS se consigue incorporando características específicas que los agentes maliciosos no pueden predecir o falsificar en las señales de radiodifusión. Un receptor habilitado para la autenticación puede interpretar estas características para distinguir las señales auténticas de las imitaciones. Este proceso puede llevarse a cabo en dos niveles complementarios: a nivel de los datos, para autenticar los mensajes de navegación emitidos, y a nivel de alcance, para autenticar las distancias medidas a los satélites.
- **Utilizar múltiples fuentes de información de posicionamiento** para cotejar la solución con mediciones independientes. Esto puede hacerse utilizando constelaciones múltiples y posiblemente frecuencias múltiples o complementando la solución de GNSS con otras tecnologías (por ejemplo, los teléfonos inteligentes suelen contener numerosos sensores que pueden utilizarse para proporcionar información redundante sobre posicionamiento o movimiento).
- **Utilizar una configuración de antena mejor:** las antenas adaptables (CRPA) pueden ser una herramienta muy eficaz contra el *jamming* e incluso las configuraciones más sencillas (dos antenas) pueden proporcionar información sobre la dirección de llegada, lo que resulta muy útil para detectar la entrada de señales que están suplantando otras.

- **Aplicar técnicas específicas para el receptor:** por ejemplo, las basadas en el seguimiento de la potencia de la señal o la relación portadora/densidad de ruido (C/N0), la discriminación en función del tiempo de llegada, los controles de distribución de las salidas de los correladores y los controles de coherencia entre diferentes mediciones, como los datos de las efemérides, la modificación del desfase del reloj o Dopplers de códigos y portadoras.
- **Aplicar técnicas de control de la calidad de las señales:** diseñadas originalmente para la detección del multitrayecto y el control de la deformación de una forma de onda, pueden utilizarse para detectar la deformación de la función de correlación de los ataques mediante *spoofing* más habituales. El reto de la detección y el rechazo de estos ataques es discriminar entre las señales verdaderas y las señales no deseadas. La detección del multitrayecto tiene el mismo objetivo, por lo que se proponen técnicas similares.

En los últimos tiempos han surgido enfoques innovadores del proceso de correlación, como el «Supercorrelador», que reivindican la capacidad de separar las señales de visibilidad directa y las señales de visibilidad indirecta durante el proceso de correlación, proporcionando mitigación multitrayecto, defensa frente al *spoofing* y determinación del ángulo de llegada de la señal. Estos métodos, a pesar de su gran potencia, actualmente solo se aplican en receptores sofisticados de alta calidad, pero **no están ampliamente disponibles en otros conjuntos de chips de GNSS**.

Como consecuencia de la baja potencia de las señales de GNSS, la mayoría de las soluciones de GNSS no están disponibles en algunos entornos, como en interiores, zonas subterráneas o cañones urbanos. En estos entornos se utiliza una combinación de tecnologías (por ejemplo, **hibridación de GNSS o fusión de sensores**) para lograr el buen funcionamiento de los servicios de PNT.

La **penetración en interiores**, junto con una alta disponibilidad, un bajo consumo de electricidad y un tiempo para fijar la posición por primera vez («Time To First Fix» o TTFF) reducido son los requisitos clave para el mercado de gran volumen (por ejemplo, soluciones de consumo, internet de las cosas, soluciones automovilísticas, drones, robótica).

Puede consultar más información en el [informe de mercado de la EUSPA de 2022](#) y en el [informe sobre la tecnología de la EUSPA](#).



## 2.6 Tendencias y oportunidades

Se observan las siguientes tendencias en los servicios de PNT y GNSS:

### 1. La nueva norma es la multiconstelación y la multifrecuencia

Los cuatro sistemas mundiales [GPS (Estados Unidos), Galileo (UE), GLONASS (Rusia) y BeiDou (China)], los sistemas regionales [QZSS (Japón) e IRNSS (India)] y los diversos sistemas de aumentación basados en satélites (SBAS) (Estados Unidos, UE, etc.) están formados por **más de 100 satélites**, que gracias a la coordinación internacional tienen señales abiertas, planes de frecuencias compatibles, sistemas comunes de acceso múltiple (con GLONASS que añade CDMA a su sistema FDMA legado) y sistemas de modulación (por ejemplo, Galileo E1 y GPS L1C). Esto facilita el diseño de conjuntos de chips y receptores de GNSS multiconstelación, en beneficio de los usuarios finales.

Por otro lado, todas las constelaciones mundiales y regionales emiten **señales abiertas en múltiples bandas de frecuencias comunes** y los SBAS las emularán con planes para modernizar los servicios con múltiples frecuencias y constelaciones múltiples en los próximos años.

Además de las señales abiertas interoperables de referencia, cada constelación mundial/regional presta servicios específicos a través de señales y frecuencias específicas. Este es el caso de los servicios gubernamentales como el servicio público regulado (PRS) de Galileo o el servicio de posicionamiento preciso (PPS) del GPS, así como los servicios de valor añadido [por ejemplo, el servicio de alta precisión (HAS) de Galileo, la señal L6 del QZSS o el servicio de mensajería corta de BeiDou].

Los **receptores de doble frecuencia** ofrecen ventajas significativas frente a los receptores monofrecuencia por lo que respecta a la precisión que pueden alcanzar, pero también en términos de mayor resistencia a las interferencias (debido a la diversidad de frecuencias). Históricamente, el uso de la doble frecuencia se ha limitado durante muchos años a los usuarios profesionales o gubernamentales y a los receptores L1 + L2, de precio elevado. La llegada de cuatro constelaciones de GNSS completas que proporcionan señales abiertas de alta calidad en la banda de frecuencias E5 ha marcado un punto de inflexión y ha impulsado la disponibilidad generalizada de conjuntos de chips de doble frecuencia E1 + E5 para el mercado de masas.

### 2. Los receptores, los métodos de procesamiento y las antenas evolucionan continuamente para mejorar sus prestaciones

La evolución del diseño de los receptores se ha visto propiciada por los **avances tecnológicos** en la **industria de los semiconductores**, incluido el **aumento de la potencia de procesamiento** para favorecer la existencia de más canales de GNSS, y el desarrollo de **sensores de bajo coste**, que permite un acoplamiento más estrecho con diferentes tecnologías y llevar el posicionamiento a lugares sin acceso a los GNSS. Al mismo tiempo, las presiones del mercado empujan al aumento de la precisión, a un mejor rendimiento en todos los entornos, a una reducción del TTFF y a la resistencia frente al *jamming* o al *spoofing*.

Los errores de los GNSS suelen reducirse mediante dos métodos de modelización: la representación del espacio de observación (OSR) ofrece una única corrección de alcance compuesto, tal como se observa en una estación de referencia cercana (real o virtual), mientras que en el método de la representación del espacio de estados (SSR), las distintas fuentes de error son estimadas por separado por una red de estaciones de referencia en funcionamiento continuo (CORS) antes de su envío al receptor. Algunos parámetros (por ejemplo, los retrasos ambientales para el PPP) se estiman dentro del receptor y no a partir de las redes de CORS. El método PPP-RTK combina elementos de ambos métodos y proporciona una precisión modulable a todos los segmentos de usuarios, desde el mercado de masas hasta el de alta precisión. La **aparición de aplicaciones de alta precisión en el mercado de masas** muestra un gran potencial de utilización generalizada de PPP-RTK.

Los dispositivos geolocalizados del internet de las cosas requieren la disponibilidad de fijaciones de la posición con un consumo de energía muy bajo. Por este motivo, en los últimos años ha habido un interés especial por **reducir significativamente el consumo de energía por el uso de GNSS**, lo que ha dado lugar a rápidos avances en la tecnología de los receptores (con un consumo inferior a 10 mW en modo de seguimiento continuo a 1 Hz) y al uso de varias técnicas innovadoras. Esto incluye soluciones maduras como

el GNSS asistido o las previsiones sobre las efemérides a largo plazo, así como nuevos enfoques híbridos que aprovechan la conectividad intrínseca de la internet de las cosas.

**Las antenas son una parte esencial del diseño de cualquier receptor.** Ni los mejores conjuntos de chips ni el procesamiento de señales más sofisticado pueden compensar las bajas prestaciones de una antena. Si bien hace tiempo que los segmentos de alta precisión conceden a las antenas la importancia que merecen, otros segmentos, incluido el mercado de masas, solo han empezado a ocuparse de lleno de esta cuestión ahora. De hecho, la disponibilidad generalizada de receptores bifrecuencia abre nuevas posibilidades, pero las antenas son un factor que limita el rendimiento global.

### 3. La 5G/6G permite una conectividad ubicua y puede contribuir al posicionamiento

La **tecnología móvil** ha evolucionado históricamente pasando de una plataforma interpersonal (3G) a una conectividad de las personas a la información (4G). La **5G** es el primer sistema móvil diseñado para conectarlo todo. Se prevé que la 5G propicie el despliegue de un ecosistema masivo del internet de las cosas y aplicaciones de comunicaciones críticas, en el que las redes puedan satisfacer las necesidades de comunicación de miles de millones de dispositivos conectados, con el equilibrio adecuado entre la velocidad, la latencia y el coste. Por su parte, se espera que la **6G**, actualmente en fase de desarrollo, favorezca la existencia de aplicaciones que trasciendan los escenarios actuales de uso móvil, como la realidad virtual y aumentada, las comunicaciones instantáneas ubicuas, la inteligencia pervasiva y la evolución del internet de las cosas.

A diferencia de las generaciones anteriores de redes radioeléctricas, en las que el posicionamiento era solo una función adicional, en el caso de las redes de radiocomunicaciones móviles **5G el posicionamiento se considera parte integrante del sistema** y desempeñará un papel clave, permitiendo una amplia gama de servicios y aplicaciones basados en la localización. Una de las tecnologías clave destacadas del posicionamiento 5G son las señales de banda ancha en el rango de frecuencias 2, que consiste en las frecuencias operativas asignadas a la 5G en la región de la banda milimétrica (por encima de 24 GHz). Estas señales de espectro ancho (de hasta 500 MHz de ancho de banda) son adecuadas para una mejor resolución del tiempo, pero también para una formación de haz digital precisa, lo que a su vez permite estimar con gran precisión el tiempo de llegada y la dirección de llegada, especialmente en condiciones de visibilidad directa. La infraestructura 5G independiente también puede actuar como fuente alternativa de PNT, siempre que la infraestructura no dependa de un GNSS.

Se espera que **complementar el GNSS Europeo con la 5G** sea el núcleo de los futuros motores de ubicación para muchas aplicaciones en los ámbitos de los servicios basados en la localización (LBS) y del internet de las cosas, con unas prestaciones respecto de la localización significativamente mejor en las ciudades. Gracias a las conexiones inalámbricas a prueba de fallos, velocidades de datos más rápidas y una amplia capacidad de datos, la 5G puede proporcionar la columna vertebral de conectividad necesaria para permitir el **posicionamiento cooperativo**, así como el funcionamiento seguro de los vehículos sin conductor, los drones, los robots móviles y, de manera más general, el mundo de los objetos autónomos.

En el futuro, el objetivo de la **6G** será lograr una **precisión de posicionamiento centimétrica** gracias al uso de superficies reflectantes inteligentes, conjuntos masivos de antenas y la formación de haz avanzada, lo que será de utilidad para aplicaciones como la entrega a través de drones, el seguimiento de activos, el seguimiento de la asistencia sanitaria, la agricultura de precisión y los vehículos autónomos.

Puede consultar más información detallada en el [informe sobre la tecnología de usuario de GNSS de la EUSPA](#).



## 2.7 Sistemas y servicios de PNT

Históricamente, los **sistemas convencionales de PNT**, basados en infraestructuras terrestres, han desempeñado un papel clave en la mejora y el refuerzo de los servicios de PNT, tanto en combinación con un GNSS como de manera independiente. Existen diferentes sistemas convencionales y todos ellos utilizan diferentes principios físicos para cumplir una finalidad específica, siendo la principal proporcionar una solución precisa y fiable de posicionamiento y temporización que permita navegar de un punto en el espacio a otro de manera segura, determinando la posición y proporcionando información derivada, como la velocidad y el rumbo, para llegar al destino deseado.

Hoy en día, los **sistemas y servicios de PNT** modernos **son facilitados por los GNSS** gracias a su capacidad para mantener la posición y el tiempo a escala mundial con un nivel de prestaciones incomparable. La disponibilidad de los servicios de GNSS está cambiando a un ritmo muy rápido y seguirá haciéndolo a corto y medio plazo. En los últimos años se han declarado operativos cuatro GNSS (GPS, GLONASS, Galileo y BeiDou) para prestar servicios mundiales de PNT con capacidades multifrecuencia. Además, los sistemas de aumentación terrestres y espaciales mejoran el rendimiento de las señales de GNSS para usuarios específicos y, por lo general, a nivel regional o local.

Este amplio abanico de servicios de GNSS interoperables permitirá **racionalizar** e incluso **desmantelar** los **sistemas de PNT terrestres convencionales**, lo que generará un ahorro de costes de mantenimiento y explotación y la racionalización del espectro electromagnético. Para determinadas aplicaciones críticas, como los sectores de la aviación, la electricidad o el bancario o los servicios de emergencias civiles, seguirá siendo necesaria una infraestructura de navegación de reserva para proporcionar una capacidad básica de orientación en caso de avería o interrupción del GNSS.

Sin embargo, y a pesar de su rotundo éxito, los servicios de GNSS también presentan ciertos puntos débiles relacionados principalmente con la facilidad para interferir en las señales de baja potencia. Esta circunstancia hace necesaria la existencia de sistemas y servicios de **PNT alternativos** capaces de proporcionar capacidades de PNT independientemente de un GNSS (normalmente con un rendimiento menor). Además, los servicios de PNT alternativos también pueden complementar los servicios de GNSS cuando no se disponga de señales de GNSS (por ejemplo, en espacios interiores o subterráneos) gracias a una mayor potencia de las señales. La combinación de servicios de GNSS y de PNT alternativos permite contar con unos **servicios de PNT resilientes**, es decir, con unos servicios de PNT que siguen funcionando incluso en caso de pérdida de los servicios de GNSS o en entornos en los que no las soluciones de GNSS no están disponibles.

Los servicios de PNT alternativos pueden ser prestados por sistemas de PNT convencionales o por los denominados **sistemas de PNT emergentes o de nueva generación**, que prestan servicios de PNT que normalmente tienen un rendimiento inferior al de los basados en un GNSS, una cobertura limitada o un coste mayor.

### 2.7.1 Visión general de los sistemas de PNT

Todos los sistemas de PNT tienen como objetivo principal proporcionar **información precisa y fiable sobre la posición y la temporización** que permita al dispositivo del usuario obtener su ubicación o navegar de un punto a otro, o sincronizarse con una referencia temporal. Dependiendo de la tecnología y la naturaleza de los diferentes sistemas de PNT, su idoneidad para proporcionar información sobre el posicionamiento, la navegación o la temporización a una aplicación específica puede variar. El [Gráfico 2](#) ofrece una visión general de los diferentes sistemas de PNT, clasificados como **GNSS, convencionales y tecnologías emergentes**. La idoneidad se muestra por colores, proporcionando una indicación del comportamiento de cada sistema, en función de varios factores, como su rendimiento o la viabilidad de su despliegue. Cuando un sistema no incorpora determinada funcionalidad, se indica con la mención «N/A». Esto ayuda a determinar qué sistemas de PNT podrían ser más idóneos para un entorno o aplicación concretos, teniendo en cuenta que esta visión general no tiene en cuenta otros criterios como el rango geográfico, la vulnerabilidad a la meteorología espacial o el coste. Estos sistemas de PNT se describirán en las secciones siguientes y se facilitará información más detallada en [APÉNDICE A: sistemas de PNT](#).

	SISTEMAS	Posición y navegación		Entorno		Seguridad de la vida humana (aviación, sector infraestructuras críticas (energía, telecomunicación))		Nivel de madurez tecnológica	OBSERVACIONES
		Sistema de PNT	Temporización	En el exterior	En interiores y espacios subterráneos	En el exterior	En interiores y espacios subterráneos		
GNSS	Cobertura mundial							9	Cuatro constelaciones mundiales disponibles
	Cobertura regional							9	Dos constelaciones regionales disponibles en Japón y la India
	Aumentación por satélite (SBAS)							9	Múltiples sistemas SBAS en servicio o en desarrollo a escala mundial Actualmente no se facilita información sobre la integridad temporal
CONVENCIONALES	NAVAIDS para aviación (VOR, DME, ILS, TACAN)		--				--	9	Algunos formarán parte de la red operativa mínima (MON)
	LORAN-C							9	Aparte de China y Rusia, ya no está en servicio
	eLORAN y eLORAN diferencial							9	Ya desmantelado en la UE y los EE. UU.
	Distribución de tiempo de onda larga	--					--	9	La precisión de la señal es limitada y se requieren antenas específicas
	Relojes atómicos	--					--	9	Precisión de temporización adecuada para las infraestructuras críticas
TECNOLOGÍAS EMERGENTES	White Rabbit							9	Requiere una conexión de fibra ininterrumpida
	Distribución de tiempo a través de redes informáticas	--					--	9	Precisión de la temporización de las redes específicas.
	Pseudolitos							9	Solo terrestre
	5G y redes celulares							7	Tecnología de comunicación que también puede proporcionar PNT
	Modo R							5	Sector marítimo, utilizando la infraestructura existente ligeramente modificada
	Navegación basada en imágenes		--				--	6	Múltiples tecnologías, dependientes del <i>hardware</i>
	Navegación basada en teléfonos móviles							9	Tecnología basada en el sistema operativo, requiere conexión a internet
	Navegación a estima e IMU		--				--	9	Sistema pasivo, propenso a la deriva, a menos que se combine con otros sensores
	Mapas medioambientales		--				--	7	Sistema pasivo, requiere información cartografiada previamente
	Órbita terrestre baja (LEO)							8	Redes emergentes de banda ancha a bordo de vehículos espaciales
Tecnologías cuánticas (relojes e IMU)							4	Nuevo enfoque del <i>hardware</i> de navegación y temporización	
Servicios de PNT mediante pulsares							3	PN para el espacio lejano, propuesto como una nueva escala de tiempo para la Tierra	

-- N/A      Idoneidad BAJA      Idoneidad ALTA  
 Idoneidad MEDIA      Potencialmente (en fase de evaluación/desarrollo)

Nota: el color del nivel de madurez tecnológica (TRL) indica un intervalo que va desde la madurez MÁS BAJA en rojo hasta la MÁS ALTA en verde

Gráfico 2. Visión general de los sistemas de PNT clasificados como GNSS, convencionales y emergentes

Gráfico 3 ofrece una visión general de los sistemas de PNT cuando se clasifican como sistemas espaciales y terrestres:

- Los sistemas de **PNT espaciales** incluyen las constelaciones de satélites en órbita terrestre media (MEO) que prestan servicios de GNSS (sección 5.1), los satélites en órbita geoestacionaria (GEO) que proporcionan augmentación mediante GNSS (sección 5.1.3.1) y también las megaconstelaciones emergentes de satélites en órbita terrestre baja (LEO) (sección 5.3.10).
- Los sistemas de **PNT terrestres** comprenden los sistemas de PNT convencionales, tales como las ayudas a la navegación para el transporte aéreo y marítimo o los relojes atómicos (sección 5.2), los sistemas de augmentación mediante GNSS como los sistemas diferenciales o PPP (sección 5.1.3.2) y las tecnologías emergentes como la 5G o los mapas ambientales cuánticos (sección 5.3).

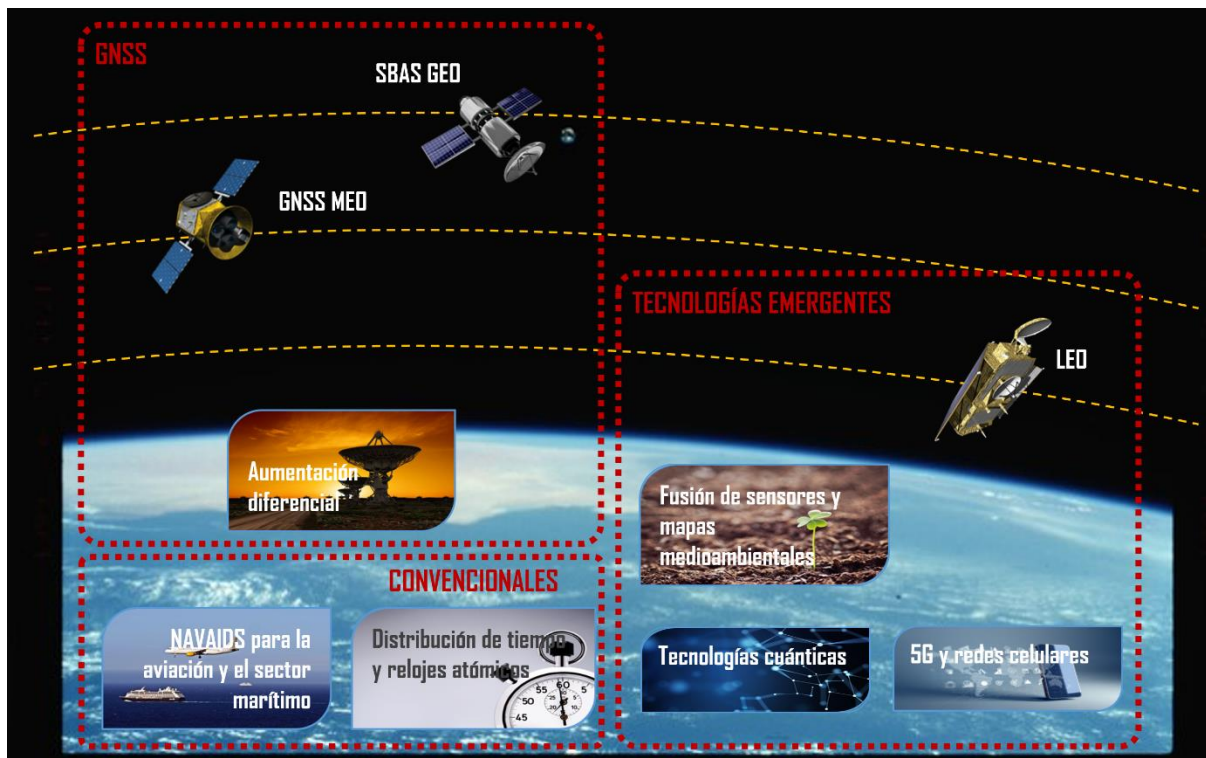


Gráfico 3. Clasificación de los sistemas de PNT en función de que sean espaciales o terrestres

## 2.7.2 Sistemas mundiales de navegación por satélite (GNSS) y aumentación

Un **sistema mundial de navegación por satélite (GNSS)** es una infraestructura de PNT que permite a los usuarios con un receptor compatible procesar señales procedentes de satélites y determinar la posición, la velocidad y la hora. En función de su cobertura, cabe distinguir entre:

- **Sistemas de navegación por satélite con cobertura mundial:** Galileo (UE), GPS (EE. UU.), BeiDou (China), GLONASS (Rusia).
- **Sistemas de navegación por satélite con cobertura regional:** QZSS (Japón), IRNSS (India).

El nivel de prestaciones del GNSS puede mejorarse mediante **sistemas de aumentación**, que pueden clasificarse en tres categorías:

- **Espaciales:** aquellos en los que las correcciones del GNSS se transmiten a los usuarios a través de satélites y que proporcionan información de aumentación sobre un *área amplia* (es decir, a escala continental).

Un tipo de estos sistemas son los **sistemas de aumentación basados en satélites (SBAS)** que prestan servicios para la aviación. En la actualidad existen los siguientes: EGNOS (UE), WAAS (EE. UU.), MSAS (Japón), GAGAN (India), KASS (Corea del Sur), ANGA (África Central), SouthPAN (Australia y Nueva Zelanda), BDSBAS (China) y SDCM (Rusia).

Otro tipo de estos sistemas son los sistemas de **posicionamiento puntual preciso (PPP)**, que permiten conseguir una precisión de posicionamiento centimétrica en tiempo real mediante la emisión de correcciones de GNSS para un modelo de errores satelitales de GNSS. Suele ser necesario esperar decenas de minutos hasta que el PPP calcula con exactitud la posición final.

- **Terrestres:** aquellos en los que las correcciones del GNSS se transmiten a los usuarios por medios terrestres (estaciones terrestres o internet). Normalmente proporcionan información de aumentación sobre un «área local» (es decir, decenas de km), pero algunos también facilitan información sobre un área amplia a través de internet (es decir, PPP).

Algunos ejemplos de sistemas de «área local» son:

- Los **sistemas de aumentación basados en tierra (GBAS)** que proporcionan servicios para la aviación con información de aumentación, también por lo que respecta a la integridad (véase la sección [2.1](#)).
- Los **GNSS diferenciales (DGNS)** con información de aumentación destinada a mejorar la precisión de la posición del usuario y que se basa en el procesamiento de las mediciones de código del GNSS.
- La **corrección diferencial en tiempo real (RTK)**, que permite obtener una precisión de posicionamiento centimétrica en tiempo real en pocos segundos gracias al procesamiento de las mediciones de fase del GNSS.

Por último, intentando combinar lo mejor de la RTK y del PPP, en los últimos años han aparecido sistemas **PPP-RTK** que combinan los tiempos de inicialización rápida de la RTK con el alcance de área amplia del PPP.

- **Basados en el receptor:** aquellos en los que el **receptor del usuario** incorpora información de aumentación procedente de sensores de navegación. Un ejemplo de estos sistemas son los sistemas de aumentación basados en la aeronave (ABAS), entre los cuales destaca la técnica generalizada de la vigilancia autónoma de la integridad en el receptor (RAIM).

Puede consultar información detallada sobre la diversidad de prácticas de aumentación y GNSS en el [APÉNDICE A: sistemas de PNT](#), mientras que los servicios de Galileo y EGNOS se analizarán en profundidad en las secciones [3.2](#) y [3.3](#), respectivamente.

Los gráficos que se incluyen a continuación ofrecen una visión general de los actuales GNSS y SBAS con algunas de sus principales características y el cronograma correspondiente.

		Sistema	Proveedor	Señal	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
SISTEMAS DE NAVEGACIÓN POR SATÉLITE	COBERTURA MUNDIAL	Galileo		E1 E5 E6	FOC - 24 SV + satélites de reserva											
		GPS		L1 L1C L2 L2C L5	FOC — alrededor de 30 SV											
		BeiDou		B1 B2 B3	FOC - 44 SV											
		GLONASS		L1 FDMA L1 CDMA L2 FDMA L2 CDMA L3 CDMA L5 CDMA	FOC - 22 SV											
	COBERTURA REGIONAL	QZSS		L1C/A L1C L2C L5	4 SV											
		IRNSS		L1 L5 Banda S	FOC - 7 SV											
	SISTEMAS DE AUMENTACIÓN BASADOS EN SATÉLITES (SBAS)	COBERTURA REGIONAL	EGNOS		L1 L5	2 GEO (en ruta, terminal, NPA, APV-I, CAT I)										
			WAAS		L1 L5	2 GEO (en ruta, terminal, NPA, APV-I, CAT I)										
			MSAS		L1 L5	1 GEO - 1 GEO - QZSS (en ruta, NPA) 2 GEO - QZS (en ruta, terminal, NPA, APV-I, CAT I)										
			GAGAN		L1 L5	2 GEO - GSAT8 y GSAT10 (en ruta, terminal, NPA, APV-I)										
KASS				L1 L5	2 GEO (en ruta, terminal, NPA, APV-I)											
ANGA				L1 L5	2 GEO (en ruta, terminal, NPA, APV-I, CAT I)											
SouthPAN				L1 L5	2 GEO (en ruta, terminal, NPA, APV-I)											
BDSBAS				B1C B2a	2 GEO (en ruta, terminal, NPA, APV-I, CAT I)											
SDCM				L1 L5	N/A											

- Sistema FUERA de servicio
- Sistema en desarrollo/despliegue
- Sistema con capacidad operativa completa (FOC), con indicación del número de satélites operativos (SV) y fases de vuelo

Gráfico 4. Visión general de los GNSS

### 2.7.3 Sistemas de PNT convencionales

Los sistemas de PNT convencionales llevan muchos años en funcionamiento y están compuestos principalmente por infraestructuras terrestres como antenas, instalaciones de apoyo, estaciones de seguimiento y centros de control. Los sistemas de PNT convencionales presentan las siguientes características:

- **Bandas de frecuencia y potencia específicas** que confieren las principales características del servicio, incluido el alcance del sistema.
- Por lo general, se presta **un tipo de servicio**, como el suministro de la marcación, la distancia o una combinación de ambas.
- **Identificación única y normalizada en un lugar específico**, para facilitar su uso con los sistemas automatizados que procesan sus señales.
- **Diseño basado en normas conocidas y públicas** que definen la especificación de los requisitos del sistema y permiten verificar y validar adecuadamente el sistema.

Debido al aumento del uso de GNSS, así como a la obsolescencia de algunos de estos sistemas convencionales y su coste de mantenimiento, existe una tendencia a la **racionalización**, manteniendo al mismo tiempo una red mínima susceptible de apoyar las operaciones en ausencia de GNSS.

A modo de **ejemplo**, el siguiente gráfico, extraído del [Plan Maestro de Gestión del Tránsito Aéreo Europeo](#), muestra la evolución prevista de los sistemas de navegación convencionales (NDB, VOR, DME, ILS) en el **sector europeo de la aviación civil**. Está previsto racionalizar o desmantelar varios sistemas en los próximos diez años, como consecuencia del éxito del despliegue y la generalización de los GNSS y sus aumentaciones por satélite y en tierra. Esta racionalización de las infraestructuras trae consigo beneficios como el **ahorro de costes operativos y la liberación de las bandas de frecuencias** ocupadas por los sistemas convencionales. No obstante, para garantizar la gestión del tránsito aéreo europeo en condiciones de seguridad tras una posible interrupción del GNSS, se mantendrá una **red operativa mínima (MON)** de sistemas convencionales.

Conviene poner de relieve que los planes de evolución incluidos en el Plan Maestro de Gestión del Tránsito Aéreo Europeo son los previstos por la Unión Europea (que también reflejan los planes de evolución acordados a nivel de la OACI). Con todo, los sistemas de PNT convencionales son, en última instancia, responsabilidad de las distintas autoridades nacionales, que pueden tener políticas y planes específicos distintos de los recogidos en el Plan Maestro.

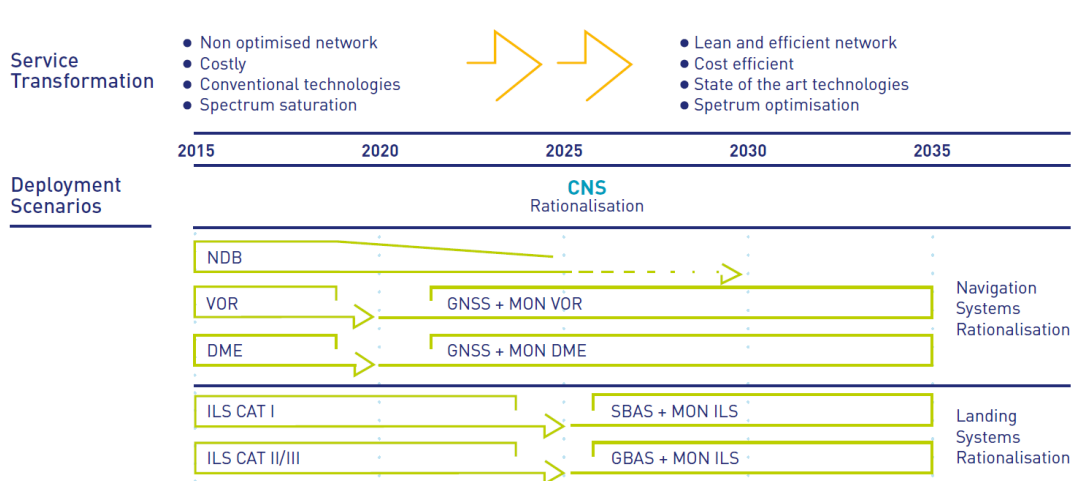


Gráfico 5. Racionalización de las ayudas a la navegación convencionales (Fuente: [Plan Maestro de Gestión del Tránsito Aéreo Europeo](#))

Por último, el [gráfico 6](#) ofrece una visión general de los sistemas de PNT convencionales, que se tratan en mayor profundidad en el apéndice A, sección [5.2](#).



Sistema	Banda de frecuencias	Tipo de PNT		Precisión	Alcance	Espec. NAV soportadas (Aviación)	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
		Pos/Nav	Temporización														
NDB	De 190 kHz a 1 750 kHz	Marcación con respecto a NDB	--	Depende de AFD a bordo. La precisión mínima de la OACI para los NDB es de $\pm 5^\circ$	De 25 millas náuticas a 150 millas náuticas	--	Propuesta de desmantelamiento en el Plan Maestro de Gestión del Tránsito Aéreo Europeo										
VOR	De 108 MHz a 117,975 MHz	Marcación con respecto a VOR	--	Con un margen de $\pm 2^\circ$	De 25 millas náuticas a 130 millas náuticas	RNAV 5	Racionalización de cara a la MON										
DME	De 960 MHz a 1 215 MHz	Distancia al DME	--	Alrededor de $\pm 200$ metros ( $\pm 0,1$ millas náuticas)	Con VOR: de 25 millas náuticas a 130 millas náuticas Con ILS: alrededor de 15 millas náuticas	RNAV 5, RNAV 2, RNAV 1, RNP 1 y A-RNP	Racionalización de cara a la MON										
ILS	De 108 MHz a 111,975 MHz	Guía hor./vert. para aprox. de precisión	--	CAT I: $\pm 10,5$ m (35 pies) CAT II: $\pm 4,5$ m (25 pies) CAT III: $\pm 3$ m (15 pies)	Alrededor de 15 millas náuticas	--	Racionalización de cara a la MON										
TACAN	De 960 MHz a 1 215 MHz	Marcación y distancia	--	Con un margen de $\pm 1^\circ$ Parte DME aproximadamente $\pm 926$ m (0,5 millas náuticas)	Alrededor de 200 millas náuticas	--	En funcionamiento desde 1960										
LORAN-C	De 90 kHz a 110 kHz			< 460 m	Largo alcance Día: hasta 600 millas náuticas Noche: hasta 1 300 millas náuticas	--	No se utiliza en Europa desde 2015										
eLORAN y DLORAN	De 90 kHz a 110 kHz			$\pm 20$ m, $\pm 5$ m para dLORAN	600 millas náuticas de día (noche: hasta 1 300 millas náuticas), dLORAN 30 millas náuticas (debido a estaciones diferenciales)	--	No se utiliza en Europa desde 2015										
DCF77	77,5 kHz	--		Desviación a largo plazo (1 años) entre $\pm 5$ ms y $\pm 150$ ms	Alrededor de 1 000 millas náuticas	--	En funcionamiento desde 1959										
Relojes atómicos	--	--		Mejor que nanosegundos	Sin limitaciones	--	En funcionamiento desde 1960										

--	N/A
	Idoneidad BAJA
	Idoneidad MEDIA
	Idoneidad ALTA

	Sistema FUERA de servicio
	Red operativa mínima (MON) con arreglo al Reglamento de Ejecución (UE) 2018/1048 sobre la navegación basada en la performance
	Sistema EN servicios (capacidad operativa completa — FOC)

Gráfico 6. Visión general de los sistemas de PNT convencionales

## 2.7.4 Sistemas de PNT emergentes / de próxima generación

Además de los sistemas de PNT convencionales o los servicios de GNSS, existe todo un abanico de **sistemas de PNT emergentes o de nueva generación** que actualmente prestan servicios con un rendimiento habitualmente inferior a los GNSS, una cobertura limitada o un coste mayor.

El [Gráfico 7](#) ofrece una visión general de las tecnologías de PNT emergentes con mayor madurez e importancia percibida. Las tecnologías se han agrupado principalmente sobre la base de la similitud percibida en términos de *hardware* e incluyen:

- Tecnologías terrestres que prestan servicios de temporización maduros de alto rendimiento y precisión.
- Tecnologías radioeléctricas, ya sean terrestres (pseudolitos, modo R) o espaciales (satélites LEO).
- La navegación móvil, que hasta cierto punto es neutra en cuanto al *hardware* y depende en gran medida de la fusión de sensores, el aprendizaje automático y los servidores finales, y es una tecnología destacada para el mercado de masas.
- Tecnologías no radioeléctricas, como los sistemas inerciales y los sensores magnéticos.
- Tecnologías visuales, LIDAR o con técnicas basadas en el radar que, a pesar de que estrictamente no prestan servicios de PNT, son importantes en la fusión de sensores.
- El cuanto y los púlsares, que, si bien aún no son tecnologías maduras, podrían ofrecer resultados muy interesantes en el futuro.

Una característica importante de estos sistemas es su madurez tecnológica, los denominados niveles de madurez tecnológica (TRL), indicados en la última columna del gráfico anterior. La metodología asigna un número que va desde «1» (principios básicos observados: el grado de madurez más bajo) hasta «9» (sistema real probado en el entorno operativo: el mayor grado de madurez). Cuanto mayor sea el TRL, mayor será la madurez del sistema para ser utilizado operativamente.

Estas **tecnologías emergentes** difieren de las ayudas convencionales y, hasta cierto punto, de los GNSS, en los siguientes aspectos:

- Están diseñadas como parte de la oferta combinada o del enfoque de fusión de sensores.
- No solo proporcionan la posición, sino que también crean una distribución temporal eficiente, aunque algunas podrían necesitar una conexión con el UTC.
- Adoptan prácticas modernas de desarrollo de hardware y software, lo que se traduce en un desarrollo rápido y en actualizaciones por vía inalámbrica. Esto implica asimismo que todas las unidades están conectadas y, por lo general, no requieren intervención manual después de su instalación.
- Cuentan con capacidades propias de seguimiento, notificación e identificación de fallos.
- Presentan características mejoradas en materia de ciberseguridad, integración con otros sistemas, experiencia de usuario y flexibilidad.

En la sección [5.3](#) del apéndice A se ofrece más información sobre los propios sistemas.

Sistema	Banda de frecuencias	Tipo de PNT		Precisión	Alcance	Nivel de madurez tecnológica (TRL)
		Pos/Nav	Temporización			
White Rabbit (WR)	--	Potencialmente	Idoneidad ALTA	Por debajo de ns/cm	Red, con repetidores hasta cientos de km	9
Distribución de tiempo a través de redes informáticas	--	--	Idoneidad ALTA	Por debajo de $\mu$ s	Red, con repetidores hasta cientos de km	9
Pseudolitos	Diversas bandas (por ejemplo, inalámbrica, de	Idoneidad ALTA	Idoneidad ALTA	0,2 - 15 ns 0,005 m (portadora) - 15 m (código)	5 - 15 km	9
5G y redes celulares	450 MHz - 6 GHz y 24,25 GHz - 52,6 GHz	2D	Idoneidad ALTA	Decenas de metros Por debajo de $\mu$ s	Marcado por la infraestructura de red	7
Modo de alcance (modo R)	VHF y MF	2D	Idoneidad MEDIA	Decenas de metros	250 km	5
Navegación basada en imágenes	--	Idoneidad ALTA	--	Normalmente a nivel de dm, varía en términos absolutos	En función del sistema	6
Navegación basada en teléfonos móviles	Bluetooth e inalámbrica	Idoneidad ALTA	Potencialmente	Escasos metros (la precisión de la altura permite detectar el piso)	Bluetooth e inalámbrica generalmente decenas de	9
Navegación a estima e IMU	--	Idoneidad ALTA	--	Deriva de 1 m después de 2 min (calidad alta)	Sin limitaciones	9
Mapas medioambientales	--	2D	--	En el exterior: de un metro a cientos de metros; en interior: < 1m	Depende del sistema	7
Órbita terrestre baja (LEO)	Bandas K y L	Potencialmente	Idoneidad ALTA	10 ns 10 m estático	Mundial	8
Tecnologías cuánticas (relojes e IMU)	--	Idoneidad ALTA	Idoneidad ALTA	Al menos un orden de magnitud mejor que las IMU convencionales	Sin limitaciones	4
Servicios de PNT mediante púlsares	Rayos X (el resto son poco eficientes)	Potencialmente	Idoneidad ALTA	1 000 km	Galaxia entera	3

Nota: el color del nivel de madurez tecnológica (TRL) indica un intervalo que va desde la madurez MÁS BAJA en rojo hasta la MÁS ALTA en verde

-- N/A      Idoneidad MEDIA      Idoneidad ALTA (2D indica 2 dimensiones)  
Potencialmente (en fase de evaluación/desarrollo)

Gráfico 7. Visión general de los sistemas de PNT emergentes / de próxima generación

## 2.8 Interoperabilidad y compatibilidad

La aparición y la modernización de los GNSS (incluidos sus componentes regionales y de aumentación) plantean debates sobre la **interoperabilidad** y **compatibilidad de los GNSS** entre los distintos proveedores de servicios.

Según el [Comité Internacional sobre los Sistemas Mundiales de Navegación por Satélite \(ICG\)](#), por «**interoperabilidad**» se entiende la capacidad de los sistemas mundiales y regionales de navegación por satélite y la aumentación y los servicios que prestan para ser utilizados conjuntamente para proporcionar mejores capacidades a nivel de usuario que las que se obtendrían basándose únicamente en las señales abiertas de un sistema.

En el contexto de los GNSS, la interoperabilidad debe entenderse como la capacidad de los equipos de usuario para aprovechar las señales de navegación disponibles de diferentes GNSS y producir una solución combinada que, en general, presente beneficios en términos de rendimiento (por ejemplo, una mayor precisión o una mayor disponibilidad) con respecto a la solución de un sistema independiente. La interoperabilidad se analiza a menudo en dos niveles diferentes: de **sistema** y de **señal**, mientras que la interoperabilidad a nivel de receptor está garantizada por normas reconocidas internacionalmente. Para más información, véase la sección de [Navipedia dedicada a la interoperabilidad](#).

El ICG afirma que la **compatibilidad** se refiere a la capacidad de los sistemas de navegación por satélite mundiales y regionales y la aumentación para ser utilizados por separado o conjuntamente sin causar interferencias inaceptables u otros perjuicios a un sistema o servicio individual.

A la hora de evaluar la compatibilidad se suelen tener en cuenta dos aspectos:

- La compatibilidad de radiofrecuencia (RFC), incluidos los factores de las propiedades de correlación cruzada y un umbral de ruido del receptor asequible.
- La separación espectral entre señales autorizadas y otras señales. Si el solapamiento es inevitable, se entabla un diálogo a fondo entre los proveedores para garantizar el servicio requerido.

Para más información, véase la sección de [Navipedia dedicada a la compatibilidad](#).

La cooperación internacional es fundamental para garantizar la interoperabilidad y la compatibilidad de las señales de GNSS (por ejemplo, estructuras de señales, mensajes, frecuencias portadoras, códigos y modulaciones) y se pone en marcha ya en una fase temprana de desarrollo, mientras que las normas de los receptores son fundamentales para garantizar la interoperabilidad y compatibilidad a nivel de receptor.

De manera similar a lo que sucede con los GNSS, la interoperabilidad, la compatibilidad y el desarrollo de normas son necesarios para otros servicios de PNT (por ejemplo, el IEEE está elaborando normas para [equipos de usuario de PNT resilientes](#)).

## 2.9 Políticas internacionales en materia de PNT

Conscientes de la importancia de los servicios de PNT, las principales economías mundiales cuentan con políticas nacionales en materia de PNT. En esta sección se ofrece una visión general de estas políticas.

El [Plan Federal de Radionavegación de los Estados Unidos](#) (FRP) es la fuente oficial de la política y la planificación en el ámbito del posicionamiento, la navegación y la temporización (PNT) para el Gobierno Federal de los Estados Unidos. Los distintos capítulos del FRP abordan las funciones y responsabilidades, la política, los requisitos de los usuarios de servicios de PNT representativos, los planes operativos y la arquitectura nacional de PNT, mientras que los apéndices se ocupan de los parámetros y las descripciones de los sistemas, los servicios de información de PNT y los sistemas de referencia y dátum geodésicos.

En 2018, los Estados Unidos promulgaron una [Ley de Resiliencia y Seguridad de la Señal Horaria Nacional](#) y, en 2020, un [Decreto sobre el refuerzo de la resiliencia nacional mediante el uso responsable de los servicios de PNT](#) con el objetivo de fomentar el uso responsable de los servicios de PNT por parte de los propietarios y operadores de infraestructuras críticas. Entre las numerosas medidas, el Decreto instaba a la implantación de una fuente de tiempo universal coordinado independiente de los GNSS. En 2020, el Departamento de Transporte de los Estados Unidos llevó a cabo el [ensayo de once tecnologías de PNT alternativas seleccionadas](#), con el objetivo de evaluar tecnologías de PNT complementarias al GPS y que sirvieran de respaldo. La iniciativa probó tanto la posición como el tiempo, proporcionando una clasificación cuantificada de las distintas tecnologías analizadas.

El [Plan de Radionavegación ruso](#), publicado en 2019 y acordado por representantes de once naciones<sup>3</sup>, aborda los requisitos de posición y temporización para los diferentes usuarios. El Plan muestra una preocupación significativa por las interferencias a las señales de los GNSS, como GPS y su equivalente ruso GLONASS, y prevé la forma en que Rusia —y sus aliados— están aumentando la seguridad de los usuarios mediante la integración de los sistemas espaciales y terrestres en una arquitectura de posicionamiento, navegación y temporización (PNT) más sólida y resiliente. También confirma una capacidad móvil terrestre de PNT, probablemente para uso militar.

En relación a las interferencias, el Plan sugiere la creación de un sistema para monitorización de las bandas de frecuencias de GNSS, el uso de múltiples frecuencias GLONASS y la integración de los sistemas GLONASS, GPS y terrestres en el receptor de los usuarios: «una de las maneras de integrar los sistemas de radionavegación terrestres y espaciales es la integración de sistemas como “Seagull” [Loran] y GLONASS. Los sistemas integrados “Seagull”/GLONASS podrán utilizarse en el futuro como sistemas principales para la navegación por etapas de ruta».

A pesar de que **China** aún no ha publicado un plan de radionavegación, su enfoque al respecto se ha presentado en varias conferencias y simposios. China tiene previsto construir la primera [arquitectura integral de PNT del mundo](#) (por ejemplo, resiliente y sólida). Esta arquitectura se describe como un sistema de PNT con múltiples fuentes que será «más ubicuo, más integrado y más inteligente». Centrada en torno a los satélites BeiDou en la órbita terrestre media (MEO), incorporará una amplia variedad de otras fuentes de PNT, como una constelación LEO de PNT, [estaciones Loran-C](#), sensores inerciales y sistemas como la navegación cuántica, aún por desarrollar.

En el Reino Unido, en 2016, se publicó un [Plan de Navegación Marítima](#) centrado en el uso de los servicios de PNT para la navegación marítima. En 2017, un [informe](#) evaluó el impacto económico para el Reino Unido de una perturbación de cinco días de los GNSS en 5 200 millones GBP y, en 2020, el Reino Unido anunció la creación de un [centro de temporización nacional](#) para garantizar una mayor resiliencia de los servicios de GNSS de temporización precisa mediante una red de relojes atómicos alojados en ubicaciones seguras.

---

<sup>3</sup> Federación de Rusia, República de Azerbaiyán, República de Armenia, República de Tayikistán, República de Bielorrusia, Turkmenistán, República de Kazajistán, República de Uzbekistán, República Kirguisa, Ucrania y República de Moldavia.

### 3 Sistemas y servicios de PNT de la UE

En esta sección se analiza el panorama de los sistemas y servicios de PNT en la Unión Europea y se abordan los objetivos 6 a 8 presentados en la sección [1.4](#). Su objetivo es proporcionar información detallada sobre los principales servicios prestados por los GNSS europeos Galileo y EGNOS, resumir por segmento de mercado las **políticas actuales de la UE** en materia de PNT y las medidas adicionales que facilitarían los servicios de los EGNSS o aumentarían la resiliencia de los servicios de PNT.

La sección:

- Presentará el marco jurídico de la UE para el Programa Espacial de la Unión (sección [3.1](#)).
- Describirá los servicios actuales de Galileo y los planes para los servicios futuros destacando su valor añadido con respecto a otros servicios de GNSS (sección [3.2](#)).
- Describirá los servicios actuales de EGNOS y los planes para los servicios futuros (sección [3.3](#)).
- Expondrá las políticas de la UE en materia de PNT, incluidas las actividades en curso para facilitar la introducción de los EGNSS en las políticas de la UE (sección [3.4](#)).
- Formulará recomendaciones para facilitar la introducción de los servicios de los EGNSS (sección [3.4](#)).
- Propondrá medidas para aumentar la resiliencia de los servicios de PNT (sección [3.4](#)).
- Describirá las actividades de cooperación de la UE en materia de navegación por satélite (sección [3.5](#)).



### 3.1 Programa Espacial de la Unión 2021-2027

En abril de 2021, el Consejo y el Parlamento Europeo adoptaron el [Reglamento \(UE\) 2021/696, por el que se establece el nuevo Programa Espacial de la Unión para el período 2021-2027](#). El Reglamento exige que el Programa Espacial de la Unión garantice:

- **datos y servicios** espaciales de alta calidad, actualizados y seguros,
- mayores **beneficios socioeconómicos** del uso de estos datos y servicios, con el fin de aumentar el crecimiento y la creación de empleo en la UE,
- mejora de la **seguridad y la autonomía** de la UE,
- un papel más decisivo de la UE como **actor destacado** del sector espacial.

El Reglamento simplifica el marco jurídico y el sistema de gobernanza de la UE previos y normaliza el marco de seguridad. Incluye los siguientes componentes espaciales de la UE:

- **Galileo**: el sistema mundial de navegación por satélite propio de la UE, que proporciona datos de posicionamiento mundial muy precisos y presta apoyo a la respuesta de emergencia y la búsqueda y salvamento.
- **Sistema Europeo de Navegación por Complemento Geoestacionario (EGNOS)**: el sistema regional de aumentación basado en satélites (SBAS) de la UE. Presta servicios críticos para la seguridad de la navegación a usuarios de transporte aéreo, marítimo y terrestre en toda la UE.
- **Copernicus**: Programa Europeo de Vigilancia de la Tierra. A través de sus servicios terrestres, marinos, atmosféricos, relacionados con el cambio climático, la gestión de emergencias y la seguridad, Copernicus presta apoyo a una amplia gama de aplicaciones, como la protección del medio ambiente, la gestión de las zonas urbanas, la planificación regional y local, la agricultura, la silvicultura, la pesca, la salud, el transporte, el cambio climático, el desarrollo sostenible, la protección civil y el turismo.
- **Conocimiento del medio espacial (SSA)**: iniciativa de la UE para vigilar y proteger los activos espaciales frente a los peligros que plantea este medio.
- **Comunicación gubernamental por satélite (Govsatcom)**: iniciativa de la UE para proporcionar a las autoridades nacionales acceso a comunicaciones por satélite seguras.

Además, la [Comisión Europea presentó en febrero de 2022 dos nuevas iniciativas emblemáticas sobre el espacio](#):

- Una **propuesta de Reglamento sobre una conectividad espacial segura (IRIS<sup>2</sup>)** para garantizar el acceso ininterrumpido a servicios de comunicación por satélite seguros y rentables en todo el mundo a través de una nueva constelación, para comunicaciones gubernamentales y uso comercial. Su objetivo es proteger las infraestructuras críticas, apoyar la vigilancia y la gestión de crisis, así como permitir que la banda ancha de alta velocidad llegue a todos los puntos de toda Europa a fin de anticipar mejor los retos futuros de nuestra economía. Esta iniciativa alcanzó a finales de 2022 un acuerdo político entre el Parlamento Europeo y los Estados miembros.
- Una **Comunicación conjunta sobre un enfoque de la UE en materia de gestión del tráfico espacial (STM)** para seguir reforzando las capacidades de vigilancia y seguimiento espacial de la UE (y establecer normas y reglamentaciones claras para un uso seguro, protegido y sostenible del espacio).

El Programa Espacial de la Unión se ejecuta en estrecha cooperación con los Estados miembros, la Agencia de la Unión Europea para el Programa Espacial (EUSPA), la Agencia Espacial Europea (ESA), la Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT) y otras partes interesadas.

Puede consultar más información sobre el Programa Espacial de la Unión en la [página específica de europa.eu](#).

## 3.2 Servicios de Galileo

**Galileo** es el **sistema mundial de navegación por satélite de la UE**, que ofrece un servicio de posicionamiento mundial muy preciso y garantizado bajo control civil. Aunque presta servicios autónomos de navegación y posicionamiento, Galileo es interoperable con otros GNSS, como GPS, GLONASS y BeiDou.

Galileo está compuesto por un segmento espacial consistente en una constelación de satélites en órbita terrestre media (MEO) que emiten señales de posicionamiento y temporización, un segmento terrestre que controla el funcionamiento del satélite y genera la información de navegación que debe transmitirse en las señales de Galileo, y un segmento de usuario constituido por las terminales de usuario en todo el mundo. Galileo lleva en **funcionamiento desde el 15 de diciembre de 2016** y evoluciona continuamente dentro de la primera generación de Galileo, mientras que la segunda generación de Galileo está en fase de desarrollo.

Los servicios ofrecidos por Galileo incluirán:

- el **servicio abierto de Galileo**, que es gratuito para el usuario y ofrece información de posicionamiento y sincronización destinada principalmente a las aplicaciones de masa de la navegación por satélite para uso de los consumidores. Incluye las capacidades de volumen del servicio espacial y de autenticación de mensajes de navegación del servicio abierto de Galileo (OSNMA).
- El **servicio de alta precisión**, que es gratuito para los usuarios y ofrece, mediante datos adicionales diseminados en una banda de frecuencias suplementaria, información de posicionamiento y de sincronización de gran precisión destinada principalmente a las aplicaciones de la navegación por satélite para uso profesional o comercial.
- El **servicio de autenticación de la señal**, basado en los códigos cifrados contenidos en las señales, destinado principalmente a las aplicaciones de navegación por satélite para uso profesional o comercial.
- El **servicio público regulado**, que está reservado a los usuarios autorizados por los Gobiernos, para aplicaciones sensibles que requieran un nivel elevado de continuidad del servicio, también en el ámbito de la seguridad y la defensa, y que utiliza señales robustas y codificadas.
- El **servicio de emergencia y alerta temprana**, que es gratuito para los usuarios y difunde, a través de la emisión de señales, advertencias relativas a catástrofes naturales u otras situaciones de emergencia en ámbitos concretos.
- El **servicio de temporización**, que es gratuito para el usuario y proporciona una hora de referencia precisa y sólida, así como la verificación del tiempo universal coordinado, facilitando el desarrollo de aplicaciones de temporización basadas en Galileo y su uso en aplicaciones críticas.

Galileo contribuirá asimismo:

- al servicio de **búsqueda y salvamento** del sistema Cospas-Sarsat, detectando las señales de emergencia transmitidas por balizas y transmitiendo mensajes a estas a través de un enlace de retorno.
- A los **servicios de control de integridad** normalizados a nivel de la Unión Europea o a nivel internacional para su uso por servicios de seguridad de la vida humana, sobre la base de las señales del servicio abierto de Galileo y en combinación con EGNOS y otros sistemas de navegación por satélite.
- A los servicios de información **meteorológica espacial** a través del Centro de Servicios del GNSS y a los servicios de alerta temprana a través de la infraestructura terrestre de Galileo y encaminados principalmente a reducir los riesgos potenciales para los usuarios de servicios de meteorología ofrecidos por Galileo y otros GNSS.

Cada uno de los servicios se describirá con más detalle en las secciones siguientes.

Puede consultar más información sobre Galileo en el [Centro Europeo de Servicios de GNSS \(gsc-europa.eu\)](http://gsc-europa.eu).

### 3.2.1 Servicio abierto de Galileo

El servicio abierto de Galileo ofrece **servicios mundiales de telemetría, posicionamiento y temporización** para usuarios monofrecuencia y bifrecuencia equipados con un receptor compatible con el servicio abierto Galileo. Mientras que cada satélite Galileo transmite señales de navegación (también denominadas «señal en el espacio» o SIS) en tres bandas de frecuencias, el servicio abierto de Galileo se **difunde en dos** de las tres **bandas de frecuencias**.

Los [documentos del programa del servicio abierto de Galileo](#) incluyen:

- **Servicio abierto de Galileo – Documento de definición del servicio**, que describe las características y las prestaciones del servicio abierto de Galileo suministrado a través de la señal en el espacio del servicio abierto Galileo.
- **Servicio abierto de Galileo – Documento de control de interfaces sobre la señal en el espacio**, que contiene la información de acceso público sobre la señal en el espacio de Galileo y especifica la interfaz entre el segmento espacial de Galileo y el segmento de usuarios de Galileo. Está destinado a ser utilizado por la comunidad de usuarios de Galileo.
- **Algoritmo de corrección ionosférica para usuarios monofrecuencia de Galileo**, que describe detalladamente el algoritmo de referencia que debe aplicarse en los receptores de los usuarios para calcular las correcciones ionosféricas sobre la base de los coeficientes de emisión del mensaje de navegación de Galileo para usuarios monofrecuencia.

Los [informes trimestrales de rendimiento del servicio abierto de Galileo](#) proporcionan información detallada sobre el nivel de prestaciones del servicio abierto de Galileo con respecto a los objetivos del nivel mínimo especificados en el documento de definición del servicio abierto de Galileo.

La **precisión de alcance y de posicionamiento** del servicio abierto de Galileo **supera con creces la de los demás GNSS**, alcanzando una exactitud de alcance mejor que 30 cm (95 %) y una precisión de posición horizontal y vertical mejor que 2 m y 2,5 m (en promedio) respectivamente. La **precisión del servicio de temporización** es mejor que 5 ns (95 %). Las señales saludables del servicio abierto de Galileo están disponibles más del 99 % del tiempo para los satélites operativos. Es posible consultar el rendimiento habitual en los [informes de rendimiento de Galileo](#), que muestran las estadísticas de los errores típicos de alcance del GNSS.

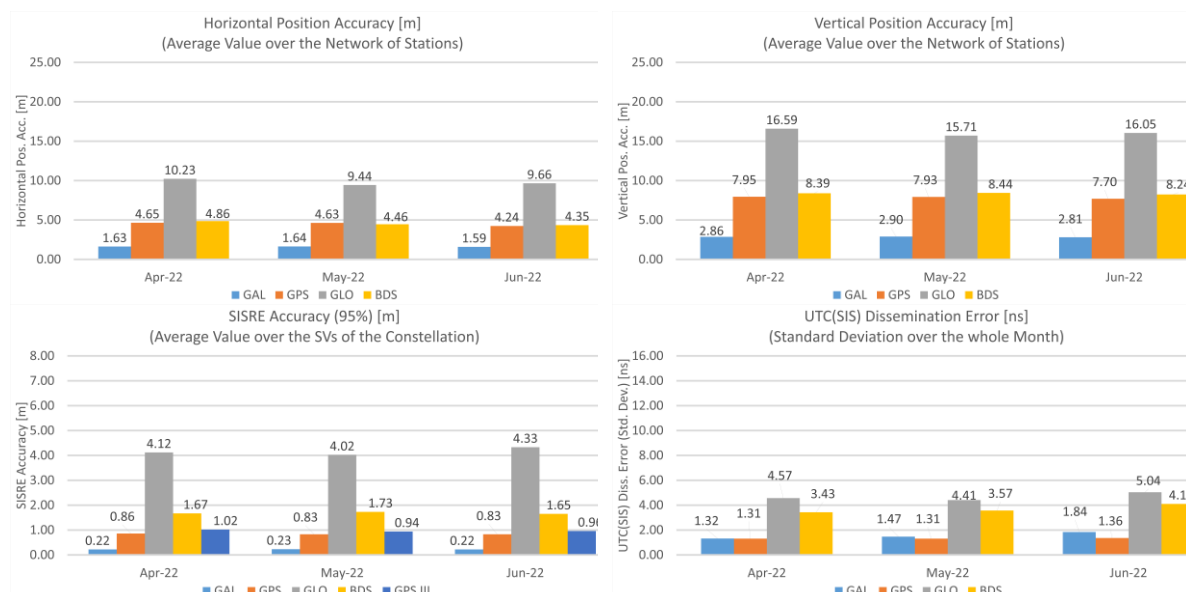


Gráfico 8. Precisión de posición y temporización de Galileo en comparación con otros GNSS (GPS, GLONASS y BeiDou)

Puede encontrar más información sobre el servicio abierto de Galileo en su [Documento de definición del servicio](#).

### 3.2.1.1 Autenticación de mensajes de navegación del servicio abierto (OSNMA)

Como parte de un conjunto de servicios innovadores destinados a añadir capacidades de autenticación, Galileo está introduciendo una característica única denominada «autenticación del mensaje de navegación del servicio abierto» (OSNMA). Con ello se pretende responder a la clara necesidad de **soluciones de GNSS más sólidas y fiables**. Los usuarios pueden beneficiarse de esta capacidad mejorada de Galileo a través de un receptor o terminal de usuario de GNSS habilitado para procesar los datos OSNMA.

La OSNMA de Galileo es una función de **autenticación de datos** basada en operaciones criptográficas, de libre acceso para usuarios de todo el mundo y que ofrece a los receptores la seguridad de que los datos de navegación de Galileo recibidos proceden del propio sistema y no han sido modificados. La OSNMA aumenta la probabilidad de detectar ataques de *spoofing* a nivel de datos, contribuyendo así significativamente a la **seguridad de la solución**. Los datos OSNMA, que son parcialmente impredecibles, también pueden ser aprovechados por los receptores para proporcionar cierto nivel de protección contra ataques de repetición de señales.

La OSNMA proporciona los medios para autenticar varios conjuntos de datos de Galileo a través de un mensaje específico transmitido dentro del mensaje de navegación en **I/NAV** emitido en la componente de la **señal E1-B**.

Cuadro 2. Objetivos de rendimiento de la OSNMA de Galileo

Característica	OSNMA
Capacidades mínimas del receptor de GNSS	Frecuencia única E1
Objeto de la autenticación	Datos de navegación (E1B I/NAV y E5b I/NAV)
Componentes necesarios	E1B
Necesidad de almacenamiento de señales de GNSS en bruto en la parte receptora	necesidad de datos I/NAV
Descifrado de las señales de navegación por el receptor de GNSS	No
Autenticación	Datos del reloj y las efemérides (CED), corrección ionosférica, retardo de grupo de emisión (BDG), indicadores de estado y parámetros de temporización (desfase temporal entre GPS y Galileo —GGTO— y UTC), retrasada
Tiempo hasta la primera autenticación	De un minuto a unos pocos minutos
Disponibilidad de la autenticación	Elevada, por encima del 95 % según las previsiones
Otros requisitos	Sincronización temporal

La **fase de pruebas públicas** de la OSNMA **comenzó en 2021**. Permite a los fabricantes de receptores, a los desarrolladores de aplicaciones o a los investigadores aplicar y probar el protocolo y proporcionar sus observaciones al programa Galileo. La **declaración de servicio** de la OSNMA está prevista **para finales de 2023**.

La segunda generación de Galileo (**G2G**) **mejorará el alcance y la solidez** de la capacidad de autenticación de la OSNMA y la ampliará con una autenticación de alcance.

Para más información sobre la OSNMA de Galileo, véanse el [DCI de usuario de la OSNMA y las Directrices sobre los receptores para la OSNMA](#).

### 3.2.1.2 Volumen del Servicio Espacial

Concebidos originalmente para ofrecer servicios de posicionamiento, navegación y temporización a los usuarios terrestres, los **GNSS** también han demostrado su utilidad como herramienta **valiosa para las aplicaciones en el espacio**. La navegación de vehículos espaciales en tiempo real basada en receptores de GNSS a bordo se está convirtiendo en una técnica común para las órbitas terrestres bajas (LEO) y las órbitas geoestacionarias (GEO) que permite a los **satélites determinar su propia posición utilizando el GNSS**, reduciendo la dependencia de estaciones terrestres. La obtención de **mediciones de observación de la Tierra** a partir de las señales de GNSS también se está haciendo habitual, sumándose al catálogo de usos asentados y potenciales de los GNSS en el espacio ultraterrestre.

Con un número cada vez mayor de vehículos espaciales y el desarrollo continuo de soluciones de GNSS transportadas a bordo de dichos vehículos, Galileo ofrecerá un servicio a los usuarios del espacio: un **Volumen del Servicio Espacial de Galileo (SSV)** como parte de la segunda generación de Galileo, que se definirá en tres regiones.

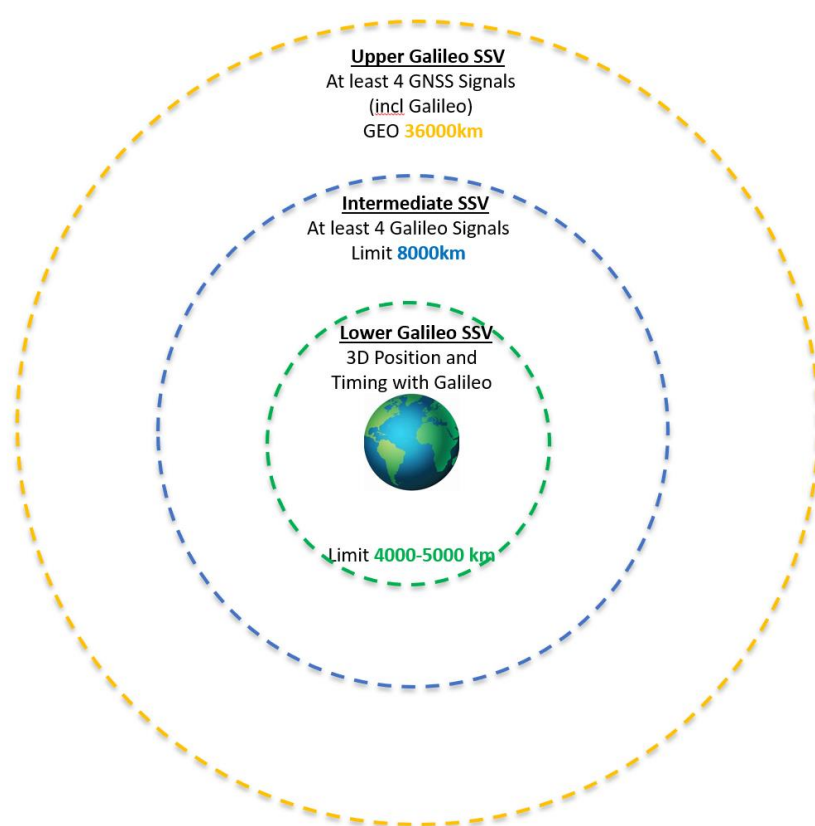


Gráfico 9. Regiones del Volumen del Servicio Espacial de Galileo

El **Volumen del Servicio Espacial** de Galileo prestará un **servicio de manera autónoma hasta una altitud de unos 8 000 km** (superior a los 3 000 km definidos en el SSV del GPS) gracias a las órbitas más altas de los satélites Galileo, mientras que para mayores altitudes será necesaria una solución SSV multiconstelación para el GNSS. Con ellos se [satisfará la mayoría de las necesidades de los usuarios del espacio en términos de prestaciones de posición y temporización](#).

Además, la comunidad internacional está trabajando en la **definición de un volumen de servicio espacial interoperable basado en constelaciones de múltiples GNSS**, basado en los resultados del trabajo realizado en el [Grupo de Trabajo B del Comité Internacional sobre los Sistemas Mundiales de Navegación por Satélite de las Naciones Unidas \(ICG\)](#). Como parte de las actividades en curso, el Grupo de Trabajo está analizando la conveniencia de desarrollar normas en apoyo de los usuarios espaciales de los GNSS.

### 3.2.2 Servicio de alta precisión

Galileo es la primera constelación de GNSS que presta un **servicio de posicionamiento de alta precisión a escala mundial** destinado a aplicaciones que requieren un rendimiento superior a la ofrecida por el servicio abierto de Galileo. El servicio de alta precisión de Galileo se basa en la provisión de correcciones de posicionamiento puntual preciso (**PPP**) (órbita, reloj, sesgos, correcciones atmosféricas) a una velocidad máxima de 448 bps por satélite Galileo conectado a una estación de enlace ascendente, lo que permite al usuario obtener un error de **posicionamiento horizontal** mejor que 20 cm (95 %) en condiciones nominales de uso.

El servicio de alta precisión de Galileo consta de dos niveles de servicio:

- **Nivel de servicio 1 (SL1)**, cuya cobertura es mundial y ofrece correcciones de gran precisión (órbitas, relojes) y sesgos (código y fase) para las señales de Galileo y GPS.
- **Nivel de servicio 2 (SL2)**, cuya cobertura es regional y proporciona las **correcciones del SL1 más correcciones atmosféricas** (al menos ionosféricas) y posibles sesgos adicionales.

Junto con las correcciones del servicio de alta precisión de Galileo a través de la señal en el espacio (E6b), está previsto que las **correcciones también se distribuyan utilizando un canal terrestre**, con el fin de proporcionar a los usuarios (tanto del SL1 como del SL2) una fuente de entrada alternativa o complementaria a la señal en el espacio.

El servicio de alta precisión de Galileo se ejecutará en dos fases:

- **Servicio inicial**, declarado el 24 de enero de 2023: suministro del nivel de servicio 1 con prestaciones reducidas, ya que se basa únicamente en el tratamiento de datos del sistema Galileo.
- **Servicio completo** a partir de 2026: suministro de los niveles de servicio 1 y 2, cumpliendo los objetivos de rendimiento.

*Cuadro 3. Objetivos de rendimiento del servicio de alta precisión de Galileo*

Características del servicio de alta precisión	Fase 1 (servicio inicial)	Fase 2 (servicio completo)
<b>Cobertura</b>	SL1: UE	SL1: Mundial SL2: UE
<b>Tipo de correcciones</b>	PPP: órbita, reloj, sesgos (código y fase)	SL1: como la fase 1 SL2: SL1 + correcciones atmosféricas
<b>Formato de las correcciones</b>	Formato abierto similar al Compact-SSR (CSSR)	como la fase 1
<b>Constelaciones y frecuencias compatibles</b>	Galileo E1/E5a/E5b/E6; E5 AltBOC GPS L1/L5; L2C	como la fase 1
<b>Precisión horizontal/vertical 95 %</b>	< 20 cm / < 40 cm	como la fase 1
<b>Tiempo de convergencia</b>	< 300 s	SL1: < 300 s SL2: < 100 s
<b>Disponibilidad</b>	> 99 %	como la fase 1

La segunda generación de Galileo (**G2G**) mejorará el servicio de alta precisión proporcionando **correcciones** de órbita y reloj **en otras bandas** además de la E6 y **mejorando varios aspectos**, como el aumento de la tasa de bits, la adquisición más rápida de constelaciones de GNSS adicionales y un tiempo de convergencia más rápido.

Puede encontrar más información sobre el servicio de alta precisión de Galileo en [el DCI de la señal en el espacio del servicio de alta precisión de Galileo, la nota informativa sobre el servicio de alta precisión de Galileo y el documento sobre el servicio de alta precisión del Centro de Servicios de GNSS](#).



### 3.2.3 Servicio de Autenticación Comercial (CAS) / Servicio de Autenticación de Señal (SAS)

El Servicio de Autenticación Comercial de Galileo se basa en el **cifrado completo de la señal E6C** y permite al **usuario obtener autenticación de PVT** basada en el alcance cifrado de E6C y los datos de navegación autenticados mediante OSNMA. El servicio se prestará en modo semiasistido, como **ACAS** (CAS asistido).

El concepto del ACAS, que proporciona **autonomía de usuario entre las conexiones del servidor** (durante horas/días en función del usuario), se basa en la OSNMA y, por lo tanto, exige que el receptor esté sincronizado de manera general con la hora del sistema Galileo.

La capacidad de autenticación del alcance se basa en recuperar en el servidor réplicas de E6C que se volvieron a cifrar con una clave OSNMA, a continuación almacenar instantáneas de la señal E6C transmitida en instantes predefinidos y, una vez divulgada la clave OSNMA, descifrar las réplicas de E6C y realizar la correlación con las instantáneas, obteniendo mediciones del alcance autenticadas *a posteriori*.

El Servicio de Autenticación Comercial de Galileo se ejecutará en dos fases con los siguientes objetivos:

- **Capacidad inicial** a partir de 2024, en la que los servicios ACAS se basarán en las capacidades de Galileo ya existentes o en fase de desarrollo (cifrado E6C, OSNMA), más los servicios de asistencia integrados en las instalaciones de servicio de Galileo.
- **Pleno servicio** a partir de 2026 con la finalización de la infraestructura terrestre de despliegue.

Además, se está llevando a cabo una evaluación de la viabilidad de un CAS **independiente (SCAS)**, sobre la base del análisis de mercado y de la adopción del ACAS. Esto requeriría almacenar en el receptor una clave secreta simétrica y permitiría la autenticación en tiempo real.

En el caso de la segunda generación de Galileo, se mejorará el rendimiento de estas capacidades de autenticación y pasará a denominarse **Servicio de Autenticación de Señal (SAS)**.

Puede encontrar más información sobre el Servicio de Autenticación Comercial de Galileo en el [sitio web del Centro Europeo de Servicios de GNSS](#).

### 3.2.4 Servicio público regulado (PRS)

El servicio público regulado de Galileo es un **servicio de navegación cifrado** para usuarios gubernamentales autorizados y aplicaciones sensibles que requieren una gran continuidad. Es el más seguro de los servicios de Galileo y proporciona a los usuarios autorizados **capacidades de PNT ilimitadas e ininterrumpidas en todo el mundo**, incluso en situaciones de crisis.

El acceso al servicio se **limita a los explotadores del PRS de Galileo**, a saber, los Estados miembros, el Consejo Europeo, la Comisión Europea y el Servicio Europeo de Acción Exterior, así como las agencias de la Unión Europea, terceros países y organizaciones internacionales, en la medida en que hayan sido debidamente autorizados. Los terceros países y las organizaciones internacionales pueden convertirse en explotadores del PRS a reserva de la celebración de acuerdos internacionales (las condiciones detalladas de acceso al PRS Galileo se han establecido en virtud de la [Decisión 1104/2011/UE](#)).

Los **Estados miembros tienen plena soberanía con respecto a los usuarios nacionales** autorizados a acceder al servicio público regulado de Galileo y a los casos de uso y los ámbitos de aplicación.

Solo las entidades autorizadas por el [Consejo de Acreditación de Seguridad](#) pueden desarrollar y fabricar **receptores de usuario del PRS de Galileo**. Los equipos y la tecnología del PRS de Galileo están sujetos a controles de exportación.

El servicio público regulado de Galileo presta **servicios iniciales desde diciembre de 2016**, también con fines de demostración, apoyo al desarrollo tecnológico del segmento de usuarios del PRS y su adopción.

Puede encontrar más información sobre el servicio público regulado de Galileo en la [página web específica del GSC](#) y en la sección de [Navipedia](#) dedicada a esta cuestión.

### 3.2.5 Servicio de emergencia y alerta temprana (EWS)

El servicio de emergencia y alerta temprana de Galileo (EWS), también denominado servicio de alerta de emergencia, incluirá en las señales de Galileo **mensajes de alerta a la población amenazada por catástrofes naturales u otras emergencias**. Los receptores de Galileo implantados en diversos dispositivos (teléfonos inteligentes, relojes inteligentes, portátiles, vallas publicitarias, etc.) recibirán y descodificarán estos mensajes de alerta y los mostrarán en pantalla para obtener información inmediata.

Este servicio proporciona un **mecanismo adicional** para que las autoridades de protección civil alerten a la población y contribuye directamente los objetivos establecidos en el [Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres de las Naciones Unidas](#).

El servicio de emergencia Galileo presentan las siguientes **características principales**:

- Cobertura mundial.
- Difusión a través de la banda de frecuencias E1 de Galileo (y posteriormente también a través de la banda de frecuencias E5).
- Resistente a la destrucción en tierra, ya que es independiente de las redes de comunicación terrestres.
- Abarca múltiples riesgos (por ejemplo, tornados, terremotos, catástrofes nucleares, atentados terroristas).
- Llega a la población de manera oportuna (es decir, de 2 a 3 minutos), independientemente del tamaño de la zona.
- Suministro de la hora de inicio de la emergencia, la duración prevista y orientaciones para los ciudadanos.
- La alerta solo llega a la población destinataria de que se trate, debido a la geolocalización codificada en el mensaje.
- Solución interoperable estudiada en cooperación con Japón y la India.

El **concepto operativo** del servicio de emergencia de Galileo es el siguiente (véanse los gráficos siguientes):

- Los centros nacionales de emergencias autorizados generan un mensaje de alerta y lo envían al sistema Galileo a través de una interfaz segura específica.
- El sistema Galileo genera un mensaje de alerta de emergencia con una elipse que define la zona objetivo. El mensaje se carga en dos satélites Galileo y se transmite a la Tierra a través de los mensajes de navegación de Galileo. El mensaje de alerta también estará disponible en un servidor para su uso posterior y para fines de seguimiento/archivo.
- El segmento de usuario, equipado con un equipo compatible con el servicio de emergencia de Galileo, recibe, descodifica y muestra el mensaje de emergencia. El mensaje solo se muestra a los usuarios situados dentro de la zona de emergencia.

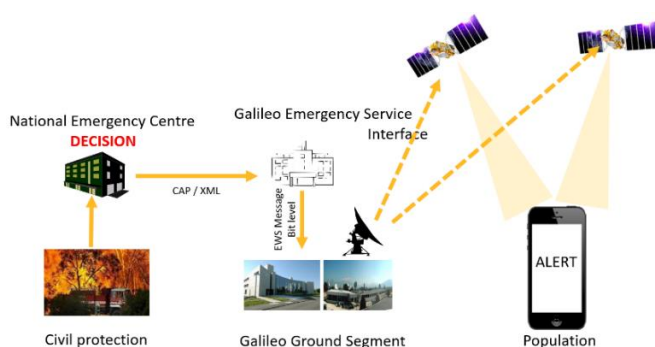


Gráfico 10. Concepto operativo



Gráfico 11. Zona objetivo como elipse

Se prevé una **fase de demostración pública** en **2023**, mientras que el **servicio** de emergencia de Galileo estará activo **a partir de finales de 2024** y evolucionará en la segunda generación de Galileo.

### 3.2.6 Servicio de temporización

A pesar de que el servicio de temporización representa un mercado pequeño, este es un servicio de **vital importancia para los sectores de las infraestructuras críticas**, como las telecomunicaciones, la energía y las finanzas. La temporización también es útil en muchos otros ámbitos, como la aviación, la metrología, la teledetección y la investigación atmosférica.

El servicio de temporización de Galileo proporcionará una **hora de referencia precisa y sólida**, así como la **verificación del tiempo universal coordinado**, facilitando el desarrollo de aplicaciones de temporización basadas en Galileo y su uso en aplicaciones críticas.

El servicio abierto de Galileo ya permite incorporar el sello de tiempo de un evento con respecto a la hora del sistema Galileo y al tiempo universal coordinado (UTC). Además, las **fuentes horarias pueden sincronizarse** entre sí (y con una referencia temporal absoluta) utilizando [técnicas de distribución del tiempo](#).

El servicio de temporización de Galileo ampliará las capacidades actuales del servicio abierto de Galileo para responder mejor a las necesidades de los usuarios. Presentará las siguientes **características principales**:

- Sincronización con niveles de precisión más elevados mediante la hora del sistema Galileo, en comparación con otros GNSS. El nivel típico actual de precisión temporal es mejor que 5 ns (95 %), valor que se mantendrá e incluso mejorará mediante el desarrollo de la segunda generación de Galileo.
- Aumento de la solidez y la confianza en el servicio de temporización de Galileo al ser el primer GNSS en:
  - Beneficiarse de la autenticación de los mensajes de navegación de Galileo.
  - Proporcionar indicadores específicos para los usuarios del servicio de temporización de Galileo.
  - Aplicar un seguimiento específico con diversos niveles de seguimiento.

Como complemento del servicio de temporización de Galileo, se desarrollará una **norma europea para los receptores de temporización a través de GNSS**. Esta será la primera norma para los receptores de este tipo y se convertirá en un elemento fundamental para garantizar el rendimiento del servicio de temporización de Galileo de principio a fin.

El servicio de temporización de Galileo se prestará en la segunda generación de Galileo a partir de **2026**.

### 3.2.7 Contribución al servicio de búsqueda y salvamento (SAR)

El apoyo de Galileo al servicio de búsqueda y salvamento (SAR) representa la **contribución de Europa al sistema internacional Cospas-Sarsat**, un esfuerzo cooperativo en actividades humanitarias de búsqueda y salvamento. Los servicios de búsqueda y salvamento detectan y localizan las radiobalizas de emergencia activadas por personas, aeronaves o buques en peligro y transmiten esta alerta a las autoridades que inician las actividades de salvamento. El servicio SAR de Galileo reduce significativamente el tiempo necesario para detectar una radiobaliza de socorro tras su activación (**< 10 minutos**) y aumenta la precisión de la localización (radio de incertidumbre **< 5 km** y **< 100 m** en el futuro).

El servicio SAR de Galileo es el que más contribuye al sistema SAR de órbita terrestre media de Cospas-Sarsat (MEOSAR) en términos de activos del segmento terrestre y espacial, con **más de 24 respondedores SAR** en órbita<sup>4</sup> y **4 estaciones terrestres MEOLUT** que transmiten la emergencia a las autoridades de búsqueda y salvamento. Se compone de dos servicios:

- En el **servicio de enlace directo de Galileo**, los respondedores SAR de Galileo recogen las señales emitidas por las radiobalizas de socorro en la banda de 406 MHz y difunden esta información a estaciones terrestres especializadas (MEOLUT) en la banda L a 1 544,1 MHz. Estas señales de enlace descendente transmitidas por las cargas útiles SAR de Galileo son utilizadas por los MEOLUT para generar la ubicación de la radiobaliza, que luego se retransmite a los primeros intervinientes a través de los centros de control de misiones específicos de Cospas-Sarsat.

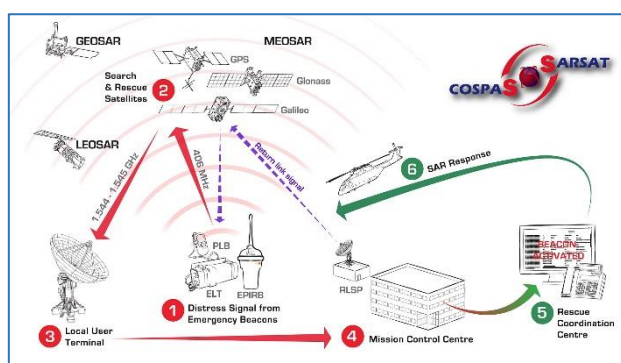


Gráfico 12. Concepto operativo

- El **servicio de enlace de retorno de Galileo (RLS)** permite enviar a través de la señal de navegación L1 de Galileo un mensaje de acuse de recibo al usuario en dificultades que indica que la alerta ha sido detectada y localizada. Permite varias características adicionales, como la **activación a distancia de radiobalizas**, que permitirá a los usuarios autorizados (operadores de aeronaves, centros de control de salvamento marítimo) activar a distancia una radiobaliza de socorro en caso, por ejemplo, de desaparición de aeronaves o de retraso de un buque. Esta funcionalidad para las aplicaciones de aviación se ha normalizado en el [documento ED-277 de EUROCAE](#).

Además, se está evaluando la posibilidad de incorporar **comunicación bidireccional** a través del servicio de enlace de retorno. Esta funcionalidad permitirá a los operadores de salvamento intercambiar mensajes a través de preguntas y respuestas codificadas previamente y enviar instrucciones (cómo reaccionar) a los usuarios en dificultades equipados con radiobalizas Cospas-Sarsat. Del mismo modo, un futuro servicio **para compartir localizaciones de socorro** permitiría a los operadores de salvamento compartir la posición de un usuario en dificultades con otros usuarios cercanos y propiciar operaciones de salvamento más rápidas.

El [documento de definición de servicio del SAR de Galileo](#) describe las características y prestaciones del servicio, mientras que los [informes trimestrales de rendimiento del SAR de Galileo](#) reflejan el nivel de prestaciones del servicio SAR de Galileo con respecto a los objetivos del nivel mínimo de rendimiento (MPL) especificados en el documento de definición de servicio del SAR de Galileo.

Puede encontrar más información en el [documento de definición de servicio del SAR](#), en el [sitio web del SAR del GSC](#).

<sup>4</sup> En 2022, Rusia contaba con 2 respondedores SAR, mientras que los Estados Unidos tendrán su primer SART para la banda L operativo a partir del bloque B del GPSIII. Los actuales respondedores estadounidenses no emiten en la banda de frecuencias asignada a Cospas-sarsat.

### 3.2.8 Contribución a los servicios de seguridad de la vida humana

Galileo contribuye a los **servicios de control de integridad normalizados o a los servicios de seguridad de la vida humana** mediante el suministro de señales del servicio abierto e información específica que se combinan con [sistemas de aumentación](#):

- Sistemas de aumentación basados en satélites (SBAS), como EGNOS.
- Sistemas de aumentación basados en la aeronave (ABAS), como la vigilancia autónoma de la integridad en el receptor (RAIM) y la vigilancia autónoma de la integridad en el receptor avanzada (ARAIM).
- Sistemas de aumentación basados en tierra (GBAS).

El uso de señales de GNSS y sus servicios de aumentación es una **tecnología fundamental en la aviación** y ha sido normalizado por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). La OACI prevé la evolución de los sistemas de navegación actuales, aprovechando el entorno multiconstelación con señales de doble frecuencia (en las bandas E1 y E5a).

**ARAIM** es la evolución hacia la multiconstelación y la multifrecuencia de la RAIM actual, que se basa en el GPS y en una única frecuencia solamente.

La definición del concepto de la ARAIM ha sido desarrollada por el Grupo de Trabajo C en el contexto de la cooperación entre la UE y los EE. UU. en materia de navegación por satélite, y posteriormente formalizada a nivel internacional en el marco del Grupo Experto en Sistemas de Navegación (NSP) de la OACI. Durante el desarrollo del concepto, el Grupo de Trabajo C publicó tres informes, siendo el último el [informe sobre hito III](#).

La introducción de la ARAIM se llevará a cabo de forma progresiva:

- En primer lugar la **ARAIM horizontal (H-ARAIM)**, que apoyará la navegación en ruta y se incluirá en la primera versión de las especificaciones de rendimiento operativo mínimo (MOPS) respecto de la bifrecuencia multiconstelación (DFMC).
- A continuación, la **ARAIM vertical (V-ARAIM)**, que prestará apoyo a la navegación vertical dirigida a operaciones LPV200.

*Cuadro 4. Características principales de la RAIM frente a la V-ARAIM*

	RAIM	ARAIM
<b>Operaciones</b>	Hasta RNP 0,1	LPV 200
<b>Categoría de peligro</b>	Grave	Peligroso
<b>Señales</b>	L1CA	L1CA/E1-L5/E5a
<b>Modelo de amenaza</b>	Un solo fallo únicamente	Fallos múltiples
<b>Modelo de error nominal</b>	Función gaussiana Utiliza difusión con enlace por GPS	Función gaussiana + sesgo nominal/máx. validado mediante vigilancia en tierra independiente
<b>Constelaciones</b>	GPS	Multiconstelación

Las operaciones de ARAIM permitirán aproximaciones verticales hasta CAT I / LPV-200 y, por tanto, redundancia en las zonas cubiertas por SBAS, y también tendrán una **cobertura mundial** que puede favorecer la navegación ártica.

Galileo apoya formalmente la ARAIM gracias a los compromisos necesarios en el servicio abierto, reflejados en la documentación del programa Galileo (documento de definición del servicio abierto, DCI de la señal en el espacio) y en las normas de aviación (normas y métodos recomendados de la OACI), según sea necesario.



### 3.2.9 Contribución a la información meteorológica espacial

Los **fenómenos meteorológicos espaciales** relacionados con la actividad solar y la interacción con la magnetosfera terrestre pueden afectar tanto a las infraestructuras terrestres como a las espaciales, lo que puede dar lugar a **perturbaciones o al deterioro de las prestaciones** de los servicios por satélite en todo el mundo, causando a veces también daños a equipos y sistemas.

Los GNSS pueden verse afectados por fenómenos electromagnéticos, en particular los que se producen en la ionosfera. Los efectos sobre la navegación de GNSS pueden incluir el deterioro de los servicios de PNT, la interrupción temporal de la posición y la temporización o la pérdida total de visibilidad de una o varias señales de satélite. Teniendo en cuenta la creciente dependencia de la navegación por satélite, cada vez es más importante anticipar los posibles deterioros e informar/alertar de ello a los usuarios.

A día de hoy, **EGNOS** ya ofrece modelización ionosférica en tiempo real para Europa, incluido el contenido electrónico total vertical (VTEC) y su límite, mientras que **Galileo** proporciona un modelo ionosférico en tiempo real a escala mundial, mucho más preciso que el modelo Klobuchar incluido en el mensaje de navegación GPS.

Además, Galileo proporcionará una **capacidad integrada de vigilancia y predicción** de la meteorología espacial, lo que permitirá:

- Cuantificar, predecir y prever laposible degradación de las prestaciones del GNSS para el usuario final mediante la vigilancia y la previsión:
  - índices solares y geomagnéticos, como F10.7, R12, Kp, Ap, Dst, en cuanto parámetros que caracterizan los fenómenos solares y el flujo previsto de partículas hacia la Tierra.
  - Parámetros de actividad de la ionosfera, como por ejemplo el contenido electrónico total y sus derivados, así como fenómenos de centelleo.
  - Prestaciones del GNSS a nivel de usuario, como errores de posicionamiento y temporización, y probabilidad de pérdida de la señal por parte del receptor.
- Alertar a los usuarios del GNSS a su debido tiempo de próximos fenómenos intensos que puedan deteriorar o interrumpir los servicios de GNSS y permitir así una reacción oportuna al peligro y la activación de estrategias de mitigación.

Este servicio procesará una **cantidad ingente de datos externos** que, a su vez, alimentarán los algoritmos de vigilancia y previsión. Entre las categorías pertinentes de sensores figuran las redes geodésicas (por ejemplo, el IGS o la EUREF), las misiones solares y de la heliosfera, los sensores espaciales para métodos de datos de radioocultación, otros sensores o redes terrestres (por ejemplo, sondas ionosféricas) y los datos internos de la infraestructura del sistema Galileo/EGNOS (por ejemplo, estaciones de sensores de Galileo).

En todo el mundo existen varias plataformas polivalentes de vigilancia de la meteorología espacial que proporcionan boletines a diversos usuarios del espacio que requieren conocer la meteorología espacial antes de sus operaciones: vuelos espaciales tripulados, lanzadores, vigilancia espacial, etc. Este servicio de Galileo se despliega como **plataforma exclusiva de Galileo que permite predecir el nivel de prestaciones para sus usuarios del GNSS**.

El programa Galileo se encuentra en proceso de introducir esta capacidad como plataforma web en el portal del Centro de Servicios Galileo.

La declaración inicial de servicios está prevista para **2024**, y en la hoja de ruta se prevén avances periódicos para tener en cuenta la mejora de los algoritmos de predicción o los nuevos métodos de recogida de datos.

### 3.2.10 Hoja de ruta para los servicios de Galileo

El [Gráfico 13](#) ofrece una visión general de los objetivos de la Comisión Europea para los distintos servicios de Galileo en el período 2023-2025.

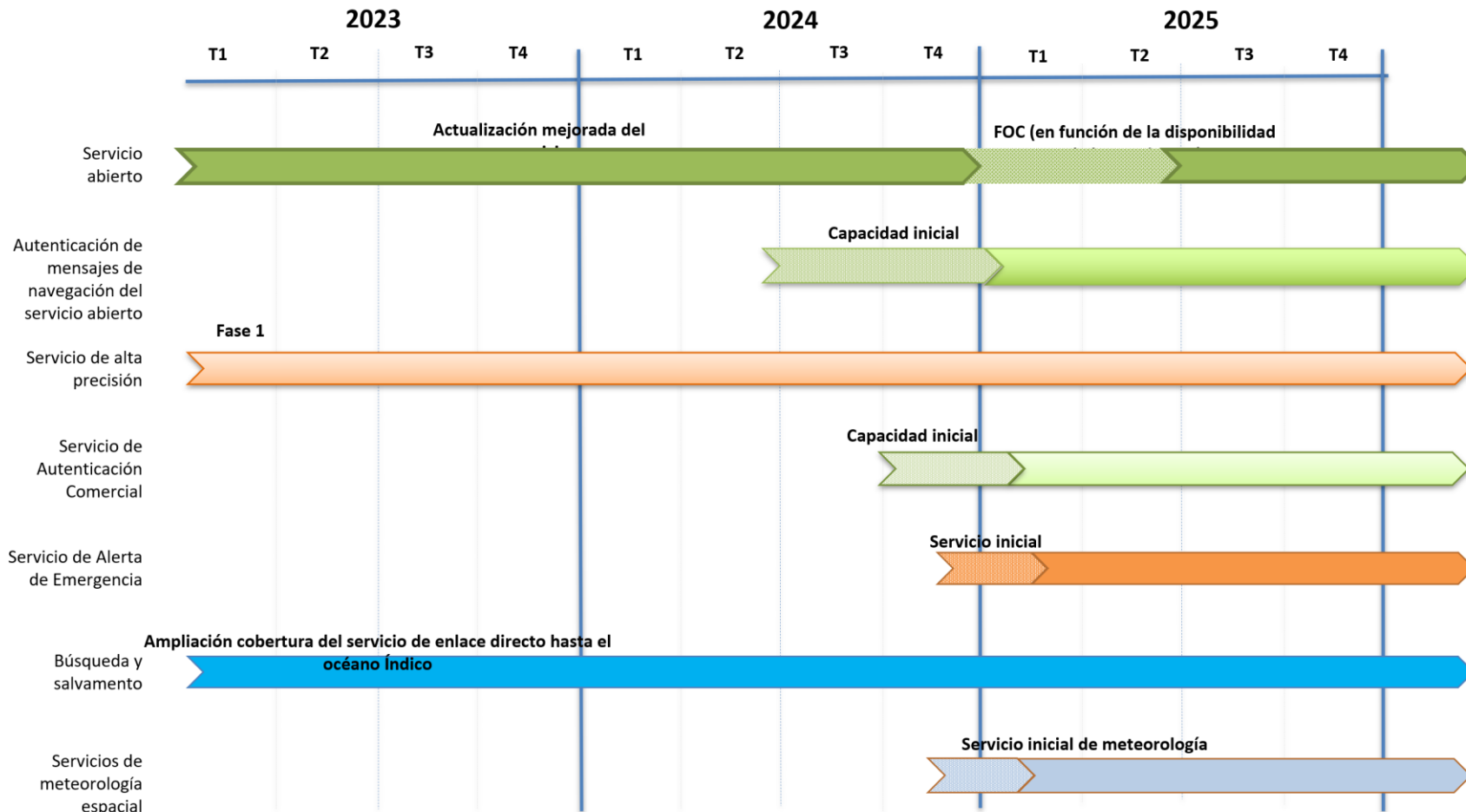


Gráfico 13. Hoja de ruta de los servicios de Galileo

### 3.3 Servicios EGNOS

EGNOS (Sistema Europeo de Navegación por Complemento Geostacionario) es el **servicio europeo de aumentación por satélite (SBAS)** que complementa los servicios de navegación por satélite GPS (y de Galileo en el futuro).

EGNOS está compuesto por un segmento espacial (satélites geostacionarios), un segmento terrestre (estaciones de referencia, estaciones maestras y estaciones de enlace ascendente), un segmento de usuario (receptores de usuario que procesan las señales SBAS) y un segmento de apoyo (para apoyar la prestación de los servicios SBAS).

Las estaciones de referencia de EGNOS están repartidas principalmente por la geografía de Europa y reciben señales de GNSS, que transmiten a las estaciones maestras. Dado que la ubicación de las estaciones de referencia se conoce con exactitud, las estaciones maestras pueden calcular con precisión las correcciones de área amplia. Estas correcciones se envían a las estaciones dedicadas al enlace ascendente hacia los satélites EGNOS que las transmiten a los receptores de GNSS en toda la zona de cobertura SBAS.

Los servicios ofrecidos por EGNOS incluirán:

- Un **servicio abierto de EGNOS**, que no tendrá coste directo para los usuarios y ofrecerá información de posicionamiento y sincronización destinada principalmente a las aplicaciones de masa de la navegación por satélite para uso de los consumidores.
- Un **servicio de acceso a los datos EGNOS**, que no tendrá coste directo para los usuarios y proporcionará información de posicionamiento y sincronización, destinado principalmente a las aplicaciones de navegación por satélite para uso profesional o comercial, con mejores prestaciones y datos con un valor añadido superior a los obtenidos a través del servicio abierto de EGNOS.
- Un **servicio de seguridad de la vida humana**, que no tendrá coste directo para los usuarios y proporcionará información de posicionamiento y sincronización horaria con un alto nivel de continuidad, disponibilidad y exactitud, incluido un mensaje de integridad para alertar a los usuarios en caso de disfunción o de señales de rebasamiento de tolerancia emitidas por Galileo y otros GNSS que EGNOS aumente en la zona de cobertura, destinado principalmente a los usuarios para los que la seguridad es esencial, en particular en el sector de la aviación civil a efectos de los servicios de navegación aérea, de conformidad con las normas de la OACI o de otros sectores del transporte.

Los **documentos de definición de servicio de EGNOS** para el [servicio abierto](#), el [servicio de acceso a los datos EGNOS](#) y el [servicio de seguridad de la vida humana](#) describen las características y las prestaciones de los servicios EGNOS.

Los [informes mensuales de rendimiento de EGNOS](#) proporcionan información detallada sobre el rendimiento del servicio abierto, el servicio de acceso a los datos EGNOS y el servicio de seguridad de la vida humana prestados por EGNOS con respecto a los objetivos de nivel mínimo de prestaciones especificados en sus respectivos documentos de definición de servicio.

Los servicios actuales de EGNOS (denominados EGNOS V2) proporcionan la aumentación de la señal GPS L1.

La segunda generación de EGNOS (denominada EGNOS V3) permitirá la aumentación de las señales GPS y Galileo L1 y L5. Las **especificaciones técnicas y operativas de EGNOS V3** se establecen mediante una [Decisión de Ejecución de la Comisión](#).

Se ofrece más información sobre cada uno de los servicios en las secciones siguientes, así como en el [sitio web del proveedor de servicios de EGNOS](#) y en sus documentos de definición de servicio.

### 3.3.1 Servicio abierto de EGNOS

El servicio abierto de EGNOS, disponible desde el **1 de octubre de 2009**, presta **servicios de posicionamiento y temporización** para usuarios monofrecuencia equipados con un receptor compatible con SBAS.

El principal objetivo del sistema abierto de EGNOS es **mejorar la precisión de posicionamiento de GNSS alcanzable** mediante el *aumento* de la exactitud de alcance de las señales de GNSS. El aumento de la precisión es posible, ya que EGNOS corrige varias fuentes de error de alcance del GNSS: los relojes u orbitas del satélite y los efectos ionosféricos. Además, EGNOS también puede detectar distorsiones que afectan a las señales transmitidas por el GNSS e impedir que los usuarios rastreen señales poco saludables o engañosas que puedan dar lugar a un posicionamiento inexacto.

Las **prestaciones** habituales del servicio abierto de EGNOS para los territorios de la UE incluyen precisiones horizontales y verticales mejores que 3 m y 4 m (95 %), respectivamente, y precisiones de temporización mejores que 20 ns (3 sigma) durante más del 99 % del tiempo.

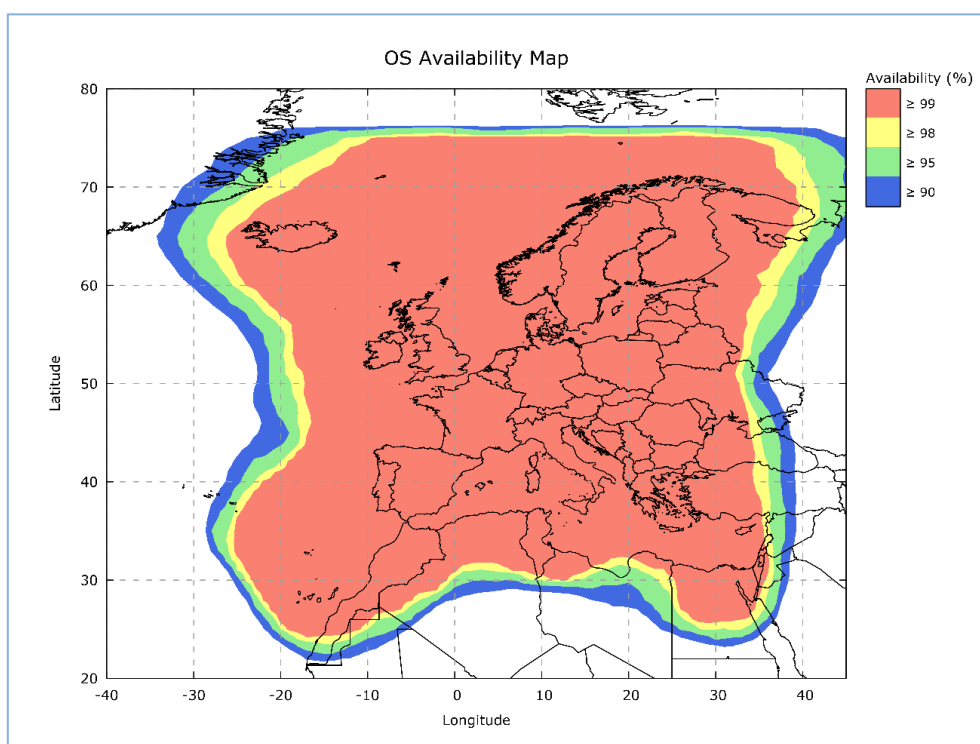


Gráfico 14. Disponibilidad del servicio abierto de EGNOS (fuente: [documento de definición de servicio del servicio abierto de EGNOS](#))

El servicio abierto de EGNOS se utiliza para  **fines que no sean críticos para la seguridad**  (es decir, el hecho de que no se disponga de información del servicio abierto de EGNOS o dicha información sea incorrecta no puede causar ningún daño personal directo o indirecto, en particular lesiones corporales o fallecimiento).

Los principales **usuarios** del servicio abierto de EGNOS son la agricultura de precisión, las aplicaciones de transporte como el transporte marítimo, ferroviario o por carretera y, en general, cualquier comunidad de usuarios interesada en obtener una mejor precisión de posicionamiento.

### 3.3.2 Servicio de seguridad de la vida humana de EGNOS

El servicio de seguridad de la vida humana de EGNOS ofrece el nivel más exigente de prestaciones de señal en el espacio a todas las comunidades de usuarios de este servicio, lo que requiere una **información de advertencia mejorada y garantizada sobre su rendimiento y la integridad**.

Está adaptado a las **aplicaciones de transporte críticas para la seguridad**. En la actualidad se presta a la comunidad de la aviación y, en el futuro, a las comunidades marítima y de otro tipo.

#### 3.3.2.1 Servicio de seguridad de la vida humana de EGNOS para la aviación

Disponible desde el **2 de marzo de 2011**, el principal objetivo de este servicio prestado por EGNOS es prestar apoyo a las operaciones de aviación civil hasta unos mínimos de la función de localizador con guía vertical (LPV) (también denominadas operaciones de aproximación con guía vertical).

El **servicio de seguridad de la vida humana de EGNOS se articula en dos niveles** que permiten las siguientes operaciones basadas en SBAS, de conformidad con el [anexo 10, volumen I, de las normas y métodos recomendados de la OACI](#):

- Operaciones de aproximación que no son de precisión (NPA) y otras operaciones de vuelo conforme a especificaciones de navegación PBN distintas de RNP APCH, no solo para aproximaciones, sino también para otras fases de vuelo.
- Operaciones de aproximación con guía vertical (APV-I) conforme a la especificación de navegación PBN RNP APCH hasta unos mínimos de LPV tan bajos como 250 pies.
- Aproximación de precisión de categoría I con un límite de alerta vertical (VAL) igual a 35 m y conforme a la especificación de navegación PBN RNP APCH hasta unos mínimos de LPV tan bajos como 200 pies.

El uso operativo del servicio de seguridad de la vida humana de EGNOS podrá requerir una autorización específica de las autoridades de aviación civil pertinentes.

Este servicio de EGNOS es accesible a cualquier usuario equipado **con un receptor certificado EGNOS**, de conformidad con las especificaciones de rendimiento operativo mínimo (MOPS) para SBAS de la RTCA [DO-229](#)<sup>5</sup> y situado en la zona adecuada del servicio de seguridad de la vida humana de EGNOS correspondiente a la fase de vuelo en la que se utilice este servicio de EGNOS (tal como se indica en el documento de definición del servicio de seguridad de la vida humana de EGNOS).

La señal del servicio de seguridad de la vida humana de EGNOS también llega a territorios fuera de la UE. En este caso, la autorización y la supervisión de la seguridad del uso de EGNOS en la aviación civil son responsabilidad exclusiva del tercer país de que se trate. La **UE respalda el uso operativo de los procedimientos basados en EGNOS en terceros países con un nivel de seguridad equivalente** al del cielo único europeo, siempre que exista un acuerdo entre la UE y el tercer país sobre el uso de este servicio de EGNOS<sup>6</sup>.

Las **prestaciones** más habituales del servicio de seguridad de la vida humana de EGNOS incluyen la disponibilidad del servicio NPA mejor que el 99,9 % para el espacio aéreo europeo y mejor que el 99 % para los servicios APV-I y LPV-200 (excepto Azores y parcialmente algunas partes de Canarias, Chipre y el norte de Escandinavia).

<sup>5</sup> MOPS DO 229 de la RTCA (revisiones C, D, modificación 1, o E).

<sup>6</sup> A principios de 2023, existen operaciones basadas en EGNOS en los siguientes Estados no pertenecientes a la UE: Noruega, Suiza, Bailía de Guernesey, Bailía de Jersey, Islandia, Serbia y Montenegro.

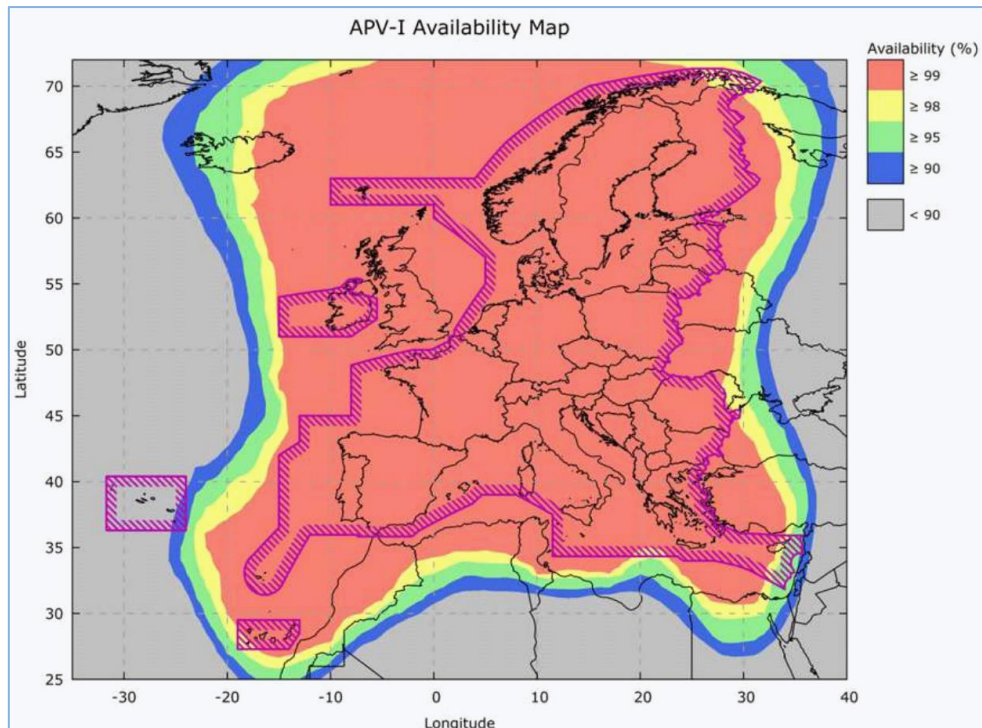


Gráfico 15. Disponibilidad del servicio de seguridad de la vida humana de EGNOS (fuente: [documento de definición del servicio de seguridad de la vida humana de EGNOS](#))

EGNOS V3 (es decir, la próxima generación EGNOS) proporcionará servicios mejorados con arreglo al siguiente planteamiento de implantación:

- **EGNOS v3.1**, en servicio antes de 2030, tiene por objeto proporcionar **plena conformidad con los requisitos de la OACI en todos los territorios de la UE** cuando se utilicen señales GPS L1.
- **EGNOS v3.2**, en servicio en torno a 2030, tiene como finalidad:
  - Prestar servicios DFMC (frecuencia dual L1/L5, multiconstelación GPS/Galileo) con una mayor disponibilidad del 99,9 % para el nivel de servicio LPV-200 y un nuevo nivel de servicio dirigido a VAL = 10 m, lo que puede permitir la aprobación de capacidades operativas adicionales.
  - Ampliar los servicios GPS de L1 heredados a los territorios meridionales<sup>7</sup> y orientales<sup>8</sup> cubiertos por la política europea de vecindad.

Además, la **autenticación de los mensajes SBAS** está actualmente en fase de inclusión en la norma sobre DFMC del SBAS y, a partir de entonces, reforzará la resiliencia de los servicios de DFMC del SBAS.

<sup>7</sup> Argelia, Egipto, Israel, Jordania, Líbano, Libia, Marruecos, Palestina y Túnez.

<sup>8</sup> Armenia, Azerbaiyán, Bielorrusia, Georgia, Moldavia y Ucrania.



### 3.3.2.2 Servicio de seguridad de la vida humana de EGNOS para el transporte marítimo

La prestación de servicios EGNOS a los usuarios marítimos se articula en tres fases:

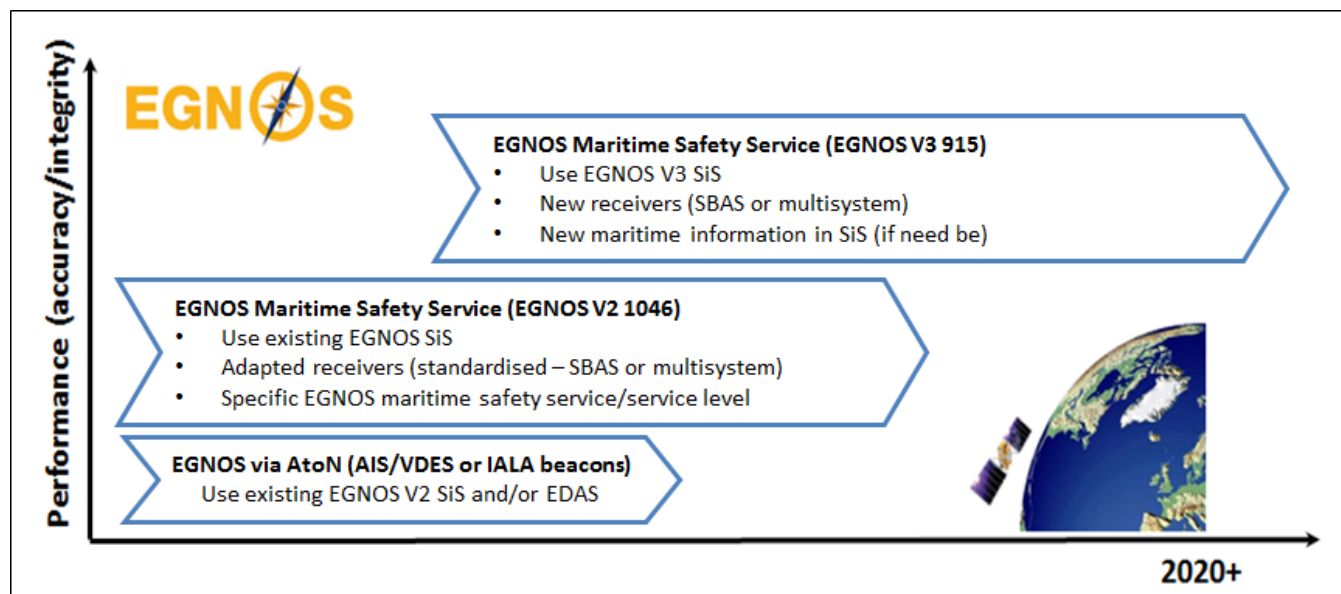


Gráfico 16. Fases de la implantación del servicio de seguridad de la vida humana de EGNOS para el transporte marítimo

- **Fase 1: las correcciones EGNOS se transmiten a través de las ayudas a la navegación (AtoN) existentes**  
El actual servicio L1 de seguridad de la vida humana de EGNOS se utiliza como fuente para las correcciones diferenciales transmitidas a través de las balizas de la IALA y las estaciones AIS (AtoN) existentes de conformidad con las [Directrices G1129 de la IALA sobre la retransmisión de correcciones SBAS utilizando radiofaros de frecuencia media y AIS](#).
- **Fase 2: servicio marítimo L1 de EGNOS + receptores L1 específicos**  
El actual servicio L1 de seguridad de la vida humana de EGNOS se adaptará a los usuarios marítimos facilitando la siguiente **información adicional**:
  1. Compromisos de señal en el espacio en relación con los errores ionosféricos y el alcance (órbitas + reloj)
  2. Alertas de integridad (alertas referentes al sistema, alertas referentes al satélite, alertas ionosféricas)
  3. Información sobre seguridad marítima para informar sobre las interrupciones previstas/imprevistas

Además, se está **elaborando una norma de ensayo de la CEI para los SBAS en el receptor a bordo del buque (IEC 61108-7)** que permitirá obtener el certificado de tipo del receptor para el tratamiento de este servicio marítimo L1 de EGNOS.

Este servicio será utilizado por los receptores a bordo de los buques para calcular una solución de navegación acorde con las prescripciones operacionales incluidas en la [Resolución A.1046 de la OMI](#) para la navegación marítima en aguas oceánicas, bocanas de puertos, aproximaciones a puertos y aguas costeras.

Cuadro 5. Resolución A.1046 de la OMI sobre las prescripciones operacionales

	Aguas oceánicas	Bocanas de puertos, aproximaciones a puertos y aguas costeras
<b>Precisión (95 %)</b>	100 m	10 m
<b>Integridad del sistema (tiempo para la alarma)</b>	Tan pronto como sea posible mediante la información sobre seguridad marítima	En un plazo de 10 s
<b>Disponibilidad de la señal</b>	99,8 %	99,8 %
<b>Continuidad</b>	N/A	99,97 % (más de 15 minutos)

La declaración de este servicio marítimo EGNOS está prevista para  **finales de 2023**.

- **Fase 3: Servicio marítimo DFMC de EGNOS + nuevos receptores de radionavegación multisistema de a bordo (MSR) específicos**

El futuro servicio DFMC de EGNOS permitirá **mejorar la navegación** con arreglo a las Resoluciones [A.915\(22\)](#) y [A.1046\(27\)](#) de la OMI en las bocanas de puertos, aproximaciones a puertos y aguas costeras cuando el procesamiento se realice mediante receptores de radionavegación multisistema de a bordo adaptados.

### 3.3.2.3 Servicio ferroviario de EGNOS para la localización de trenes

Se **prevé** que la introducción de servicios EGNOS que cubran las **aplicaciones relacionadas con la seguridad** ferroviaria  **aumente la seguridad** y la capacidad de la red ferroviaria, reduciendo al mismo tiempo los costes operativos.

Actualmente se está estudiando la inclusión de EGNOS en el Sistema Europeo de Gestión del Tráfico Ferroviario (ERTMS) y la definición de este servicio ferroviario de los EGNSS para la localización de trenes.

## 3.3.3 Servicio de acceso a los datos EGNOS (EDAS)

El EDAS es el **punto único de acceso terrestre para los datos EGNOS**, incluidos los generados por la infraestructura terrestre de EGNOS, principalmente las estaciones de telemetría y control de integridad (RIMS) y las estaciones terrenas terrestres de navegación (NLES).

Los servicios del EDAS son **accesibles a través de internet**, independientemente de que la órbita geoestacionaria de EGNOS sea visible. Este aspecto es especialmente importante en los cañones urbanos, los terrenos montañosos u otras zonas con visibilidad limitada de los satélites en órbita geoestacionaria.

El EDAS es **accesible a los usuarios registrados** en los países participantes de EGNOS (Estados miembros, Noruega, Suiza e Islandia) y a otros usuarios previa inscripción y autorización de la Comisión Europea.

Además, la infraestructura de transmisión de las vías marítimas y de navegación interior existente (balizas de la IALA o estaciones base AIS) puede recurrir a la **retransmisión de correcciones DGPS basada en el EDAS**.

El EDAS está disponible de forma gratuita desde el **26 de julio de 2012** y solo puede utilizarse para fines no críticos para la seguridad.

### 3.4 Políticas y medidas recomendadas en la UE en materia de PNT

Esta sección se centrará en las principales políticas y medidas de la UE en materia de PNT e incluirá:

1. Un **resumen**, por segmento de mercado, **de las principales iniciativas de la UE pertinentes para los servicios y sistemas de PNT**, con un énfasis en el papel de los servicios de los GNSS europeos.
2. **Recomendaciones**, incluidas las relativas a la normativa o la normalización, destinadas a:
  - Facilitar el uso de Galileo y EGNOS en los segmentos de mercado pertinentes.
  - Aumentar la resiliencia de los servicios de PNT, especialmente en el caso de las infraestructuras críticas.

Asimismo, esta sección aborda la recomendación 4, letra c), del [Informe Especial n.º 07/2021](#) del Tribunal de Cuentas Europeo. Los calendarios para cada segmento de mercado pertinente en los que la normativa o la normalización puedan facilitar el uso de Galileo se detallan en el [APÉNDICE C: Reglamentos y normas](#). Las futuras versiones del PER reflejarán la evolución del uso de Galileo en diferentes segmentos de mercado.

Antes de pasar a analizar las políticas de la UE en materia de PNT por segmento de mercado, en el [Gráfico 17](#) se ilustra el uso que suele darse a los sistemas de PNT en los distintos segmentos de mercado:

- Partiendo del **círculo interior**, los servicios de los **GNSS mundiales y regionales** se están utilizando ampliamente en todos los segmentos de mercado y pueden considerarse la columna vertebral de todos los servicios de PNT. El motivo es el coste relativamente bajo, el excelente rendimiento y la facilidad de uso de los receptores de GNSS.
- El segundo círculo muestra los servicios de los **GNSS de aumentación** que también sirven a todos los segmentos de mercado y ofrecen un mejor rendimiento para los servicios de valor añadido (por ejemplo, integridad para aplicaciones de seguridad de la vida humana o alta precisión en PPP).
- El círculo exterior muestra que los sistemas de **PNT convencionales** se utilizan principalmente en los ámbitos aéreo y marítimo, mientras que las **tecnologías emergentes** tienen potencial para servir a todos los segmentos de mercado, incluidos aquellos entornos en los que el uso de los servicios de GNSS es más difícil (por ejemplo, en interiores).

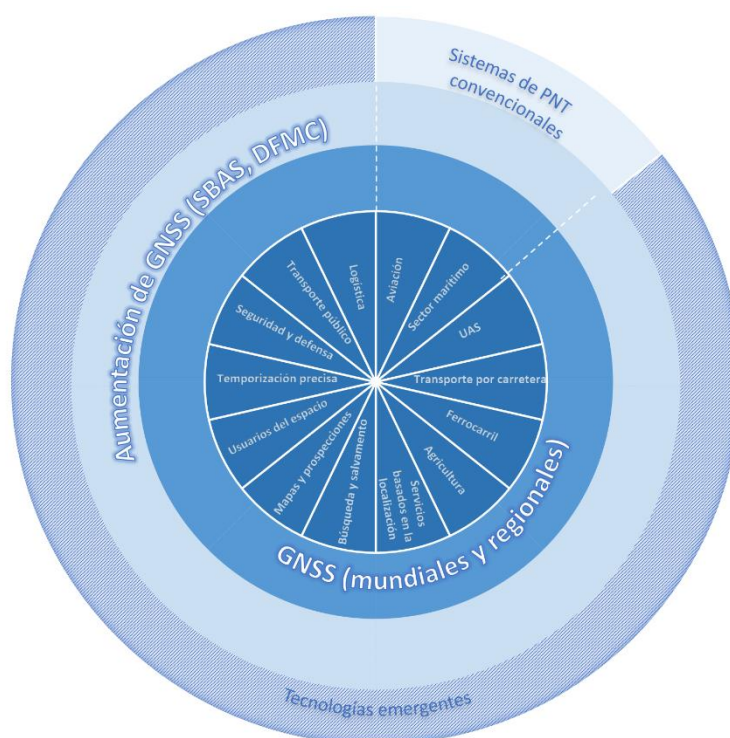


Gráfico 17. Visión general de las tecnologías por ámbito

### 3.4.1 Resiliencia de las infraestructuras críticas europeas

Garantizar la **resiliencia de las entidades que utilizan infraestructuras críticas para prestar servicios esenciales** sigue ocupando un lugar destacado entre las prioridades de la Unión Europea y de sus Estados miembros. Tanto la [Estrategia de la UE para una Unión de la Seguridad 2020-2025](#) como la [Agenda de Lucha contra el Terrorismo de la UE](#) pusieron de relieve la importancia de garantizar la resiliencia de las infraestructuras críticas frente a los riesgos físicos y digitales. La pandemia de COVID-19 ha puesto de manifiesto graves y complejas amenazas para los servicios de los que dependen la vida de los ciudadanos europeos y el buen funcionamiento del mercado interior. La resiliencia de las infraestructuras críticas es un aspecto destacado en diversas declaraciones políticas clave, como la [Declaración de Versalles](#) de los dirigentes de la UE.

La [Comisión Europea apoya a los Estados miembros](#) para garantizar la resiliencia a varios niveles:

- La [Directiva \(UE\) 2022/2557, relativa a la resiliencia de las entidades críticas](#) (Directiva REC), que establece la obligación de identificar a las entidades críticas de diferentes sectores con el fin de aumentar su resiliencia, garantizando que los servicios que sean esenciales para el mantenimiento de funciones sociales o actividades económicas vitales se presten sin obstrucciones en el mercado interior.

La Directiva reforzará la resiliencia frente a diferentes amenazas, **garantizando que las entidades críticas tengan capacidad de prevención, resistencia, absorción y recuperación ante incidentes que puedan tener efectos perturbadores**, independientemente de que estén causados por peligros naturales, atentados terroristas, amenazas internas o sabotaje, así como emergencias de salud pública como la reciente pandemia de COVID-19. La Directiva refleja la cada vez más compleja realidad operativa, el cambio de perspectiva de la «protección» a la «resiliencia» en el mundo académico, la industria y la elaboración de políticas. Los riesgos de ciberseguridad no están incluidos en el ámbito de aplicación de la Directiva REC.

Frente a un panorama de riesgos cada vez más complejo, la Directiva tiene un ámbito de aplicación sectorial más amplio que permitirá a los Estados miembros y a las entidades críticas abordar mejor las interdependencias y los posibles efectos en cascada de un incidente. **Entran en su ámbito de aplicación once sectores:** energía, transporte, banca, infraestructuras de los mercados financieros, sanidad, agua potable, aguas residuales, infraestructura digital, administración pública, espacio, y producción, transformación y distribución de alimentos.

Los **servicios de PNT y su resiliencia son importantes para muchos de los sectores** cubiertos por la Directiva, en particular para el transporte, la energía, las telecomunicaciones y las finanzas, por lo que deben evaluarse como parte de las **evaluaciones de riesgos** que deben llevar a cabo las entidades críticas y las **medidas de aumento de la resiliencia** aplicadas cuando sea necesario. Dado que la Directiva REC también abarcará los segmentos terrestres de la infraestructura espacial explotada por los Estados miembros o por operadores privados, también aumentará la resiliencia de las entidades que prestan servicios de PNT a otros sectores de la economía.

Por último, la Directiva sienta las bases para una **cooperación más estrecha a nivel de la UE** y también sirve como punto de referencia para las actividades legislativas y reglamentarias en el ámbito de las infraestructuras críticas fuera de la UE.

- La [Directiva \(UE\) 2022/2555](#) (Directiva SRI 2), que establece medidas destinadas a garantizar un elevado nivel común de ciberseguridad en toda la Unión para las mismas entidades identificadas con arreglo a la Directiva REC. Incrementará el nivel general de ciberseguridad en la UE promoviendo una cultura de seguridad en todos los sectores y garantizando la preparación y la cooperación de los Estados miembros [por ejemplo, exigiendo el establecimiento de un equipo de respuesta a incidentes de seguridad informática (CSIRT) y creando un [Grupo de Cooperación](#) a fin de apoyar y facilitar la cooperación estratégica y el intercambio de información entre los Estados miembros].
- En octubre de 2022, la Comisión Europea presentó una [propuesta de Recomendación del Consejo para reforzar la resiliencia de las infraestructuras críticas de la UE](#). Se da prioridad a los sectores clave de la energía, la infraestructura digital, el transporte y el espacio.
- El [Reglamento Delegado \(UE\) 2022/30 de la Comisión](#), que impone requisitos en materia de ciberseguridad, privacidad y protección contra el fraude a determinadas categorías de equipos radioeléctricos, incluidos los

utilizados en infraestructuras críticas, como condición para su introducción en el mercado de la UE. La evolución de este acto jurídico constituirá la [Ley de ciberresiliencia](#).

### 3.4.2 Pacto Verde Europeo

Europa se ha propuesto abordar el **reto mundial del cambio climático y la degradación medioambiental**, y desempeñará un papel fundamental a la hora de revertir los daños protegiendo, preservando y restaurando la biodiversidad y los ecosistemas, mitigando las repercusiones del cambio climático causadas por las prácticas humanas y apoyando al mismo tiempo la recuperación del planeta. El compromiso de Europa se ha puesto de manifiesto a lo largo de los años a través de varios acuerdos, iniciativas, políticas y reglamentos. La transformadora estrategia de crecimiento sostenible, conocida como el [Pacto Verde Europeo, y sus iniciativas](#) tienen por objeto lograr la neutralidad climática de aquí a 2050 de manera justa e integradora, fomentando una economía hipocarbónica y resiliente al clima. El Pacto Verde contribuye a la evolución hacia una economía del bienestar que devuelva al planeta más de lo que toma de él, y acelera la transición hacia una economía circular no tóxica en la que el crecimiento sea regenerativo y los recursos se utilicen de manera eficiente y sostenible.

El Pacto Verde Europeo exige capacidades, herramientas y servicios para vigilar las emisiones antropogénicas de carbono, pero también para controlar, analizar, predecir y mitigar los efectos de las actividades humanas en la calidad del suelo, el aire y el agua. La utilización de **datos meteorológicos y de observación de la Tierra**, junto con datos recogidos *in situ* (por ejemplo, a través de sensores terrestres, etc.) y otros datos no obtenidos a través de satélites (por ejemplo, datos móviles, estadísticas, etc.), brinda una capacidad única para realizar un seguimiento a escala mundial, pero con la suficiente precisión, del estado del medio ambiente y los cambios que se produzcan en él, contribuyendo a perfilar las políticas y otras medidas de mitigación y adaptación.

La radioocultación de GNSS proporciona perfiles de vapor de agua *in situ* y se utiliza para **mejorar los pronósticos meteorológicos** y las observaciones a través de GNSS permiten estimar las propiedades geodésicas de la Tierra (campo magnético, atmósfera) en las que se **basa la modelización climática**. Asimismo, los GNSS proporcionan una determinación precisa de las órbitas de los satélites medioambientales LEO que vigilan el cambio climático de la Tierra.

El Programa Espacial de la Unión es un pilar de las transformaciones espaciales en favor de un planeta más sano también gracias a los **datos avanzados de PNT** facilitados por Galileo y EGNOS. Genera beneficios medioambientales con un efecto positivo en los objetivos y actividades del Pacto Verde Europeo, por ejemplo:

- En el **sector marítimo y de la aviación**, los GNSS propician la eficiencia en el cálculo de los itinerarios, lo que conduce a la **reducción** del consumo de combustible y de las **emisiones de gases de efecto invernadero** asociadas, por ejemplo, gracias a la reducción del tiempo que los aviones entrantes dedican a sobrevolar el aeropuerto a la espera de una pista.  
Además, un seguimiento preciso de la posición de la aeronave, así como de las condiciones meteorológicas y de la presencia de zonas con sobresaturación con respecto al hielo, reduciría la generación de **estelas de condensación persistentes y los efectos asociados no relacionados con el CO<sub>2</sub>**.
- En el **sector agrícola**, los GNSS permiten el manejo automático de las máquinas agrícolas y reducen la compactación del suelo, mejorando la salud del suelo y su capacidad para almacenar carbono.
- En el **sector ferroviario**, los sistemas de asesoramiento al maquinista asistidos por GNSS optimizan la conducción de los trenes y reducen el consumo de energía de tracción y, por tanto, las emisiones de gases de efecto invernadero.
- En el **sector del transporte por carretera**, los GNSS permiten que los trayectos sean más cortos y eficientes, lo que reduce el tiempo durante el que el motor de un vehículo se encuentra encendido y, por consiguiente, atenúa el impacto carbónico de cada trayecto.
- En el **sector de la distribución de electricidad**, los GNSS permiten temporizar y sincronizar con precisión la infraestructura de transporte de energía. Este aspecto es fundamental para la proliferación de redes inteligentes y para el mantenimiento de una frecuencia de tensión precisa, necesaria debido al mayor uso de energías renovables para la transición ecológica.
- En el ámbito del **control de las infraestructuras marítimas** (por ejemplo, turbinas eólicas o plataformas petrolíferas), los GNSS permiten un funcionamiento más eficiente de los drones en comparación con los medios tradicionales, lo que reduce drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero.



### 3.4.3 Aviación tripulada

Los servicios de **PNT** (en particular los GNSS y sus aumentaciones mediante SBAS, ABAS y GBAS) **desempeñan un papel clave en la aviación** para los sistemas y aplicaciones de comunicaciones, navegación y vigilancia (CNS) que apoyan la gestión del tránsito aéreo (ATM) y aumentan la capacidad de los aeropuertos y la eficiencia medioambiental y económica (por ejemplo, menor impacto sonoro, rutas más eficientes, ahorro de combustible y reducción de las emisiones), garantizando al mismo tiempo la seguridad:

- En las **comunicaciones**, contar con una **referencia temporal fiable**, como la basada en GNSS, es clave para aplicaciones como la sincronización de las redes terrestres y las comunicaciones por enlace de datos controlador-piloto (CPDLC) que permite las comunicaciones ATC a través del enlace de datos.
- En la **vigilancia**, todo el sistema de vigilancia, desde los sensores hasta el ATC, utiliza una **única referencia temporal**, garantizando que las decisiones de ATC se tomen sobre la base de información fiable de vigilancia (como inconveniente, el GNSS se convierte en un único modo de fallo, lo que aumenta la necesidad de servicios de temporización alternativos). Los beneficios de las prestaciones de un GNSS se reconocen a través de la ADS-B, que integra la información de GNSS. Por ejemplo, el [mandato de los Estados Unidos sobre ADS-B](#) exige de hecho el uso de SBAS para garantizar la viabilidad de las operaciones. Por último, la ADS-B basada en el posicionamiento de GNSS puede permitir la racionalización de la infraestructura SSR.
- En la **navegación**, el GNSS es esencial para implantar la navegación basada en la performance (PBN). Entre las operaciones de navegación, las aproximaciones RNP hasta unos mínimos de la función de localizador con guía vertical (LPV) son la función más esencial proporcionada por la tecnología SBAS, las denominadas **aproximaciones LPV** (es decir, aproximaciones en 3D que proporcionan orientación lateral y vertical similar a las aproximaciones ILS CAT I, pero sin infraestructura terrestre de radionavegación *in situ*). Si los mínimos de la operación de aproximación están por debajo del techo de nubes, la operación es viable, **minimizando las perturbaciones** (es decir, cancelaciones, retrasos o desvíos a otros aeropuertos) **y mejorando la seguridad, la eficiencia y la accesibilidad**. Los mínimos de hasta 250 pies y 200 pies pueden obtenerse en pistas para aproximaciones de precisión y que no sean de precisión, respectivamente, y en ambos casos es posible volar el segmento de aproximación final hasta 100 pies o incluso proceder a la toma de contacto sin contacto visual con el entorno de la pista al **combinar el uso de SBAS con aeronaves equipadas con un sistema de visión en vuelo mejorada (EFVS)**, siempre que el EFVS a bordo tenga las características adecuadas y exista una autorización especial por parte de la autoridad nacional competente.

Cabe mencionar que el GNSS no solo aporta valor añadido a los sistemas terrestres, sino que también lo utilizan ampliamente las aplicaciones y los **sistemas a bordo** de la aeronave, en particular a efectos de temporización.

La **utilización de GNSS ofrece otras ventajas** que se describen en mayor detalle en el [informe sobre las necesidades y demandas de los usuarios de la aviación](#), como las [aproximaciones basadas en el SBAS en las pistas de vuelo visual](#) para los entornos de aviación general (normalmente pequeños aeródromos VFR), las [operaciones de búsqueda y salvamento \(SAR\) con giroaviones](#) a menudo en condiciones no óptimas o las operaciones con helicópteros medicalizados ([HEMS](#)) y la [utilización de la altitud geométrica sobre la base del SBAS](#) para el desarrollo de dispositivos de aviso de proximidad mejorados, como el sistema mejorado de aviso de proximidad al suelo ([EGPWS](#)), en detrimento del clásico sistema de protección de aproximación al suelo ([TAWS](#)) y el control de las altitudes barométricas.

En el futuro, la inclusión de **DFMC de Galileo y EGNOS aportará beneficios adicionales** a la aviación, como la mejora del rendimiento (por ejemplo, mejora de la disponibilidad y la continuidad), zonas de servicio SBAS más amplias, niveles de protección más bajos, lo que significa operaciones más avanzadas, capacidad para apoyar las operaciones CAT III basadas en GBAS en todas las latitudes, mayor solidez frente a las RFI o mitigación de las vulnerabilidades de la ionosfera, o apoyo a aplicaciones futuras, como la navegación 4D a través de GNSS.

Para facilitar el uso de los GNSS para la gestión del tránsito aéreo europeo, existen algunas iniciativas importantes. El [Plan Maestro de Gestión del Tránsito Aéreo Europeo](#) define la **hoja de ruta para el uso de EGNOS y Galileo, en combinación con el GPS, para las diferentes fases de vuelo** (como parte de los sistemas de



CNS). Su hoja de ruta en materia de CNS incluye hitos para el uso operativo de los sistemas de aumentación de GPS y Galileo: EGNOS V3 (SBAS DFMC), ARAIM y GBAS.

El [Reglamento de Ejecución \(UE\) 2018/1048 de la Comisión](#), sobre la navegación basada en la performance, exige la implantación gradual de rutas de **navegación basada en la performance** (PBN) y procedimientos de aproximación para mejorar el diseño del espacio aéreo, favoreciendo así operaciones de aeronaves más seguras, más ecológicas y eficientes y, al mismo tiempo, mejorando la rentabilidad. Exige que, a partir de 2030, todas las rutas SID y STAR se basen únicamente en PBN, siendo el GNSS el principal medio de navegación, y convierte al SBAS en el principal medio de navegación para las operaciones CAT I. Además, requiere la **aplicación de procedimientos de aproximación PBN, incluidos los procedimientos EGNOS** (procedimientos LPV) en todos los fines de pista por instrumentos (IRE) europeos de aquí a 2020 (IRES sin aproximación de precisión) y 2024 (IRES con aproximación de precisión).

Además, y con el objetivo de propiciar la **racionalización de la infraestructura de navegación convencional** y garantizar también un nivel mínimo de servicio con un nivel aceptable de seguridad en caso de contingencia (por ejemplo, interrupción del GNSS), el referido Reglamento de Ejecución excluye expresamente el uso de procedimientos de navegación convencionales a partir del 6 de junio de 2030, excepto en caso de contingencias con la PBN, es decir, situaciones en las que, por razones imprevistas que escapan al control de los proveedores de servicios ATM/ANS, dejen de estar disponibles los GNSS u otros métodos utilizados para la navegación basada en la performance. En estos casos excepcionales, el Reglamento pide que se mantenga una red operativa mínima (MON) de ayudas a la navegación convencionales (por ejemplo, ILS, VOR, DME) para garantizar que los servicios de navegación puedan seguir prestándose sin comprometer la seguridad y la protección en caso de contingencia.

**Por lo tanto, a partir del 6 de junio de 2030, el GNSS será el medio nominal de navegación en el espacio aéreo europeo para todas las fases de vuelo hasta CAT I inclusive, complementado por los sistemas de aterrizaje GBAS e ILS CAT II/III, en caso necesario ([transición a operaciones PBN](#)).**

Aparte de las medidas normativas como el Reglamento de Ejecución, la Unión Europea está facilitando la adopción de los servicios de PNT y de GNSS europeos en las políticas de aviación mediante las siguientes acciones:

- **Apoyar, en particular mediante financiación, la aplicación y el cumplimiento del Reglamento sobre la navegación basada en la performance** a través de diferentes iniciativas orientadas a facilitar tanto el equipamiento de la flota europea con receptores compatibles con el GNSS como la aplicación por parte de los proveedores de servicios de navegación aérea de procedimientos basados en el GNSS.
- **Ampliar el alcance del uso de los EGNSS** para operaciones de giroaviones y aproximaciones basadas en SBAS en pistas de vuelo visual, y desarrollar [herramientas de apoyo a la aplicación de EGNOS](#).
- **Financiar programas** de apoyo a la I+D en aplicaciones de GNSS, como el proyecto SESAR.
- Trabajar en la inclusión de la **multiconstelación de doble frecuencia (DFMC) de Galileo y EGNOS en las normas de aviación** de señal en el espacio del anexo 10, volumen I, de la OACI, y las normas sobre receptores EUROCAE (para las aumentaciones SBAS, A-RAIM y GBAS).

Además, en Europa se están llevando a cabo actividades (por ejemplo, SESAR, EUROCAE, Eurocontrol) para definir **tecnologías complementarias de PNT** que **podrían prestar servicios de PNT seguros y resilientes**, ofreciendo un **sistema de refuerzo eficaz en caso de perturbación del GNSS** y, por tanto, garantizando la continuidad de las operaciones. A corto plazo, esto se centra en la mejora de la infraestructura y la prestación de servicios de DME, lo que probablemente favorecerá la especificación RNP 1. A largo plazo, una combinación adecuada de sistemas de PNT complementarios debería proporcionar servicios de PNT garantizados, que protejan tanto frente a las amenazas de seguridad como de protección, optimizando al mismo tiempo el uso del espectro radioeléctrico de estos sistemas, en consonancia con la [Resolución A41-8C de la Asamblea de la OACI](#).

### 3.4.4 Aviación no tripulada

El mercado de sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS o drones) ha crecido rápidamente en los últimos años. La OACI ha establecido el [Grupo Experto en Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia \(RPASP\)](#) para desarrollar las **normas necesarias para los vuelos internacionales** y el [Grupo asesor sobre sistemas de aeronaves no pilotadas \(UAS-AG\)](#) para asesorar a la Secretaría de la OACI en el desarrollo de material de orientación. La OACI también está creando un [Grupo Asesor sobre Movilidad Aérea Avanzada](#) para proporcionar orientaciones similares en apoyo del desarrollo de la movilidad aérea avanzada y urbana. Los servicios de PNT serán un factor clave para muchas de las aplicaciones de los UAS, como en el caso de la aviación tripulada (por ejemplo, apoyo de los servicios PNT a las aplicaciones CNS).

En Europa, el [Reglamento \(UE\) 2018/1139](#) (el Reglamento de base de la AESA) amplió el ámbito de competencias de la AESA a todas las aeronaves no tripuladas, independientemente de su peso y tamaño, e introdujo un enfoque basado en el riesgo y centrado en las operaciones en la regulación de la seguridad de la aviación, en particular para los drones. Posteriormente, el [Reglamento \(UE\) 2019/947](#) y el [Reglamento \(UE\) 2019/945](#) establecieron [el marco para el funcionamiento seguro de los drones civiles en los cielos europeos](#), distinguiendo tres categorías de operaciones UAS en función del riesgo operacional asociado: categoría «abierta» (para las operaciones de riesgo bajo), la categoría «específica» (para las operaciones de riesgo medio) y la categoría «certificada» (para operaciones de mayor riesgo que conllevan el transporte de personas o mercancías peligrosas).

Por lo que respecta a la [categoría «certificada»](#), las aeronaves no tripuladas (certificadas) que vuelen con arreglo a las reglas de vuelo por instrumentos estarán sujetas a los mismos requisitos de utilización del espacio aéreo y a los mismos procedimientos operativos que las aeronaves tripuladas, que están siendo objeto de examen para garantizar que todas las particularidades de los drones estén debidamente cubiertas. Por lo tanto, gran parte de la sección [3.4.3](#) anterior sobre la aviación tripulada se aplicaría igualmente a dichas aeronaves no tripuladas en términos de PNT. Se trata de la categoría con las prestaciones en materia de PVT más exigentes, especialmente para las operaciones más allá del alcance visual (BVLOS).

Por otra parte, los drones que vuelen en las [categorías «abierta» y «específica»](#) no están sujetos en la actualidad a requisitos específicos de performance de navegación. Es responsabilidad del operador de UAS garantizar que los servicios prestados externamente que sean necesarios para la seguridad de las operaciones de UAS, como los servicios de GNSS, alcancen un nivel de prestaciones adecuado para el funcionamiento y se mantengan durante toda su duración. No obstante, en la [categoría «específica»](#), el solicitante debe definir la zona de riesgo al realizar la operación, lo que incluye el volumen operacional compuesto por la geografía de vuelo y el volumen de contingencia. **Para determinar el volumen operacional, el solicitante debe tener en cuenta las capacidades del UAS para mantener la posición en un espacio 4D (latitud, longitud, altura y tiempo) y, por lo tanto, la precisión de la solución de navegación debe considerarse y abordarse en esta determinación, y dependiendo de la operación (nivel SAIL), la integridad también puede desempeñar un papel clave a la hora de garantizar que la solución de PNT a través de GNSS sea fiable para la operación prevista como entrada en el sistema de navegación del dron.**

En este sentido, la Comisión Europea y la AESA han dado pasos importantes para seguir apoyando al sector de los drones mediante la publicación de normas claras que sientan las bases de las operaciones innovadoras actuales y futuras. Con la adopción del primer marco regulador para el [U-Space](#) [Reglamentos de Ejecución (UE) [2021/664](#), [2021/665](#) y [2021/666](#) de la Comisión] se han introducido las disposiciones aplicables a los operadores de UAS, a los proveedores de servicios de U-Space, a los proveedores de servicios comunes de información y a los PSNA afectados, estableciendo algunos servicios de U-Space obligatorios que deben prestarse siempre que se designe un espacio aéreo U-Space. Los Estados miembros son responsables de determinar los requisitos de rendimiento en un espacio aéreo U-Space designado, sobre la base de una evaluación del riesgo en el espacio aéreo antes de la designación del U-Space.

En la actualidad no existen requisitos armonizados de utilización del espacio aéreo U-Space en términos de capacidades y performances de navegación, pero está previsto que el **GNSS pueda desempeñar un papel en la mejora de los servicios U-Space**, ya que servicios como los de identificación de red, geopercepción, autorización

de vuelo e información sobre el tráfico pueden beneficiarse del uso de GNSS, también en apoyo de la aplicación del [concepto de movilidad aérea urbana](#).

A pesar de que los GNSS ya prestan apoyo a las operaciones de UAS y contribuyen a los servicios de U-Space y a la movilidad aérea urbana, la Comisión Europea está trabajando para seguir facilitando el uso de los servicios de los EGNSS para operaciones con drones con arreglo a una **hoja de ruta interna para el uso del servicio de los EGNSS en drones** que favorecerá el mercado emergente de drones con el desarrollo de servicios de los EGNSS adecuados. En primer lugar, la hoja de ruta considera la siguiente asignación de los servicios de los EGNSS a las operaciones con drones:

EGNSS SERVICES UAS OPS CATEGORIES		GALILEO*				EGNOS**		*Alone or in combination with GPS **With GPS †Support to EGNOS V3 and ARAIM
		OS	HAS	OSNMA	Support to SoL Applications†	OS	SOL	
OPEN		✓	✓	✓		✓		Low Risk
SPECIFIC	L	✓	✓	✓		✓		
	M	✓	✓	✓			✓	
	H				✓		✓	High Risk
CERTIFIED					✓		✓	

Gráfico 18. Asignación de servicios de los EGNSS a las categorías de operaciones con drones

Dado que las operaciones de UAS comprenden un inmenso abanico de casos de uso y entornos operativos, se sigue una metodología gradual que aborda en primer lugar las operaciones de bajo riesgo (que a día de hoy casi han alcanzado un nivel de madurez aceptable), después las operaciones de riesgo medio (que son exigentes en términos de requisitos, pero que están a punto de proliferar debido a un mejor apoyo normativo y de normalización) y, por último, las operaciones de mayor riesgo (que apoyan las aplicaciones futuras más exigentes, como por ejemplo los taxis aéreos en el marco del concepto de la movilidad aérea urbana):

- En el caso de las operaciones de bajo riesgo, se mejorará la información y el apoyo de los EGNSS a los usuarios de UAS (por ejemplo, sitios web, servicio de asistencia).
- Para las operaciones de riesgo medio, se desarrollará un modelo de prestación de servicios de los EGNSS basado en los servicios de los EGNSS existentes o previstos, incluidos también compromisos específicos en materia de DDS en caso necesario, y un concepto operativo / de integridad de navegación de los EGNSS.
- Para las operaciones de alto riesgo, se crearán servicios específicos de los EGNSS para drones, con el objetivo de declarar compromisos específicos en materia de DDS.

Además, se prestará apoyo a la normalización de los EGNSS, principalmente a través de EUROCAE, que ya ha propuesto varios documentos de apoyo a través de su grupo WG-105. En particular, están en curso las siguientes iniciativas en relación con el GNSS:

- ED-301 «**Guidelines for the Use of Multi-GNSS Solutions for UAS Specific Category – Low Risk Operations SAIL I and II**» [Directrices para el uso de soluciones multi-GNSS para la categoría «específica» de UAS: operaciones de bajo riesgo SAIL I y II, documento en inglés], publicadas en 2022 y en las que se tratan aspectos específicos del uso de GNSS para operaciones de bajo riesgo.
- Desarrollo de las «**Guidelines for the use of multi-GNSS solutions for UAS: Medium Risk**» [Directrices para el uso de soluciones multi-GNSS para UAS: riesgo medio, documento en inglés] para ampliar el uso del GNSS por parte de los operadores de UAS en el marco de la categoría «específica» a las operaciones de riesgo medio, cuya publicación está prevista para 2024.

Por último, la Comisión Europea financia varios proyectos en el marco de los programas [Horizonte 2020](#) y [Horizonte Europa](#) para estudiar la performance de navegación de las operaciones de aeronaves no tripuladas (por ejemplo, [REALITY](#) o [EGNSS4RPAS](#)) que están realizando valiosas aportaciones a las iniciativas de normalización y reglamentación.

### 3.4.5 Navegación marítima y por vías navegables interiores

La [Organización Marítima Internacional \(OMI\)](#) establece los parámetros básicos de performance de navegación requerida para el sistema mundial de radionavegación (WWRNS) en su [Resolución A.1046\(27\)](#). La [Asociación Internacional de Ayudas a la Navegación Marítima y Autoridades de Faros \(IALA\)](#) define las normas, recomendaciones y material de orientación adecuados para las autoridades marítimas teniendo en cuenta los requisitos y reglamentos marítimos establecidos, a los que se hace referencia en el Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (Convenio SOLAS) de la OMI. Dado que el sector marítimo es un sector mundial, estas normas, recomendaciones y directrices son fundamentales. [Galileo está reconocido como un componente de la WWRNS desde 2016](#), mientras que la OMI declaró en junio de 2017 que el SBAS no entra en el ámbito de aplicación de la Resolución A.1046(27) de la OMI y, por lo tanto, no es necesario el reconocimiento de la OMI para utilizarlo en el sector marítimo.

La [Resolución A.915\(22\) de la OMI](#) recoge una **relación de aplicaciones marítimas**, reguladas o no, **que requieren conocer la posición o velocidad de la embarcación para la navegación general o cualquier otro fin**. Esta Resolución, que podría ser necesario actualizar en el futuro, es la referencia acordada internacionalmente que resume las necesidades de posicionamiento de los usuarios marítimos. En particular, la **OMI fija los requisitos marítimos para el GNSS**, definiendo requisitos generales, operacionales, institucionales y transitorios.

El transporte acuático se desarrolla en diferentes entornos o fases de navegación:

- **Navegación oceánica:** más allá de la plataforma continental y a más de 50 millas náuticas de la tierra.
- **Navegación costera:** por encima de la plataforma continental o a menos de 50 millas náuticas de la costa.
- **Aproximación y entrada en puerto, y vías navegables interiores:** normalmente tiene lugar en aguas restringidas, en las que los buques deben navegar por canales bien definidos.

Los requisitos de navegación acuática para la navegación general dependen de la fase de la navegación (más información en el [informe de la EUSPA sobre las necesidades de los usuarios de las vías navegables marítimas e interiores](#)).

En 2006, la OMI comenzó a desarrollar, en el seno del Comité de Seguridad Marítima (MSC), el [concepto de navegación electrónica](#) como «la recopilación, integración, intercambio, presentación y análisis armonizados de la información marítima a bordo y en tierra, por medios electrónicos, con el fin de mejorar la navegación puerto a puerto y los servicios conexos para incrementar la seguridad en el mar y la protección del medio marino». Este concepto se basa en unos sólidos servicios de PNT que ofrezcan redundancia suficiente. La resiliencia de los servicios de PNT es uno de los siete pilares de la arquitectura de la navegación electrónica de la OMI. Se espera que el concepto de navegación electrónica generalice el uso de receptores de GNSS multiconstelación y garantice la resiliencia utilizando sistemas alternativos.

Por lo que respecta a la [navegación marítima](#), la [Directiva 2002/59/CE](#), relativa al establecimiento de un sistema comunitario de seguimiento y de información sobre el tráfico marítimo (en su versión modificada), dispone en su anexo III que los **datos de los sistemas de identificación automática (AIS) recogidos por satélite** son una de las interfaces del sistema central SafeSeaNet y, por ende, una **fuentes de datos para los mensajes electrónicos, en particular por lo que respecta a información como la posición del buque**. Es un elemento importante para el seguimiento del tráfico marítimo y, por lo tanto, contribuye a mejorar la seguridad y la eficiencia del tráfico marítimo.

Por lo que se refiere a la [seguridad](#), la OMI publicó unas [Directrices de alto nivel sobre la gestión de los riesgos cibernéticos marítimos \(MSC-FAL.1/Circ.3\)](#), complementadas con otras recomendaciones de asociaciones navieras, la Asociación Internacional de Sociedades de Clasificación (IACS) y la Asociación Internacional de Puertos (IAPH). Las [Directrices sobre ciberseguridad a bordo de buques](#) facilitadas por las asociaciones navieras subrayan que los ciberincidentes pueden producirse como resultado de la pérdida o manipulación de datos de sensores externos, esenciales para el funcionamiento de un buque. Esto incluye, entre otros, los sistemas mundiales de navegación por satélite (GNSS). Un incidente cibernético puede extenderse a la denegación o manipulación del servicio y, por tanto, puede afectar a todos los sistemas asociados a la navegación. **La autenticación y la integridad de la precisión de la posición del buque** son necesarias para ayudar a alertar al puente de una situación de riesgo.

Los programas de los EGNSS trabajan en diferentes iniciativas para proporcionar información adicional tanto para la integridad como para la autenticación que se utilizará en el ámbito marítimo (véanse las distintas fases en la sección [3.3.2.2](#)):

- La **utilización de las correcciones de EGNOS** en formato RTCM a través de radiobalizas de frecuencia media y el mensaje VDL AIS 17 ya está habilitada y las [Directrices G-1129 de la IALA](#) explican cómo aplicar esta retransmisión.
- Con respecto a la **integridad**, el desarrollo de un primer **servicio marítimo EGNOS que, junto con la RAIM**, permitirá un posicionamiento más preciso, incluidas las alertas al puente. Las [Directrices G1152 de la IALA](#) proporcionan a las autoridades marítimas costeras información sobre cómo se utilizará el SBAS como servicio marítimo. En el marco de la CEI se está preparando una nueva norma de ensayo de los receptores a bordo de los buques para los receptores SBAS ([IEC 61108-7](#)), cuya publicación está prevista para 2023.
- En cuanto a la **autenticación**, dos proyectos financiados en el marco de los elementos fundamentales [GSA/GRANT/02/2019](#) están poniendo en práctica la autenticación de mensajes de navegación del servicio abierto de Galileo (OS NMA) para los receptores a bordo de buques.

En relación con estas iniciativas, es necesario **actualizar determinadas normas y reglamentos**:

- [Resolución MSC.233 \(82\) de la OMI. Adopción de las normas de funcionamiento del equipo receptor de a bordo del sistema Galileo](#): El NCSR de la OMI debate en la actualidad un nuevo enfoque para simplificar estas normas de funcionamiento. La norma [IEC 61108-3 sobre sistemas y equipos de radiocomunicación y navegación marítima](#) incluirá entonces en la actualización las recomendaciones específicas del equipo receptor Galileo de a bordo, probablemente en 2023.
- Se solicitará un nuevo elemento de trabajo en la OMI para elaborar normas de funcionamiento para **SBAS DFMC + ARAIM**. El trabajo podría estar finalizado en 2025, por lo que debería elaborarse una nueva norma de ensayo CEI para el SBAS DFMC con el objetivo de culminarla dos años después.
- [Reglamento de Ejecución \(UE\) 2022/1157 de la Comisión, relativo a los requisitos de diseño, construcción y rendimiento y a las normas de ensayo para los equipos marinos](#): para incluir normas de rendimiento y de ensayo nuevas y actualizadas para los receptores de a bordo, tanto para Galileo como para SBAS DFMC + ARAIM. Debería tener lugar en la próxima actualización anual tras la disponibilidad de las normas.

En cuanto a la resiliencia de los servicios de PNT, la IALA, con la contribución clave de varios Estados miembros, está trabajando en un **sistema de reserva para las zonas costeras y portuarias denominado modo R** (o modo determinación de la distancia) utilizando las señales procedentes de estaciones de radiobalizas de frecuencia media y estaciones AIS/VDES (AIS: sistema de identificación automática / VDES: sistema de intercambio de datos en ondas métricas). El proyecto [R-MODE Baltic2](#), cofinanciado por la Unión Europea en el marco de la iniciativa Interreg para la región del mar Báltico, ha establecido un banco de pruebas en el mar Báltico (véase el apéndice A, sección [5.3.5](#) para más información sobre el modo R). Las [Directrices G1158 de la IALA](#) explican que la **temporización de GNSS** puede utilizarse en la orilla como una de las fuentes de temporización para proporcionar la sincronización de las señales VDES necesarias para el **modo R**. Esto requiere garantías de que la señal de GNSS recibida por las estaciones no haya sido suplantada (por ejemplo, utilizando señales de GNSS cifradas y verificando la integridad del GNSS en las estaciones).

[La investigación y la innovación financiadas por la UE en materia de seguridad marítima civil](#) también han aprovechado los servicios de PNT y GNSS para desarrollar capacidades para la seguridad de los activos marítimos y las personas frente a amenazas naturales o internacionales, así como las capacidades de los guardacostas y para las tareas civiles de las armadas.

La **navegación en vías de navegación interior requiere precisión de posición, también en sentido vertical**, utilizada para calcular la distancia libre de puentes, esclusas, etc., y para supervisar la situación del tráfico. Para aumentar el nivel de prestaciones del GNSS, se establecieron estaciones DGPS de la IALA en cierta medida también para cubrir las vías navegables interiores. Además, la distribución de los datos DGPS a través del mensaje AIS 17 se realiza en muchas zonas con la ayuda de estaciones de base AIS para navegación interior, a disposición de los buques equipados con un respondedor AIS para navegación interior (que es compatible con el respondedor AIS marítimo).

En comparación con la navegación marítima, la navegación interior se enfrenta a más **dificultades relacionadas con el bloqueo de las señales de los satelitales** por ensombrecimiento del terreno, montañas u obstrucciones causadas por objetos artificiales como puentes y esclusas. Lamentablemente, en los lugares en los que se requiere la máxima precisión de posición, también es probable que se produzca un bloqueo de la señal de GNSS (por ejemplo, cuando un buque entra en una esclusa). Por lo tanto, en términos de integridad, precisión y

fiabilidad, los usuarios de la navegación interior se beneficiarían de la **navegación multiconstelación**, ya que hay más satélites disponibles.

Los usuarios de la navegación interior podrían beneficiarse del **servicio de alta precisión** de Galileo y de los futuros **servicios de EGNOS** específicos para uso marítimo siempre que el equipo de posicionamiento a bordo de los buques de navegación interior esté correctamente instalado. Sin embargo, con unos niveles más elevados de navegación interior automatizada serán necesarios **sensores adicionales de campo próximo**, como los sensores LIDAR y radar, además de los sensores de GNSS. También podría aprovecharse el **procesamiento a través de varias antenas** para aumentar la solidez y la seguridad de la navegación.

La [Directiva 2005/44/CE \(Directiva SIF\), relativa a los servicios de información fluvial \(SIF\) armonizados en las vías navegables interiores](#), contiene una recomendación relativa al empleo de las tecnologías de posicionamiento por satélite. El [Reglamento de Ejecución \(UE\) 2019/838 de la Comisión, relativo a las especificaciones técnicas de los sistemas de seguimiento y ubicación de los buques](#), contiene **especificaciones técnicas y requisitos detallados** para los sistemas de seguimiento y ubicación de los buques de conformidad con las disposiciones de la Directiva SIF, respetando los siguientes principios:

- La definición de los requisitos de los sistemas y los mensajes normalizados, así como de los procedimientos, para que puedan automatizarse.
- La distinción entre sistemas adecuados para los requisitos de la información táctica sobre el tráfico y sistemas adecuados para los requisitos de la información estratégica sobre el tráfico, ambos en relación con la precisión del posicionamiento y la frecuencia de actualización exigida.
- La descripción de los sistemas técnicos pertinentes para el seguimiento y la ubicación de buques tales como el AIS (sistema de identificación automática para la navegación interior).
- La compatibilidad de los formatos de datos con el sistema AIS marítimo.

Actualmente se está revisando la Directiva 2005/44/CE (Directiva SIF), con vistas a su adopción en 2023. La revisión tendrá en cuenta el trabajo del Comité Europeo para la Elaboración de Normas de Navegación Interior (CESNI), que adoptó el primer conjunto de normas SIF en abril de 2021 ([norma europea para los servicios de información fluvial, ES-RIS 2021/1](#)). La norma ES-RIS 2021 reproduce las especificaciones técnicas actualmente aplicables contenidas en los reglamentos de ejecución de la Unión en virtud de la Directiva SIF. Las futuras modificaciones de las especificaciones técnicas, incluidas las relativas a los sistemas de seguimiento y ubicación de los buques, estarán cubiertas por las revisiones bienales de la norma ES-RIS y entrarán en vigor a través del Derecho derivado en el marco de la Directiva SIF revisada. **Las disposiciones específicas sobre los servicios de PNT y GNSS también podrán estar cubiertas por la norma ES-RIS en el futuro.**

Además, la [norma de ensayo del AIS para navegación interior](#) exige todas las normas CEI incluidas en la serie 61108 para el receptor de GNSS interno. Hoy en día se incluye Galileo (parte 3) y permite el uso de EGNOS una vez publicada la parte 7 (prevista para mediados de 2023). Ya está habilitado el uso de las correcciones de EGNOS transmitidas en formato RTCM a través del mensaje VDL 17.

Por último, el transporte por vías navegables interiores está evolucionando y se beneficia de tecnologías emergentes que dan lugar a un sector más seguro, digital y más sostenible. Las operaciones de los buques autónomos crearán nuevas oportunidades de negocio (también para la navegación marítima), así como nuevos retos, y ayudarán a abordar los retos de digitalización y sostenibilidad de la UE. La Comisión Europea tiene la intención de poner en marcha en 2023 una **acción preparatoria sobre los datos espaciales de la UE para los buques autónomos en las vías navegables interiores**, cuya duración será de tres años, con el fin de evaluar de qué manera los datos espaciales de la UE procedentes de Galileo, EGNOS y Copernicus pueden ser factores clave de esta transformación, facilitando información fiable y sólida sobre el posicionamiento e imágenes armonizadas de los canales navegables y el entorno, necesarias para unas operaciones autónomas seguras y ecológicas.



### 3.4.6 Transporte por carretera

El **éxito del posicionamiento por satélite en las plataformas de aplicaciones para vehículos y los dispositivos portátiles de navegación** gracias a la posición precisa y a la navegación avanzada que proporcionan se ha visto reforzado recientemente por la aparición de mapas y aplicaciones de navegación fáciles de usar en los teléfonos inteligentes, tal como se describe en el [informe de la EUSPA sobre las necesidades de los usuarios de la vía pública](#).

El **lugar dominante de las aplicaciones para el transporte por carretera a través de GNSS** en el mercado se ve confirmado por las decisiones de las autoridades públicas y la llegada de los vehículos conectados, que, junto con la comunicación permanente de corto alcance entre los vehículos, otros usuarios de la carretera y la infraestructura (comunicación vehículo a todo, V2X), ofrecen un número casi ilimitado de aplicaciones que mejorarán tanto la seguridad vial como la eficiencia del tráfico. Además, el uso de GNSS junto con otros sensores a bordo y la cartografía 3D desempeñará un papel clave en los **vehículos autónomos** debido a los exigentes requisitos de prestaciones en términos de precisión, disponibilidad y solidez de posicionamiento requeridos.

El **tacógrafo inteligente**, introducido por el [Reglamento \(UE\) n.º 165/2014](#), es una evolución del tacógrafo digital que incluye, en particular, una conexión a un receptor de GNSS, un dispositivo de comunicación de teledetección temprana y una interfaz con los sistemas de transporte inteligentes. El uso de tacógrafos conectados a **GNSS** es un medio **adecuado y rentable** de registrar automáticamente la posición de un vehículo en determinados puntos durante el período de trabajo diario para ayudar a los controladores en el desempeño de sus funciones. Las **especificaciones técnicas** del tacógrafo inteligente se establecieron en el [Reglamento de Ejecución \(UE\) 2016/799 de la Comisión](#), y los tacógrafos inteligentes se llevan instalando en los vehículos de nueva matriculación desde 2019.

Las especificaciones técnicas se actualizaron en el [Reglamento de Ejecución \(UE\) 2021/1228 de la Comisión](#) para incluir el registro de las posiciones de inicio y fin de las jornadas de trabajo de los conductores de vehículos comerciales, así como los cruces de fronteras y las operaciones de carga y descarga. Los GNSS y el geoperimetrado de las fronteras permiten a las autoridades encargadas de velar por el cumplimiento controlar de manera más eficiente las operaciones de transporte internacional de las empresas de transporte por carretera con arreglo a las normas sociales y del mercado de la UE. También se espera que esta **segunda versión** del tacógrafo inteligente utilice el **servicio OSNMA de Galileo**, una vez declarado operativo. Este tacógrafo empezará a implantarse en los vehículos de nueva matriculación en agosto de 2023. Todos los vehículos que se dediquen a operaciones de transporte internacional y que entren en el ámbito de aplicación del Reglamento (UE) n.º 165/2014 serán actualizados con la segunda versión del tacógrafo inteligente a más tardar en agosto de 2025.

Por lo que respecta al **telepeaje**, el uso de **GNSS para la tarificación vial**, que consiste en cobrar a un usuario (es decir, un vehículo) en función de su posición notificada, está regulado por la [Directiva \(UE\) 2019/520](#), relativa a la interoperabilidad de los sistemas de telepeaje de carretera. La Directiva autoriza los **peajes por satélite** para los vehículos pesados y ligeros, lo que permite suprimir las estaciones de peaje físicas en las autopistas, eliminando también las colas y ahorrando tiempo al usuario final, al tiempo que se garantiza la privacidad de los usuarios mediante la anonimización de los datos. A partir de octubre de 2021, todos los nuevos sistemas de telepeaje puestos en servicio utilizando el posicionamiento por satélite deben ser compatibles con EGNOS y Galileo. Además, a partir de 2028, todos los sistemas de telepeaje nuevos para los turismos deben ser compatibles con los GNSS.

En cuanto a los **sistemas de transporte inteligentes (STI)**, la [Directiva 2010/40/UE, por la que se establece el marco para la implantación de los sistemas de transporte inteligentes en el sector del transporte por carretera](#), dispone que, en el caso de las aplicaciones y los servicios de STI que requieran servicios horarios y de posicionamiento fiables y garantizados, deben utilizarse infraestructuras basadas en satélites o cualquier otra tecnología que proporcione un nivel equivalente de precisión, como la proporcionada por EGNOS y Galileo. Varios reglamentos delegados adoptados en este marco, como el [Reglamento Delegado \(UE\) 2015/962 de la Comisión, en lo que se refiere al suministro de servicios de información de tráfico en tiempo real en toda la Unión Europea](#), organizan el acceso a los datos generados por medio de un posicionamiento preciso, incluidos los datos en el vehículo, y su intercambio.

La [propuesta de la Comisión \[COM\(2021\) 813\] para la revisión de la Directiva 2010/40/UE](#) propone garantizar la compatibilidad de las aplicaciones y servicios de STI, que dependen de la temporización o del posicionamiento, con al menos los servicios de navegación prestados por EGNOS y Galileo, incluido OSNMA.

En 2020 se publicaron dos **normas pertinentes en materia de PNT** para [las comunicaciones seguras de los STI \(CEN/ISO TS 21176\)](#) y los usuarios vulnerables de la vía pública ([ETSI TS 103 300-1](#), [ETSI TS 103 300-2](#) y [ETSI TS 103 300-3](#)). [DATEX II](#) es la norma de intercambio de datos para estaciones de STI que intercambian información sobre tráfico entre las autoridades públicas y los operadores de servicios: incidentes de tráfico, obras viarias, etc. Desde 2021, DATEX II v.3.2 incluye un modelo de datos de localización que requiere el registro de la autenticación de GNSS.

Por lo que respecta a **eCall**, el [Reglamento \(UE\) 2015/758](#) establece los requisitos de homologación de tipo para el despliegue del sistema eCall basado en el número 112 integrado en los vehículos. Un elemento esencial para el funcionamiento eficaz del sistema eCall basado en el servicio 112 integrado en los vehículos es proporcionar información precisa y fiable sobre la localización. De conformidad con este Reglamento, los fabricantes de eCall deben garantizar que los **receptores** de los sistemas eCall basados en el número 112 integrados en los vehículos sean **compatibles** con los servicios de posicionamiento prestados por los sistemas **Galileo y EGNOS**. El [Reglamento Delegado \(UE\) 2017/79 de la Comisión](#) especifica los métodos de ensayo y los requisitos técnicos para la homologación de tipo de los dispositivos eCall.

En 2018 entró en vigor el [Reglamento n.º 144 de las Naciones Unidas](#), por el que se establece un mecanismo armonizado de homologación de tipo de los sistemas, dispositivos o componentes eCall con validez en más de cincuenta países, incluidos Japón, Corea y Rusia. Es obligatoria la compatibilidad con GPS, GLONASS, Galileo y todos los SBAS existentes.

En 2021, la Comisión Europea inició los trabajos para actualizar las especificaciones de eCall vigentes, tanto para los vehículos como para los puntos de respuesta de seguridad pública, a fin de adaptar el marco jurídico actual a la evolución de las redes de telecomunicaciones hacia las redes de conmutación de paquetes.

En lo que respecta a los **sistemas de seguridad automovilística**, y en el marco del nuevo [Reglamento \(UE\) 2019/2144, sobre seguridad general](#) para los vehículos de motor, el [Reglamento Delegado \(UE\) 2021/1958 de la Comisión](#), sobre los sistemas de asistente de velocidad inteligente (ISA) que utilizan una combinación de un sistema de cámaras, GNSS y mapas digitales, exige que, cuando dicho sistema posea capacidades de posicionamiento, deberá ser **compatible, al menos, con Galileo y EGNOS**.

En 2021 entró en vigor el [Reglamento n.º 155 de las Naciones Unidas](#), por el que se establecen disposiciones uniformes relativas a la gestión de la ciberseguridad en los vehículos autónomos. Se considera que la suplantación de las señales de GNSS constituye una amenaza y se requiere el uso de mensajes autenticados como atenuación.

La norma [CEN/CENELEC EN 16803](#) estableció los procedimientos y metodologías de ensayo de GNSS para el establecimiento y la evaluación de las prestaciones en aplicaciones viarias muy exigentes, como los vehículos autónomos. Sigue siendo necesaria la publicación de una norma ISO compatible.

Por último, en los próximos años, es probable que la **digitalización de las prácticas para controlar el cumplimiento de la legalidad** ofrezca más posibilidades de utilización de los EGNSS y dé lugar a controles más eficientes de los vehículos y los conductores. De hecho, el control del cumplimiento de las normas en el transporte por carretera es fundamental para garantizar la seguridad vial y el buen funcionamiento del mercado, ya sea en relación con los tiempos de conducción y descanso, los pesos y las dimensiones de los vehículos, el desplazamiento de conductores, o con la posesión y cumplimiento de las autorizaciones de transporte, las licencias y permisos, etc. Por ejemplo, una información precisa y fiable sobre la ubicación podría contribuir a la gestión de mercancías prioritarias en combinación con información electrónica sobre el transporte de mercancías (IETM) en los controles aduaneros y fronterizos.

En relación con el transporte por carretera, las siguientes **normas** facilitarían la introducción de servicios EGNSS:

- Actualización de la [norma 3GPP](#) para la difusión de señales de GNSS DFMC a través de la red móvil.
- [Norma de ensayo para GNSS + servicio de alta precisión](#) a través del RTCM SC134.

### 3.4.7 Transporte ferroviario

La **estrategia europea para los ferrocarriles** tiene por objeto hacer que la red ferroviaria sea abierta e interoperable, lo que pasa por sustituir los sistemas nacionales de control ferroviario por el [Sistema Europeo de Gestión del Tráfico Ferroviario / Sistema Europeo de Control de Trenes \(ERTMS/ETCS\)](#), un sistema normalizado desarrollado específicamente para las necesidades de los ferrocarriles europeos. Este sistema no utiliza un GNSS en su forma actual, ya que su arquitectura básica se diseñó entre 1989 y 1990. Se han puesto en marcha diferentes iniciativas para incluir el GNSS en el ETCS, debido a su potencial para reducir la infraestructura en tierra eliminando las [Eurobalizas](#) utilizadas como marcadores de referencia de la posición. Esto no solo reduciría el coste de la señalización, sino que también aumentaría la disponibilidad, reduciría los requisitos de ingeniería y mantenimiento y su exposición al robo, el vandalismo, etc.

También se están investigando nuevas funcionalidades adicionales para el ERTMS/ETCS que podrían depender en gran medida del GNSS, como el **control de la integridad del tren**, una función dentro del [nivel 3 del sistema ERTMS](#) que, gracias al posicionamiento absoluto de los trenes, permitiría reducir la separación de los trenes, optimizar el tráfico y generar efectos positivos en el medio ambiente.

Los **retos técnicos más importantes** para la explotación del GNSS en las líneas ferroviarias radican en el entorno, que difiere significativamente de las aplicaciones aéreas y marítimas. Las principales diferencias son la visibilidad limitada y en constante cambio de los satélites, la atenuación de las señales, las interferencias electromagnéticas y el considerable multitrayecto. En algunos lugares, como en zonas urbanas y montañosas, todos estos efectos pueden aparecer simultáneamente. Puede consultar más información en el [informe de la EUSPA sobre las necesidades de los usuarios del ferrocarril](#).

En la actualidad, los GNSS se utilizan en el ámbito ferroviario predominantemente para **aplicaciones no relacionadas con la seguridad**. Los sistemas de información a los pasajeros son las principales aplicaciones, aunque la gestión de activos está adquiriendo importancia. En los próximos años, se desarrollarán cada vez más aplicaciones relacionadas con la seguridad, señalización y control de trenes basadas en el GNSS para complementar las tecnologías tradicionales. En el marco de las **aplicaciones críticas para la seguridad**, la EUSPA ha elaborado una [hoja de ruta para la adopción de GNSS en el sector ferroviario](#), aprobada por las principales partes interesadas del sector ferroviario y espacial, que resume las principales actividades hacia un ERTMS asistido por el GNSS Europeo y permite hacerse una idea general de las actividades para alcanzar este objetivo.

En 2022, la [Resolución del Parlamento Europeo sobre la seguridad y señalización ferroviaria: evaluación de la situación actual de implantación del sistema europeo de gestión del tráfico ferroviario \(ERTMS\)](#) señaló la necesidad de garantizar cuanto antes sinergias entre el ERTMS y el GNSS Europeo. Este factor se refleja perfectamente en el sector ferroviario, que, por ejemplo, está desarrollando un prototipo de unidad de localización de trenes a bordo ([proyecto CLUG de Horizonte 2020](#)).

La Comisión Europea sigue investigando también las posibilidades de utilizar o desarrollar los servicios de los EGNSS para aplicaciones críticas para la seguridad ferroviaria. En la actualidad, se están llevando a cabo dos estudios de misión cuyo objetivo es precisar los parámetros de un servicio de los EGNSS específico del ferrocarril que pudiera satisfacer los requisitos de usuario respecto de la señalización ferroviaria y el ERTMS ([EGNSS-R, IMPRESS](#)).

Las **especificaciones técnicas de interoperabilidad (ETI)** definen las normas técnicas y de explotación que debe cumplir cada subsistema o parte de subsistema para cumplir los requisitos esenciales y garantizar la interoperabilidad del sistema ferroviario de la Unión Europea. En particular, **la inclusión del GNSS en la ETI «Control-mando y señalización» es también un requisito previo para permitir una adopción a gran escala del GNSS para la localización a prueba de fallos de trenes en la Unión Europea**. La última modificación de este documento se adoptó en junio de 2019 y la próxima versión está prevista para 2023. Además, está prevista una versión de mantenimiento de la ETI para 2026, y una versión actualizada con nuevas funcionalidades para 2028 o 2029.

### 3.4.8 Agricultura

El crecimiento previsto de la población mundial hasta los 9 700 millones de habitantes de aquí a 2050, junto con una mayor ingesta calórica por parte de personas cada vez más ricas y el consiguiente aumento de la demanda de alimentos, hacen imprescindible intensificar la producción de alimentos, tal como se describe en el [informe de la EUSPA sobre las necesidades de los usuarios del sector de la agricultura](#). Es necesaria una estrategia mundial integral de seguridad alimentaria en la que las **soluciones basadas en las tecnologías de la información** desempeñen un papel clave. **Dado que el GNSS ocupa una posición predominante**, otras tecnologías como el Sistema de Información Geográfica (SIG), la teledetección a través de satélites o UAS, los sensores ópticos para conocer el contenido de nitrógeno y el estado de la cubierta, los sistemas de visión artificial, los sensores de espectrometría gamma del suelo, etc., se han desplegado en una amplia gama de aplicaciones. La utilización de las diversas tecnologías facilitadoras y la combinación de los distintos tipos de datos que generan han propiciado la aparición de la **agricultura de precisión**, que ha contribuido manifiestamente a incrementar la producción y la productividad, al tiempo que se controlan los costes y se reduce el impacto medioambiental de las actividades agrícolas.

La aceptación por el mercado de las aplicaciones de **agricultura de precisión basadas en GNSS** aumentará en consonancia con la necesidad de aumentar la producción de alimentos. La precisión seguirá siendo el parámetro de GNSS más fundamental para los agricultores, aunque la fiabilidad, disponibilidad, autenticidad y cobertura también serán pertinentes para aplicaciones específicas. La disponibilidad de **soluciones basadas en SBASS**, que mejoran la precisión, la integridad y la disponibilidad de las señales de GNSS básicas, se está generalizando en las aplicaciones de la agricultura de precisión y a menudo son la opción preferida por los agricultores que acceden al mercado de la agricultura de precisión. Estas soluciones, disponibles a escala continental, libres de cuotas de suscripción o costes de inversión adicionales, están muy extendidas entre los agricultores que requieren una precisión submétrica. Las **soluciones de alta precisión (subdecimétricas)** son necesarias para la automatización y son proporcionadas por los servicios RTK / RTK de red y los servicios de PPP en tiempo real, ya sean comerciales o institucionales, como el servicio de alta precisión de Galileo.

Se prevé que la integración del posicionamiento de GNSS en los **sistemas de información de gestión de explotaciones agrícolas (FMIS)** junto con el uso de información adicional procedente de diversos sensores, incluida la observación de la Tierra, revolucionen la agricultura de precisión e impulsen aun más su adopción. Un FMIS es un sistema de recogida, tratamiento, almacenamiento y suministro de datos que permite a los agricultores elaborar una estrategia de gestión y la toma de decisiones con conocimiento de causa. **El GNSS vincula estos datos a coordenadas geográficas específicas.**

A pesar de la variabilidad del éxito y las tasas de adopción de las diversas soluciones impulsadas por la tecnología para la agricultura, la integración y la ampliación de su adopción requieren **que se aborden varios retos tecnológicos, económicos y de sensibilización**. Recientemente, el [Grupo Focal sobre Agricultura y Ganadería de Precisión](#) específico, creado por la Asociación Europea para la Innovación en materia de Productividad y Sostenibilidad Agrícolas, ha incluido como primera de su lista de recomendaciones la necesidad de que «[l]os agricultores y las cooperativas [tengan] un papel fundamental en la innovación y la investigación sobre los sistemas de apoyo en la toma de decisiones, así como las soluciones técnicas para los problemas actuales».

Varias iniciativas facilitan la adopción de los EGNSS en el sector agrícola de Europa.

**EGNSS4CAP** es una **aplicación de telefonía móvil** para Android e iOS que **digitaliza los procedimientos para que los agricultores** de la Unión Europea cumplan sus obligaciones de presentación de información en el marco de la [política agrícola común \(PAC\)](#) vigente y de su reforma posterior a 2020.

Las nuevas normas adoptadas por la Comisión Europea para la PAC actual y futura permiten **utilizar** un abanico de **tecnologías modernas basadas en satélites** a la hora de administrar y controlar los **pagos por superficie**. Por ejemplo, es posible utilizar los procedimientos de supervisión automática que utilizan datos y señales de los programas Copernicus y Galileo para reducir el número de controles sobre el terreno. Estos procedimientos forman parte del mecanismo de control mediante monitorización y se aplican en un determinado número de Estados miembros de forma voluntaria.

Para la **nueva PAC**, se introducirá el sistema de seguimiento de superficies. Con este mecanismo, todos los Estados miembros tendrán que **supervisar el 100 % de los pagos por superficie**. El uso de estas tecnologías

forma parte del compromiso permanente de la Comisión Europea de modernizar y simplificar los procesos del sistema integrado de gestión y control (SIGC) en el marco de la PAC.

La aplicación EGNSS4CAP utilizará diferenciadores de los EGNSS para que los agricultores puedan proporcionar fotografías geoetiquetadas y actualizaciones del sistema de identificación de parcelas agrícolas (SIP) que apoyen y complementen un enfoque de seguimiento de la PAC basado en los satélites Sentinel de Copernicus.

La herramienta es de código abierto, está disponible de forma gratuita y puede ser integrada por cualquier desarrollador de Android o iOS. Los dispositivos del mercado de masas, como los teléfonos inteligentes y las tabletas, podrán ejecutar la aplicación y utilizar el GNSS para proporcionar la ubicación de la fotografía y el momento en que se realizó, garantizando la exactitud y autenticación necesarias para la notificación a los organismos pagadores.

La [herramienta de sostenibilidad agraria \(FaST\)](#) es una plataforma de servicios digitales que pone a disposición de los agricultores de la UE, los organismos pagadores de los Estados miembros, los asesores agrícolas y los desarrolladores de soluciones digitales capacidades para la agricultura, el medio ambiente y la sostenibilidad. FaST prestará apoyo a los agricultores en sus procesos de toma de decisiones administrativas en pro de la rentabilidad de las explotaciones y la sostenibilidad medioambiental.

El **GNSS Europeo será una parte integrante de FaST**, ya que permitirá a los agricultores combinar los datos de observación de la Tierra con el posicionamiento en tiempo real, así como comunicar información geoetiquetada a las autoridades de los Estados miembros.

Aunque no se consideran una fuente primaria de información para el SIP, los datos recogidos *in situ* utilizando **GNSS constituyen una valiosa contribución** para el mantenimiento del SIP. La mayor parte de la información de campo a través de GNSS utilizada para el SIP se recoge durante los controles clásicos sobre el terreno de las declaraciones de los agricultores. Además, los inspectores de campo están obligados a notificar cualquier parcela de referencia incorrecta y la capa SIE. Algunos Estados miembros también están llevando a cabo ocasionalmente estudios de campo más sistemáticos utilizando GNSS.

El proyecto [New IACS Vision in Action \(NIVA\)](#) moderniza el SIGC con soluciones digitales y herramientas electrónicas, creando metodologías fiables y conjuntos de datos armonizados para supervisar el rendimiento agrícola, reduciendo al mismo tiempo la carga administrativa para los agricultores, los organismos pagadores y otras partes interesadas.

El caso de uso [UC4a de «fotografías geoetiquetadas»](#) del proyecto NIVA consiste en diseñar y desarrollar una aplicación para dispositivos móviles que facilite a un agricultor o asesor cargar una fotografía geoetiquetada como prueba justificativa en las solicitudes del régimen. Este proyecto aprovechará características novedosas del GNSS que impiden suplantar la ubicación (por ejemplo, autenticación dentro de la señal Galileo). La aplicación demostrará las formas de recibir notificaciones del sistema de apoyo y la capacidad de notificar y orientar a los agricultores para localizar, alinear, encuadrar y capturar satisfactoriamente imágenes para los puntos de interés solicitados.

El usuario final se beneficiará de disponer de más opciones para relacionarse con el organismo pagador. Los agricultores podrán reducir las inspecciones sobre el terreno si cargan las pruebas fotográficas de una actividad o aclaran cualquier consulta. La Administración dispondrá de un registro electrónico de la respuesta y un perfil completo de la actividad agraria en la parcela.

En los regímenes ecológicos relativos a la [agricultura de precisión](#), el GNSS Europeo podría ayudar a los agricultores a mejorar los planes de gestión de nutrientes, reducir los insumos (fertilizantes, agua o productos fitosanitarios) y mejorar la eficiencia del riego o el control del uso de plaguicidas registrando con precisión el lugar en el que se aplicaron los plaguicidas.

### 3.4.9 Servicios basados en la localización

El dispositivo de navegación más utilizado es nuestro teléfono móvil, en el que el posicionamiento, la navegación y la temporización se utilizan principalmente para aplicaciones de servicios basados en la localización (LBS). En un contexto de urbanización global y de ciudades inteligentes, los **LBS asistidos por GNSS abordan algunas de las preocupaciones económicas y sociales más inmediatas**, como la mejora de la productividad en el trabajo, la facilidad de circulación, el seguimiento de las personas, la gestión de los recursos y la eficacia de los servicios para facilitar las interacciones de los consumidores (véase el [informe de la EUSPA sobre las necesidades de los usuarios de servicios basados en la localización](#)).

Las soluciones asistidas por GNSS abarcan multitud de aplicaciones, como la navegación, la cartografía, el sistema de información geográfica (SIG), el *geomarketing* y la publicidad, la seguridad y las emergencias, el deporte, los juegos, la salud, el seguimiento, la realidad aumentada, las redes sociales y el entretenimiento. Varias de estas aplicaciones requieren niveles estrictos de precisión horizontal y vertical y la autenticación de la posición (por ejemplo, facturación basada en la localización para evitar fraudes).

Las actividades de normalización relacionadas con los LBS pueden dividirse en **señalización**, requisitos a nivel de prestaciones para el posicionamiento, incluidos el GNSS y el GNSS asistido, y procedimientos de **ensayo**. Los principales organismos de normalización son el [Proyecto de Asociación de Tercera Generación \(3GPP\)](#), la [Open Mobile Alliance \(OMA\)](#), el [Comité Técnico de Sistemas y Estaciones Terrenas de Comunicaciones por Satélite del ETSI](#), y el CEN/CENELEC.

De conformidad con el [Reglamento Delegado \(UE\) 2019/320 de la Comisión](#), a partir del 17 de marzo de 2022, todos los **teléfonos inteligentes introducidos en el mercado único europeo** deben ofrecer la opción de enviar información de localización derivada del dispositivo utilizando las señales de Galileo, además de otros GNSS, al **servicio de emergencia** del punto de respuesta de seguridad pública (PSAP) más cercano. Con ello se busca mejorar la localización de las [llamadas de emergencia al número 112](#) para acelerar los tiempos de respuesta y, en consecuencia, salvar más vidas (véase el [informe de mercado de la EUSPA sobre la observación de la Tierra y los GNSS de 2022 LBS](#)). La gran mayoría de los teléfonos inteligentes ya cumplen los requisitos, que son evaluados por los organismos notificados mediante procedimientos de evaluación de la conformidad, utilizando las [Directrices](#) facilitadas por la Comisión Europea. Esta funcionalidad se activa país por país en función de la disponibilidad técnica y operativa de la [localización móvil avanzada \(LMA\)](#).

Dos normas para los teléfonos inteligentes compatibles con 4G y 5G, publicadas por 3GPP en 2020 y 2021 ([3GPP TS 36.171, versión 16.1.0, release 16](#), [3GPP TS 38.171, versión 16.2.0, release 16](#)), *Requirements for support of Assisted Global Navigation Satellite System (A-GNSS)*, prevén un enfoque «neutro en cuanto a la constelación» (es decir, el fabricante del dispositivo seleccionará el sistema con el satélite con el nivel de señal más alto). Se trata de un paso importante en materia de seguridad, ya que se abandona el «enfoque centrado en el GPS», independientemente del tiempo para fijar la posición por primera vez proporcionado por otras constelaciones.

Tras la [disponibilidad de pseudorangos en el sistema operativo Android](#), el aspira a colmar la brecha de conocimientos entre los usuarios de las mediciones en bruto y las industrias. Además, se están llevando a cabo **campañas de ensayo de la EUSPA y el JRC** para evaluar las características de rendimiento y funcionalidad destinadas específicamente a los teléfonos inteligentes y otros dispositivos de gran consumo.

Por último, el [Grupo de Trabajo sobre navegación PNT 5G](#) contribuye a los trabajos del 3GPP en materia de PNT y promueve la **inclusión de los EGNSS en el ecosistema de PNT 5G** a fin de garantizar que las especificaciones técnicas elaboradas por el 3GPP contemplen también la posibilidad de **complementar el GNSS Europeo con 5G** cuando no haya disponible cobertura de GNSS (p. ej., en interiores), pero también para mejorar la precisión del posicionamiento en condiciones nominales. Además, en los últimos años se han ajustado la arquitectura y los protocolos de posicionamiento 5G para favorecer la entrega de los datos de asistencia necesarios para las técnicas de GNSS de alta precisión (por ejemplo, RTK, PPP, etc.) tanto en unidifusión como en radiodifusión con la aparición de los primeros productos y servicios tanto en Europa como en Estados Unidos.



### 3.4.10 Búsqueda y salvamento

**El objetivo de las operaciones de búsqueda y salvamento (SAR) es localizar y ayudar rápidamente a las personas en peligro.** Aunque no todas las radiobalizas de búsqueda y salvamento están asistidas por GNSS, existe una tendencia creciente hacia la adopción del GNSS entre estas radiobalizas.

El [programa Cospas-Sarsat](#) es un sistema internacional de detección de alertas de socorro por satélite enfocado a la búsqueda y el salvamento. En la actualidad, el **servicio SAR de Galileo** contribuye a este sistema retransmitiendo rápidamente las señales de socorro de las radiobalizas a las tripulaciones de SAR pertinentes, utilizando cargas útiles específicas a bordo de los satélites Galileo y tres estaciones terrestres desplegadas en toda Europa (véase la sección [3.2.7](#) para más información). El servicio SAR requiere que los receptores (radiobalizas) sean compatibles con este servicio.

La disponibilidad del servicio SAR de Galileo beneficia a todos los sectores en los que, debido a la naturaleza de sus operaciones, está en juego la vida de las personas, en particular en los sectores marítimo y de la aviación.

En el ámbito **marítimo**, la OMI estableció en 1988 el [Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítima \(SMSSM\)](#), con la intención de permitir que los buques envíen y reciban información sobre seguridad marítima en todo momento. Alcanzó su estado operativo en 1997.

Los buques deben estar equipados con radiobalizas de localización de siniestros (EPIRB) y radiobalizas de localización de personas (PLB) que transmitan, una vez activadas, la información necesaria a las autoridades de emergencia. Las radiobalizas AIS-SART (transmisor de búsqueda y salvamento del AIS) y AIS-MOB (dispositivo hombre al agua) no solo transmiten la posición de la persona en peligro, sino que también comparten esta ubicación a través del sistema de identificación automática (AIS) con buques cercanos, indicando una señal de socorro AIS en el sistema de información y visualización de las cartas electrónicas (ECDIS).

En el sector de la **aviación**, a raíz de las tragedias de los vuelos 447 de Air France y 370 de Malaysia Airlines, y dado el tiempo necesario para localizar la aeronave, la OACI estableció el [Sistema mundial de socorro y seguridad aeronáuticos \(GADSS\)](#), que garantiza el seguimiento de las aeronaves y que siempre se registre su última posición conocida derivada del GNSS, manteniendo un registro actualizado del avance de la aeronave. Con arreglo a las actuales normas y prácticas recomendadas de seguimiento de aeronaves (SARP), las aeronaves en condiciones normales de vuelo deben ser objeto de seguimiento cada quince minutos. La última actualización del anexo 6 de la OACI exige una notificación autónoma de posición cada minuto cuando la aeronave se encuentre en peligro. La norma para el elemento de seguimiento de socorro del GADSS será aplicable el 1 de enero de 2025 a los aviones con un primer certificado individual de aeronavegabilidad expedido a partir del 1 de enero de 2024.

Las aeronaves deben estar equipadas con transmisores de localización de emergencia (ELT) o radiobalizas de localización de personas (PLB) que sirvan de ayuda a las operaciones de búsqueda y salvamento en caso de incidente. En consonancia con los requisitos que figuran en el anexo 10 de la OACI (y las normas establecidas en el anexo 6 de la OACI), así como con la aplicación del GADSS, muchos ELT utilizan un GNSS para notificar su posición cuando se activan.

Por último, los servicios SAR también se utilizan ampliamente en **tierra**, donde se aconseja a los escaladores y senderistas que lleven consigo una PLB por si acaban encontrándose en situación de peligro.

Puede obtener más información sobre el servicio SAR de Galileo en la [página web de la EUSPA](#). El [informe de mercado de la EUSPA sobre la observación de la Tierra y los GNSS de 2022](#) contiene información sobre el mercado de los servicios SAR y el [informe de la EUSPA sobre la tecnología de usuario de GNSS](#) ofrece una visión general de la tecnología existente.

### 3.4.11 Cartografía y levantamiento topográfico

Se espera que el mercado de la cartografía y el levantamiento topográfico en general y su uso de los GNSS muestren un crecimiento significativo en los próximos años, especialmente en regiones del mundo en las que no existen sistemas heredados alternativos ni redes geodésicas densas en tierra. También se prevé un crecimiento significativo en las regiones con una intensa actividad de construcción, en las que la importancia de la percepción catastral también se incrementará en función del aumento del PIB y de la población. En este contexto, el levantamiento topográfico asistido por GNSS aborda algunas de las preocupaciones económicas y sociales más inmediatas, como el aumento de la urbanización, el incremento de la demanda de hidrocarburos y las necesidades de modernización del transporte, tal como se describe en el [informe de la EUSPA sobre las necesidades de los usuarios en materia de levantamiento topográfico](#).

Las **soluciones asistidas por GNSS abarcan una amplia gama de aplicaciones**, como la percepción catastral (demarcación de los límites de un inmueble), el levantamiento de edificaciones (descripción precisa de los edificios y la infraestructura), la cartografía (gráficos que contienen puntos de interés y suelen integrarse en los sistemas de información geográfica), la prospección minera y la prospección marina (en alta mar e hidrográfica).

No obstante, el papel del levantamiento topográfico de GNSS tradicional está experimentando una rápida transformación gracias a la integración de **aplicaciones emergentes**, como las técnicas ópticas, multispectrales o LIDAR (detección y alcance de luz), el escaneado láser terrestre, los UAS, la unidad inercial (IMU), la localización y mapeo simultáneos (SLAM), la realidad aumentada, o el mapeo móvil y colaborativo. Además, estas aplicaciones geomáticas emergentes se centran principalmente en la puesta en práctica de soluciones directamente en la nube.

Gracias a la digitalización, el [modelado de información para la edificación](#) y los [sistemas de información geográfica \(SIG\)](#) ahora se integran en un único entorno holístico para producir gemelos digitales. El proceso de modelización precisa en 3D, común en ambos casos, se beneficia de los **datos de localización de GNSS de alta precisión**. Cuando se almacena y trata en la nube, la información del GNSS, el SIG y el BIM permite a las partes interesadas de todo el sector de la construcción gestionar los datos a distancia desde cualquier lugar y elaborar mejores diseños de edificios de infraestructuras con ahorros a largo plazo.

Otro ejemplo es la planificación urbana. La tecnología SLAM, gracias a la integración de su láser/IMU/cámara, y los escáneres láser portátiles han abierto un enorme campo para la modelización realista y detallada dentro de los edificios. Cuando se combinan con receptores de GNSS, estos sistemas proporcionan una transición fluida entre los espacios interiores y exteriores.

A medida que surgen nuevos métodos y herramientas, también se plantea la **necesidad de requisitos y normas bien definidos**. Dentro de los sistemas de mapeo móvil, un conjunto de normas enmarcaría la fusión del GNSS con los sistemas LIDAR, las cámaras ópticas, los instrumentos inerciales o láser y los odómetros. Otros ámbitos clave que requieren requisitos y normas estrictos son el posicionamiento fluido entre espacios interiores y exteriores y el PPP-RTK. El reciente avance de las aplicaciones de realidad aumentada que dependen de la precisión y la disponibilidad del GNSS también se beneficiaría de las normas.

De cara a los estrictos requisitos de precisión de la cartografía y el levantamiento topográfico (hasta un nivel centimétrico o milimétrico), los servicios de aumentación, como la [corrección diferencial en tiempo real \(RTK\)](#), el [posicionamiento puntual preciso \(PPP\)](#) o la técnica PPP-RTK de reciente aparición, son de vital importancia. Las correcciones [RTK](#) y PPP multi-GNSS son compatibles con el protocolo estándar de la Comisión Técnica de los Servicios de Radiocomunicaciones Marítimas (RTCM), ya sea para una única estación o red de referencia (NTRIP) o en el caso de PPP.

Aún no está disponible la implantación de **PPP-RTK** en el marco de la RTCM. Como consecuencia de ello, se ha dado un fuerte impulso a la normalización de las correcciones PPP-RTK a través de nuevos mensajes dentro del protocolo RTCM, mientras que, entretanto, varias partes interesadas del sector e iniciativas científicas han propuesto otros protocolos o normas (por ejemplo, IGS, Sapcorda, 3GPP, etc.).

Para superar los retos relacionados con la falta de disponibilidad, calidad, organización, interoperabilidad, accesibilidad e intercambio de **información espacial**, comunes a muchos sectores y a diversos niveles de

autoridad pública en Europa, la UE adoptó la [Directiva por la que se establece una infraestructura de información espacial en la Comunidad Europea \(INSPIRE\)](#). INSPIRE mejorará el **intercambio de información espacial medioambiental** entre las organizaciones del sector público y facilitará mejor el acceso del público a la información medioambiental en toda Europa. La cartografía y el levantamiento topográfico, que utilizan servicios y herramientas de recopilación de datos geográficos, incluidos los basados en el GNSS Europeo, están directamente relacionados con INSPIRE.

Sobre esta base, es esencial garantizar la capacidad de combinar servicios y datos espaciales de diferentes fuentes (interoperabilidad de los datos) en toda la UE de manera coherente sin esfuerzos adicionales por parte de las personas o las máquinas. La interoperabilidad de los datos en INSPIRE se asegura, por ejemplo, **exigiendo el uso de un sistema común de coordenadas**, el **Sistema de Referencia Terrestre Europeo 1989 (ETRS89)**. Esto garantiza que los datos geoespaciales, derivados de los EGNSS, sean plenamente compatibles y se integren completamente en las aplicaciones de los usuarios finales, algo que acelera el uso de los EGNSS.

El **control de máquinas** es una parte importante, y cada vez en mayor medida, del mercado del levantamiento topográfico. Tal como se indica en el [informe de la EUSPA sobre las necesidades y demandas de los usuarios en materia de cartografía y el levantamiento topográfico](#), los mercados objetivo más importantes son el **sector de la construcción y de la minería** (por ejemplo, control y dirección semiautomática de vehículos en máquinas de explanación o equipos de minería), donde es necesaria una precisión centimétrica para aumentar la productividad y reducir los costes. Recientemente, las **operaciones portuarias** en seco se han convertido en un nuevo mercado en el que, a diferencia de los otros dos segmentos, en los que los fabricantes de vehículos son quienes implantan el control de máquinas, las operaciones portuarias las llevan a cabo los productores de grúas integrando el *hardware* con el *software* de logística y gestión portuaria. Sus principales ventajas consisten en la gestión de la carga de los buques, la logística de la carga, el aumento de la velocidad operativa y la seguridad. Esto, combinado con el uso de GNSS y diferentes sistemas de PNT, genera unos conocimientos técnicos europeos únicos.

La [Directiva 2006/42/CE, relativa a las máquinas](#), que establece los requisitos aplicables a las máquinas, los componentes de seguridad, los accesorios de elevación (como cadenas y cables) y otros productos relacionados, es ampliamente utilizada por los fabricantes de la UE para garantizar un nivel común de seguridad en las máquinas comercializadas y para preservar los derechos de propiedad intelectual e industrial (DPII) en la UE.

### 3.4.12 Temporización y sincronización precisas (finanzas, redes eléctricas, comunicaciones)

El transporte de electricidad, el funcionamiento de las redes de telecomunicaciones, la incorporación del sello de tiempo en las operaciones financieras, los sistemas de gestión del tránsito aéreo, los sistemas de transporte, las plataformas por satélite, los sistemas de abastecimiento de agua y de aguas residuales, las aplicaciones científicas (astronomía, física de partículas, geofísica, metrología), las emisiones de televisión digital, las redes LTE de celdas pequeñas —femtoceldas, picoceldas y microceldas— o la internet de las cosas son solo unos pocos ejemplos de la **ingente cantidad de aplicaciones que dependen del GNSS a efectos de temporización y sincronización** (puede consultar más información en el [informe de la EUSPA sobre las necesidades de los usuarios de temporización y sincronización](#) y el [informe de la EUSPA sobre la tecnología de usuario de GNSS](#)).

Aunque es relativamente desconocida para el público, la **capacidad de temporización y sincronización que ofrecen los sistemas de navegación por satélite** ha pasado a ser **esencial para las infraestructuras críticas**. La **solidez y la resiliencia de los servicios de temporización y sincronización son fundamentales** para evitar perturbaciones graves en el funcionamiento de las infraestructuras críticas. Además, dado que las infraestructuras en Europa están estrechamente interconectadas, un Estado miembro por sí solo no puede lograr un aumento de la resiliencia de la red.

**Galileo**, que se utiliza como fuente principal de información sobre el tiempo o como solución redundante, **contribuirá** a garantizar un **servicio de temporización de GNSS más resiliente** al mejorar tanto la disponibilidad del servicio de temporización (aportando otra constelación independiente) como al proporcionar varios valores añadidos, como la autenticación, que aumenta la resiliencia frente al *spoofing*.

**EGNOS** ofrece información sobre el tiempo obtenida de los satélites geoestacionarios o a través del servicio EDAS terrestre, lo que permite a los usuarios acceder a los datos en tiempo real a través de canales diferentes.

En la UE, un paso importante fue la creación formal de un **servicio de temporización de Galileo** independiente como parte de la misión de la segunda generación de Galileo, que aprovecha las capacidades de temporización intrínsecas de Galileo como GNSS y aporta características adicionales para satisfacer mejor las necesidades específicas de los usuarios de la temporización y la sincronización:

- **Alta disponibilidad** del servicio de temporización en su conjunto.
- **Mejora de la precisión** de todos los parámetros de temporización.
- **Requisitos específicos** para la hora del sistema Galileo (GST), lo que lo convierte en una referencia de alta precisión para las aplicaciones de sincronización.
- **Función de seguimiento del servicio de temporización de Galileo**, que reforzará significativamente la solidez del servicio de temporización y la confianza en las soluciones de temporización obtenidas a través de Galileo. Gracias esta función, se informará a los usuarios a través de señales específicas de fallos que puedan afectar a la conformidad de los niveles de servicio de temporización. Este aspecto es especialmente importante para las aplicaciones de infraestructuras críticas.

El concepto del servicio de temporización de Galileo también incluye el desarrollo de una **norma para los receptores de las temporización de Galileo**. Esta norma garantizará la correcta contribución del receptor del usuario como elemento fundamental para el rendimiento de extremo a extremo. También incluirá la aplicación de barreras locales, como T-RAIM (RAIM de temporización), para seguir mejorando la solidez general. El desarrollo de esta norma, la primera norma para receptores de temporización de GNSS, está formalmente en curso en el marco del CEN/CENELEC.

Por último, también existen tecnologías no basadas en GNSS que ofrecen temporización precisa y que refuerzan o actúan como solución de reserva de los servicios de temporización basados en GNSS, como los sistemas de onda larga (apéndice A, sección 5.2.7) y las tecnologías emergentes (apéndice, sección 5.3). La oferta de servicios de temporización alternativos ya está disponible comercialmente en la Unión Europea, como confirmó un [estudio de 2022](#) realizado por la Comisión Europea. En el mercado existen [servicios de temporización alternativos con un buen nivel de madurez](#) que **distribuyen** el tiempo de manera precisa a larga distancia, al tiempo que la UE cuenta con una red distribuida única de institutos nacionales de metrología que puede utilizarse para **generar** un tiempo preciso sincronizado con UTC(k).

### 3.4.13 Usuarios del espacio

El **mercado de los servicios espaciales a través de GNSS** ha experimentado una rápida evolución en los últimos diez años, lo que ha dado lugar a un profundo cambio de paradigma en la industria espacial. Ha surgido un enfoque comercial disruptivo del espacio, caracterizado por la apertura del sector a agentes no gubernamentales y más orientados a la empresa, que, junto con importantes avances tecnológicos, se traduce en un aumento del número de satélites y servicios espaciales. En el momento de la entrada en el tercer milenio, había unos 800 satélites orbitando activamente alrededor de la Tierra. Veinte años más tarde, este número supera ahora los 3 000 y está previsto que se cuadruplique en los próximos diez años. El desarrollo de nuevos sistemas de megaconstelaciones de satélites en órbitas terrestres bajas (LEO) es un marcador de esta nueva era que pone de relieve la democratización del espacio en nuestra sociedad y la convergencia del sector con el aumento progresivo de la digitalización de las actividades humanas.

Con la fabricación en serie de satélites, los lanzamientos que se producen casi todos los días, la producción en masa de equipos y la industrialización de los procesos, el entorno espacial adquiere paulatinamente consideración de producto y los **receptores de GNSS a bordo de un vehículo espacial son cada vez más frecuentes** y pertinentes para los usuarios del espacio, desde las altitudes LEO (es decir, 300 km) hasta la órbita de transferencia lunar (MTO).

Los receptores de GNSS a bordo de los vehículos espaciales **no difieren de los receptores de GNSS clásicos en lo fundamental**. Realizan las mismas operaciones y prestan los mismos servicios de PVT, pero deben abordar las **limitaciones específicas del entorno espacial** (por ejemplo, alta dinámica, menor potencia y visibilidad de las señales, radiación solar). En función de la misión prevista del vehículo espacial, el papel del receptor de GNSS integrado varía. Aunque pueden utilizarse como subsistema de guía y control de la navegación (es decir, para la determinación precisa de la órbita, la determinación de la actitud o la sincronización), también pueden utilizarse como una de las cargas útiles directamente al servicio de los objetivos de la misión (por ejemplo, mediciones de la radioocultación).

Los **beneficios de las soluciones basadas en GNSS a bordo de los vehículos espaciales** van desde la reducción de la dependencia de los vehículos espaciales con respecto a las estaciones terrestres hasta la mejora del nivel de prestaciones de la navegación. La seguridad de las infraestructuras espaciales también se ha convertido en un factor impulsor del desarrollo espacial, ya que la amenaza de las capacidades contraespaciales ofensivas está aumentando. A fin de facilitar el desarrollo de soluciones de GNSS para usuarios del espacio que se beneficiarían del uso combinado de los sistemas mundiales y regionales de navegación existentes, el [Comité Internacional sobre los Sistemas Mundiales de Navegación por Satélite \(ICG\)](#) ha publicado un [documento sobre el volumen de servicio espacial interoperable basado en constelaciones de múltiples GNSS](#) para aprovechar la utilización conjunta de los sistemas mundiales y regionales de navegación existentes a fin de mejorar las capacidades.

En la UE, la principal iniciativa para facilitar el uso de Galileo por parte de los usuarios del espacio es la definición formal de un **Volumen del Servicio Espacial de Galileo** como parte de la misión de la **segunda generación de Galileo** (véase más información en la sección [3.2.1.2](#)). De este modo se garantizará la ejecución de todas las actividades necesarias, a fin de permitir cumplir los compromisos de Galileo sobre el nivel de rendimiento que los usuarios del espacio pueden alcanzar al utilizar las señales de Galileo en el espacio. Es importante recordar que las **señales de Galileo son las más adecuadas para los usuarios del espacio** entre los GNSS gracias a las mayores altitudes de los satélites de Galileo y a las capacidades de autenticación ofrecidas por la [autenticación de mensajes de navegación del servicio abierto de Galileo](#).

Por último, se está llevando a cabo la **validación** del rendimiento de la **determinación precisa de la órbita a partir de las señales de Galileo** en una configuración típica de receptor de bajo coste en el marco de la [demostración y validación en órbita \(IOD/IOV\) de Horizonte 2020](#).

Puede consultar más información en el [informe de la EUSPA sobre las necesidades de los usuarios del espacio](#).

### 3.4.14 Seguridad y defensa

Las **operaciones militares y de seguridad** dependen en gran medida de datos espaciales y de capacidades espaciales, incluidas las de doble uso, para prestar servicios seguros, fiables y de alto rendimiento en un entorno de amenazas en evolución. La [Brújula Estratégica para la Seguridad y la Defensa](#) señalaba el espacio como un ámbito estratégico y reclamaba una [Estrategia Espacial de la UE para la Seguridad y la Defensa](#), marzo de 2023.

El [Programa de Investigación e Innovación en materia de Seguridad de la UE](#) y las acciones de investigación y desarrollo (I+D) del [clúster 3 «Seguridad civil para la sociedad» de Horizonte Europa](#), así como sus precursores en [Horizonte 2020](#), el [7.º PM](#) y la [Acción Preparatoria de la Unión sobre Investigación en materia de Seguridad \(PASR\)](#), que ha financiado más de 700 proyectos desde 2004, promueven la cooperación e incluyen el desarrollo y la explotación de PNT o GNSS para profesionales de la seguridad de ámbitos como los servicios de seguridad, la gestión de fronteras, la seguridad marítima, la protección de infraestructuras críticas y la resiliencia en caso de catástrofe. **Los proyectos de seguridad del clúster 3 de Horizonte Europa exigen el uso del Programa Espacial de la Unión siempre que se desarrollen las correspondientes capacidades de PNT.**

Las acciones de I+D del [Fondo Europeo de Defensa \(FED\)](#) y sus precursores, el [Programa Europeo de Desarrollo Industrial en materia de Defensa \(PEDID\)](#) y la [Acción Preparatoria de la Unión sobre Investigación en materia de Defensa \(PADR\)](#), incluyen el desarrollo de Galileo y otras tecnologías de PNT para usuarios militares. El FED promueve la cooperación entre empresas y agentes de investigación de todos los tamaños y orígenes geográficos de la UE, en aras de la tecnología y los equipos de defensa más avanzados e interoperables. También tiene por objeto mejorar las prestaciones y la resistencia de los servicios de PNT para alcanzar el objetivo de «acceso ininterrumpido a los servicios de PNT en todo el mundo».

De los numerosos proyectos adjudicados, las siguientes acciones de I+D son relevantes para los servicios de PNT:

- [GEODE — Galileo for EU defence](#) (PEDID 2019): se encargará de la elaboración de prototipos, el ensayo y la calificación de múltiples soluciones de PNT basadas en el PRS de Galileo para requisitos y aplicaciones específicos de la defensa (7 módulos de seguridad PRS, 9 receptores PRS, 4 antenas de patrón de radiación controlado compatibles con PRS Galileo/GPS) y un dispositivo europeo de ensayo y calificación de PNT. También se desarrollará la infraestructura del PRS para garantizar la disponibilidad de los activos de seguridad necesarios para las pruebas operativas de los receptores. Se organizarán pruebas de campo operativas militares en plataformas navales y terrestres, RPAS y sistemas de temporización y sincronización en varios Estados miembros.
- [QUANTAQUEST — Quantum Secure Communication and Navigation for European Defence](#) (PADR 2019): contribuirá a la aplicabilidad de las tecnologías cuánticas en el ámbito militar y a la autonomía estratégica de Europa. La navegación y la temporización se lograrán a través de un sensor totalmente autónomo basado en un chip de átomos fríos y un circuito integrado fotónico que proporcione las prestaciones y la portabilidad requeridas. La comunicación segura se mejorará mediante un nuevo sistema de modulación para aplicar la distribución cuántica de clave. La compatibilidad de las operaciones sobre el terreno se garantizará con un enfoque de espacio libre. La interfaz cuántica se implantará como puerta de apertura a una red cuántica de sensores.
- [NAVGUARD \(Advanced Galileo PRS resilience for EU Defence\)](#), FED 2021) reforzará la resiliencia del PRS de Galileo a través de nuevos sistemas terrestres y espaciales. Desarrollará una capacidad europea de guerra de navegación (NAVWAR) basada en la vigilancia del espectro de GNSS a partir de sistemas terrestres y espaciales para detectar actividades ilegítimas en las bandas de frecuencia de GNSS y geolocalizar su origen. El proyecto también diseñará, fabricará el prototipo correspondiente y probará un subsistema de gestión de la información junto con una interfaz de usuario para trazar una imagen de la situación. Cinco receptores móviles PRS contribuirán a la capacidad global de NAVWAR, junto con una demostración en órbita de un sistema espacial de aumentación PRS.
- [AI-ARC, Artificial Intelligence based Virtual Control Room for the Arctic](#) («Sala de control virtual para el Ártico basada en la inteligencia artificial») y [FOLDOUT, Through-foliage detection, including in the outermost regions](#) («Detección a través del follaje, también en las regiones ultraperiféricas de la UE») desarrollarán y aprovecharán las capacidades de PNT para la seguridad marítima y la vigilancia civil.



### 3.4.15 Necesidades de los usuarios de desplazamientos multimodales

**Los operadores de transporte y los proveedores de servicios a la demanda utilizan los GNSS** con diversos fines, desde llevar a cabo una gestión más eficiente de la flota hasta ofrecer información precisa a los pasajeros. **Las soluciones basadas en GNSS también pueden permitir un mayor desarrollo de tipos de transporte sostenibles** al servir de base para la movilidad compartida, como los vehículos compartidos o las bicicletas sin base fija.

Si bien el uso actual de los GNSS en el transporte público es relativamente limitado en comparación con otros sectores, un número cada vez mayor de operadores de transporte público utilizan aplicaciones basadas en Galileo en sus operaciones cotidianas. Esta **tendencia creciente a utilizar soluciones basadas en GNSS** no se limita al transporte público, sino que también se refleja en el número cada vez mayor de servicios de movilidad como servicio, tal como se describe en el [informe de la EUSPA sobre las necesidades de los usuarios del transporte público](#). El uso del GNSS es relevante para proporcionar información a los pasajeros sobre la ubicación en tiempo real de los vehículos (transporte público y a la demanda) y los retrasos en los horarios, tal como solicita el [Reglamento Delegado \(UE\) 2017/1926 de la Comisión](#), relativo a los servicios de información sobre desplazamientos multimodales.

El aumento de los servicios basados en GNSS se explica por dos factores:

- La **movilidad inteligente**: un transporte público eficiente requiere unas mayores prestaciones de las soluciones basadas en GNSS. En este contexto, los receptores multiconstelación multifrecuencia podrán mejorar el posicionamiento en el entorno urbano para responder a las aplicaciones más exigentes, como la prevención de colisiones, el mantenimiento del carril y el frenado automático, que requerirán autenticación, integridad y solidez. Además, la creciente combinación de varios modos de transporte para un mismo viaje exige información en tiempo real sobre la ubicación de los vehículos y los retrasos.
- Las **aplicaciones críticas para la seguridad**, como el frenado de emergencia para tranvías o el control de puertas para trenes, pueden ser habilitadas gracias a las señales de los EGNSS y a servicios específicos (servicios OSNMA y HAS de Galileo).

### 3.4.16 Transporte de mercancías y logística

La transformación digital del sector del transporte de mercancías y la logística, en particular a través de la aplicación del [Reglamento \(UE\) 2020/1056, sobre información electrónica relativa al transporte de mercancías](#), y el trabajo del [Foro de Transporte y Logística Digitales](#), centrado en el transporte sin soporte papel y en los sistemas de información sobre el transporte de mercancías en corredores, abre la posibilidad de desarrollar todo un abanico de **servicios nuevos para el transporte multimodal y la logística, incluidas las tecnologías de PNT**.

Ejemplos del uso de GNSS en este sector son:

- El acceso en tiempo real a información sobre PNT permite el **seguimiento en tiempo real de los contenedores** dentro de la cadena logística multimodal y entre modos y agentes logísticos. Esto también permite implantar sistemas de diagnóstico a distancia en tiempo real.
- El uso de datos sobre PNT que conectan el **transporte de mercancías peligrosas** con los servicios de emergencia en caso de accidente, proporcionando la ubicación en tiempo real del vehículo que transporta mercancías peligrosas y el contenido exacto de la carga.
- La mejora de los **servicios de gestión del transporte** de mercancías por parte de las partes interesadas, como los proveedores de servicios ferroviarios, se centrarán cada vez más en los activos. Los operadores ferroviarios y los administradores de infraestructuras se benefician de la digitalización porque mejora la **gestión** y el mantenimiento de los **activos**, reduciendo así los costes operativos. La Comisión Europea los reconoce como un medio de transporte de mercancías sostenible, inteligente y seguro en el que se utilizan receptores de GNSS para realizar un seguimiento del material rodante (más de 50 000 vagones de mercancías de varias empresas ferroviarias de la UE ya están equipados con soluciones telemáticas basadas en GNSS).

Para más información, consúltese el [informe de mercado de la EUSPA sobre la observación de la Tierra y los GNSS de 2022](#).

### 3.5 Cooperación de la UE en materia de navegación por satélite

La UE coopera con varios países y organizaciones internacionales en materia de navegación por satélite. Esta cooperación va desde la participación de países no pertenecientes a la UE en los componentes del Programa Espacial de la Unión hasta la cooperación basada en acuerdos de cooperación de GNSS.

En cuanto a la participación en los componentes del Programa Espacial de la Unión:

- **Noruega** participa en [Galileo](#), [EGNOS](#) y [Copernicus](#) a través de los mecanismos del [Espacio Económico Europeo \(EEE\)](#).
- **Islandia** participa en [EGNOS](#) y [Copernicus](#) a través del Espacio Económico Europeo (EEE).
- **Suiza** participa en [Galileo](#) y [EGNOS](#) sobre la base del Acuerdo de Cooperación de GNSS firmado en 2013.

Además, existen los siguientes **Acuerdos de Cooperación de GNSS**:

- El firmado entre la UE y **Noruega** en 2009, que cubre aspecto como la seguridad, el control de las exportaciones y la protección del espectro radioeléctrico, así como de las estaciones Galileo y EGNOS en el territorio bajo control noruego.
- El firmado entre la UE y la Agencia para la Seguridad de la Navegación Aérea en África y Madagascar (**ASECNA**) en 2016, relativo al desarrollo de la radionavegación por satélite y a la prestación de servicios conexos en la zona de competencia de la ASECNA en beneficio de la aviación civil. En virtud de este Acuerdo, la UE apoya a la ASECNA en el desarrollo de un sistema de aumentación basado en satélites.
- La UE también celebró acuerdos de cooperación de GNSS con **Corea del Sur** y **Marruecos** que abarcan la protección del espectro, las normas, el comercio, así como la cooperación científica y técnica.

La Unión Europea y sus Estados miembros **mantienen una cooperación privilegiada con los Estados Unidos** en el ámbito de la navegación por satélite desde 2004, cuando las partes firmaron un [Acuerdo sobre la promoción, suministro y utilización de Galileo y los sistemas GPS de navegación por satélite y las aplicaciones conexas](#). La cooperación tiene por objeto garantizar que el GPS y Galileo y los sistemas de aumentación basados en satélites sean interoperables a nivel de usuario en beneficio de los usuarios civiles. La cooperación también persigue mantener un comercio justo en el mercado mundial de la navegación por satélite. El acuerdo entre la UE y los EE. UU. se prorrogó en 2022 mediante la [Decisión \(UE\) 2022/1089 del Consejo](#).

El Acuerdo GPS-Galileo incluye tres grupos de trabajo para la cooperación:

- **El Grupo de Trabajo A sobre compatibilidad de radiofrecuencias e interoperabilidad:** entre otras cosas, este Grupo de Trabajo garantiza que Galileo y GPS sean compatibles a nivel de radiofrecuencias, en parte a través de la coordinación de la UIT, y aspira a que las señales civiles respectivas sean interoperables en la medida de lo posible a nivel de sistema y receptor. El Grupo de Trabajo A también ayuda a coordinar las acciones de la UE y de los EE. UU. en otros foros reguladores en beneficio de los GNSS.
- **El Grupo de Trabajo B sobre comercio y aplicaciones civiles:** su objetivo es garantizar que no existan obstáculos reglamentarios creados por cualquiera de las partes que obstaculicen el uso del GPS o Galileo y sus aplicaciones en los mercados respectivos.
- **El Grupo de Trabajo C sobre la concepción y el desarrollo de la próxima generación de sistemas:** la labor de este Grupo de Trabajo se divide en tres líneas de actividad a través de tres subgrupos específicos:
  - **Subgrupo sobre evolución:** se centra en los aspectos siguientes:
    - Acciones de I+D para el uso de ARAIM en la aviación y otros ámbitos, y contribución a la elaboración de normas ARAIM para la aviación.
    - Coordinación de acciones de I+D a largo plazo para GPS/WAAS y Galileo/EGNOS.
    - Coordinación de la definición de SBAS de próxima generación para comunidades de usuarios distintas de la aviación.

- Subgrupo sobre prestación de servicios: se centra en aspectos estratégicos para la prestación de servicios de navegación e intercambios sobre aspectos de la prestación de servicios de GNSS, su situación y los planes tanto para EGNOS/Galileo como para WAAS/GPS.
- Subgrupo sobre resiliencia (RESSG): se centra en el tema clave de la resiliencia de los GNSS frente a diversos tipos de amenazas. Como parte de este grupo, se elaboran marcos y normas utilizados por la OACI y otros organismos. El objetivo del RESSG es, por tanto, hacer que el GPS, Galileo, sus aumentaciones y sus aplicaciones sean más resilientes en caso de interferencias perjudiciales. El objetivo a largo plazo es desarrollar soluciones y proponer recomendaciones que puedan incorporarse a los receptores, sistemas y servicios futuros.

La UE participa en el [Comité Internacional sobre los Sistemas Mundiales de Navegación por Satélite \(ICG\)](#), establecido en 2005 a través de la Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre de las Naciones Unidas. El ICG promueve la cooperación en el ámbito de los servicios civiles de PNT y las aplicaciones mundiales de la tecnología de navegación por satélite. Asimismo, fomenta la coordinación entre los proveedores de GNSS, los sistemas regionales y las aumentaciones, a fin de impulsar una mayor compatibilidad, interoperabilidad y transparencia, y promover la introducción y utilización de estos servicios y sus futuras mejoras, también en los países en desarrollo.

La UE también colabora con los Estados miembros y otros países proveedores de GNSS a través de la [Unión Internacional de Telecomunicaciones \(UIT\)](#) para garantizar que el espectro radioeléctrico utilizado para Galileo y otros GNSS esté disponible y protegido de interferencias, y que las normas mundiales que rigen el uso de las radiofrecuencias no afecten a los GNSS. Esta actividad se desarrolla principalmente en los grupos de trabajo de la UIT (principalmente el Grupo de Trabajo 4C del Sector de Radiocomunicaciones de la UIT), así como en las Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones (CMR), que se celebran cada cuatro años.

Por último, la UE también trabaja en cuestiones internacionales de navegación por satélite a través de otros organismos multilaterales, a saber:

- [Organización de Aviación Civil Internacional \(OACI\)](#)
- [Organización Marítima Internacional \(OMI\)](#)

## 4 Visión para los servicios de PNT en la UE

En las secciones anteriores se ha descrito el ecosistema de los sistemas y servicios de PNT en la Unión Europea y se ha analizado la importancia de Galileo y EGNOS en todos los mercados y la manera en que se introducen constantemente nuevos servicios. También se han destacado las limitaciones y las posibles amenazas a los servicios de PNT, así como las nuevas tecnologías de PNT que abordan algunas de estas preocupaciones.

En esta sección se describe la visión (a medio plazo) para el ecosistema de los servicios de PNT en la UE. Esta visión se ha armado teniendo en cuenta las principales tendencias en los ámbitos de las nuevas constelaciones y señales, las mejoras en el *hardware* y los algoritmos de procesamiento, el aumento de las interferencias de radiofrecuencia y la conectividad mundial.

Desde el punto de vista de los **segmentos de mercado**, la tendencia señalada en el [informe de la EUSPA sobre la tecnología de usuario de GNSS de 2020](#) es en su mayor parte válida, según la cual los servicios de PNT se combinarán a nivel de usuario en un enfoque de fusión de sensores para obtener el nivel de prestaciones requerido:

- El **mercado de gran consumo** utilizará hardware de bajo coste, pero demandará cada vez más servicios de PNT de alta precisión (nivel centimétrico), especialmente el servicio gratuito de alta precisión de Galileo para sistemas de transporte inteligentes, fusionando los servicios de GNSS, aumentados por PPP, datos de sensores y 5G. Se generalizará el uso de la multiconstelación y la doble frecuencia.
- El **segmento profesional** exigirá servicios multiconstelación y multifrecuencia (por ejemplo, triple) de alta precisión plenamente integrados en una gestión del flujo de trabajo conectada y automatizada. La inteligencia artificial se generalizará y revolucionará este segmento del mercado.
- Las aplicaciones **de seguridad de la vida humana y críticas desde el punto de vista de la responsabilidad**, tradicionalmente constreñidas por la aplicación de reglamentos y normas, adoptarán nuevas tecnologías a un ritmo mucho más lento. Aunque se está llevando a cabo un trabajo importante para desarrollar soluciones normalizadas multiconstelación y de doble frecuencia, el verdadero reto será normalizar soluciones resilientes, resistentes a las RFI. Además, se seguirá persiguiendo la integridad de los servicios de alta precisión para la aviación (tripulada y no tripulada) y los vehículos y buques autónomos.
- La importancia de la temporización aumentará exponencialmente, ya que las soluciones de sincronización y distribución del tiempo son vitales para los sectores de las **infraestructuras críticas**, las telecomunicaciones, la energía, las finanzas o el transporte. La resiliencia de la temporización se convertirá en una característica irrenunciable y se combinarán la multifrecuencia, la multiconstelación, la T-RAIM, el control de interferencias y los servicios de PNT alternativos para complementar el GNSS.

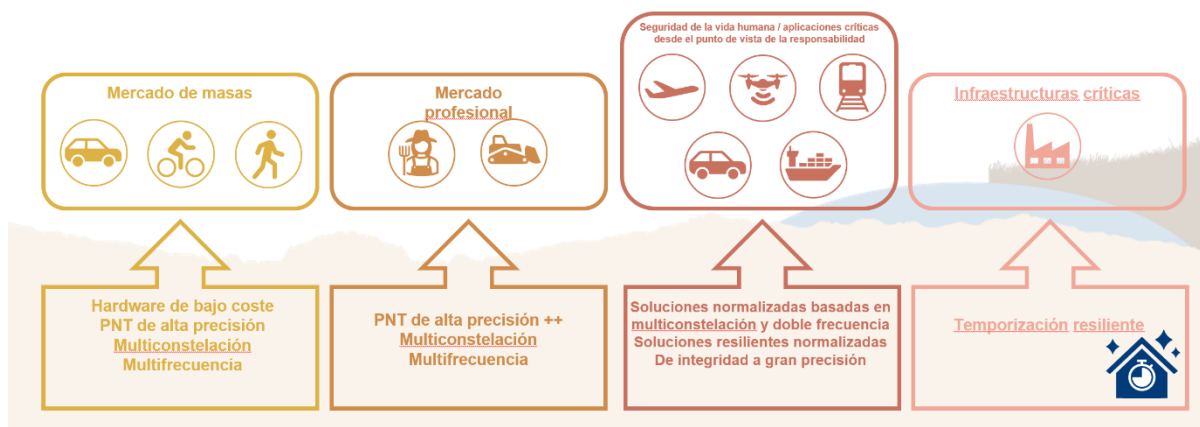


Gráfico 19. Visión de los servicios de PNT en la UE según los segmentos de mercado

Desde el punto de vista de la **arquitectura de los sistemas de PNT**, el ecosistema de PNT de la UE pasará a ser un [sistema de sistemas de PNT](#), con una combinación de servicios de GNSS y de PNT convencionales y emergentes, todos ellos sincronizados con UTC(k):

1. El **GNSS Europeo** (Galileo y EGNOS), **junto con el GPS**, seguirán siendo la **columna vertebral de los servicios de PNT en la UE**. Los servicios de los GNSS europeos se reforzarán y mejorarán con nuevos servicios (alta precisión, autenticación, etc.), una infraestructura mejorada (segunda generación de Galileo, segunda generación de EGNOS) y una capacidad de control específica. La Comisión Europea seguirá esforzándose por lograr la adopción de los servicios de Galileo y EGNOS con nuevos reglamentos, normas y financiación de proyectos para aplicaciones innovadoras.

Los **servicios de alta precisión de los GNSS**, como el servicio de alta precisión de Galileo, RTK o PPP, se **adoptarán ampliamente** para aplicaciones de alta precisión.

También podrían ser necesarias **soluciones basadas exclusivamente en el GNSS Europeo** para aplicaciones y mercados específicos.

Por último, la nueva constelación de satélites de la UE [IRIS<sup>2</sup>](#), propuesta para asegurar la conectividad segura espacial, también podría servir de plataforma de servicios de PNT complementarios, además de su misión principal de comunicación.

2. Los servicios de **PNT emergentes**, capaces de prestar servicios de PNT alternativos independientemente de un GNSS, **seguirán desarrollándose** y un número mayor alcanzará su madurez y pasará a estar disponible comercialmente, respondiendo a las necesidades de los mercados específicos (por ejemplo, en interiores), o actuando como refuerzo de los servicios de GNSS, especialmente en lo que se refiere al suministro de temporización a infraestructuras críticas. La UE recomienda que se desarrollen [soluciones de PNT alternativas intersectoriales](#).

Por lo que respecta a la **temporización**, la UE dispone de tecnología madura para prestar servicios de temporización muy precisos independientes del GNSS. La red de [institutos nacionales de metrología](#) desempeñará un papel fundamental en la [generación de tiempo](#), mientras que las empresas europeas ofrecen soluciones comerciales para la [distribución del tiempo](#). La UE debe trabajar para desarrollar plenamente el ecosistema de la temporización y garantizar un suministro de tiempo rentable y resiliente a los usuarios pertinentes (por ejemplo, infraestructuras críticas).

En cuanto a la **posición/navegación**, el mercado ofrece algunas soluciones comerciales independientes del GNSS, pero actualmente no existen soluciones maduras de empresas de la UE. La UE se esforzará por apoyar la aplicación de las Directivas REC y SRI 2 (véase la sección [3.4.1](#)) y **mejorar la resiliencia** de la economía y la sociedad europeas. Asimismo, la UE debe considerar el desarrollo de [soluciones de la UE](#) para cubrir los casos de uso que exijan una [autonomía estratégica](#).

3. Los sistemas de **PNT convencionales**, a pesar de sus desventajas (por ejemplo, costes, señales antiguas y diseño de *hardware*), seguirán utilizándose en mercados fuertemente regulados, como el de la aviación y el transporte marítimo, y los planes de [racionalización](#) solo se aplicarán [lentamente](#) (debido también a la larga vida útil de los equipos), mientras que es probable que desaparezcan en los mercados no regulados. Sin embargo, algunos sistemas (como los de distribución de tiempo y frecuencia de onda larga) pueden mantener su importancia, ya que ofrecen una buena resiliencia a las RFI, aunque con un nivel de prestaciones limitado (por ejemplo, precisión de microsegundos).

Como conclusión, debido al papel integral de los servicios de PNT para el buen funcionamiento de la economía y la sociedad de la UE, **es de vital importancia** contar con [servicios y sistemas de PNT RESILIENTES](#). Con el apoyo de los GNSS, los servicios de PNT deben ser diversos e incorporar una combinación holística de tecnologías terrestres y espaciales, ya que ninguna tecnología por sí sola, ni siquiera los GNSS, proporcionará suficiente resiliencia a los usuarios críticos de información sobre PNT. La resiliencia de los servicios de PNT también requerirá un sistema de vigilancia eficiente, en particular de las RFI de GNSS, y los procedimientos de coordinación necesarios entre los proveedores de GNSS, las agencias de RFI y Gobiernos:

El **ecosistema de PNT de la UE** debe convertirse en un **sistema de sistemas de PNT** para lograr que estos servicios sean resilientes.

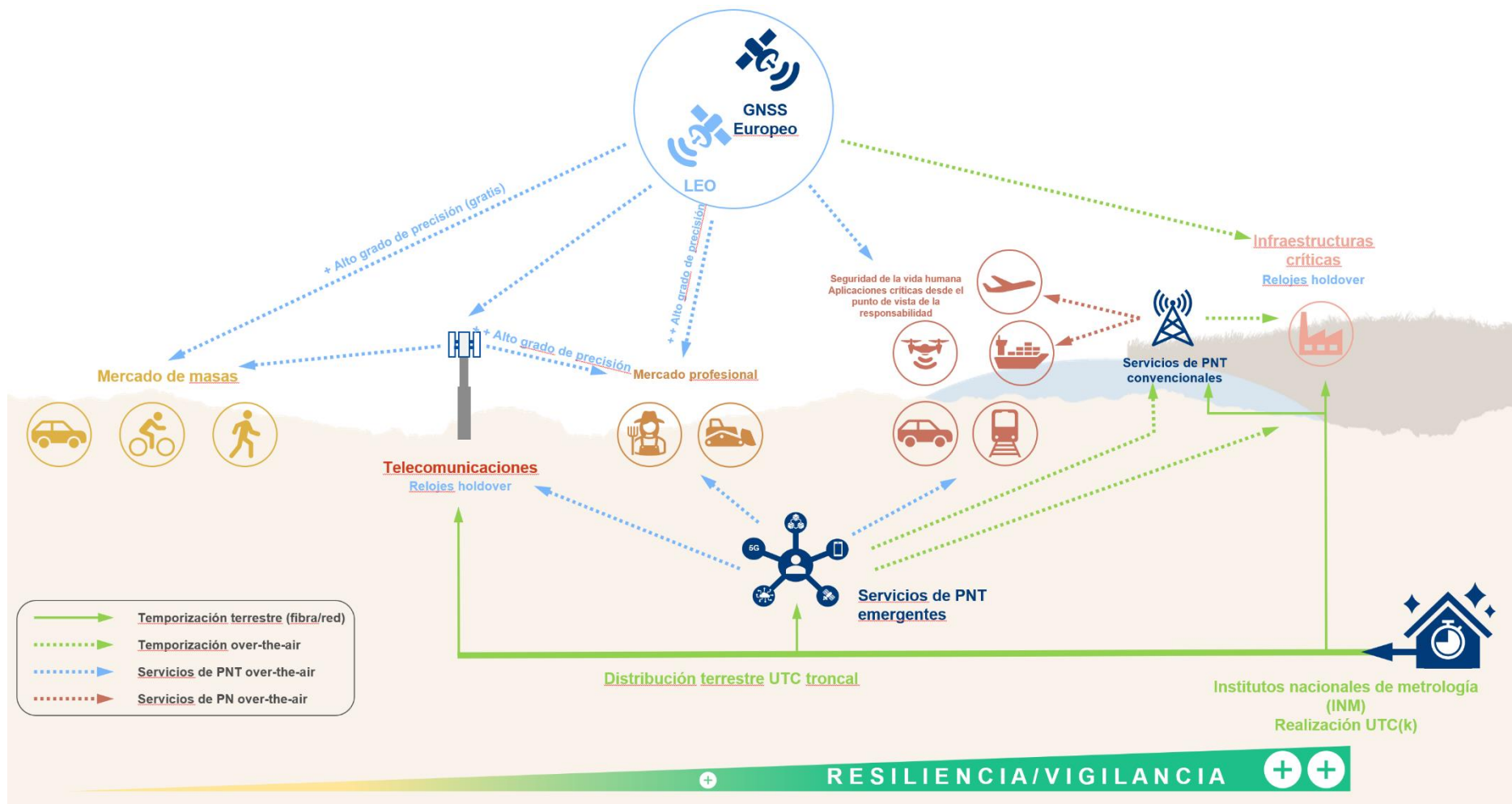


Gráfico 20. Visión de los servicios de PNT en la UE



## 5 APÉNDICE A: sistemas de PNT

### 5.1 Sistemas mundiales de navegación por satélite (GNSS)

Por sistema mundial de navegación por satélite (GNSS) se entienden las **constelaciones de satélites que transmiten señales desde el espacio y prestan servicios de posicionamiento y temporización a los receptores de GNSS**.

Los GNSS incluyen sistemas con una cobertura mundial como Galileo en Europa, el sistema de posicionamiento global (GPS) de los Estados Unidos, el Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (GLONASS) de Rusia y el sistema de navegación por satélite BeiDou de China, y **sistemas regionales** como el Sistema Regional de Navegación por Satélite de la India (IRNSS), también conocido por el nombre operativo de NavIC (Indian Navigation with Indian Constellation), o el sistema japonés QZSS, cuya cobertura se extiende por la región de la India y la región de Asia-Oceanía, respectivamente. Las principales características de estos GNSS se muestran en el Cuadro 6.

*Cuadro 6. Constelaciones de GNSS (fuente: informe sobre la tecnología de usuario de GNSS)*

Constelaciones de GNSS				
Parámetro	Galileo	GPS	BeiDou	GLONASS
Período orbital (MEO)	14 h 04 min	11 h 58 min	12 h 37 min	11 h 15 min
Altitud orbital (MEO)	23 222 km	22 200 km	21 528 km	19 100 km
Inclinación (MEO)	56°	55°	55°	64,8°
Número de planes orbitales (MEO)	3	6	3	3
Marco de referencia	GTFR	WGS-84	CGCS 2000	PZ-90
Hora de referencia	Hora del sistema Galileo (GST)	Hora GPS (GPST)	Hora BeiDou (BDT)	Hora GLONASS (GLONASST)

Los sistemas están diseñados para ser **compatibles e interoperables**, utilizando señales que se transmiten en las bandas de frecuencias E5/L5, L2, E6 y E1/L1, como se indica en el [Gráfico 21](#).

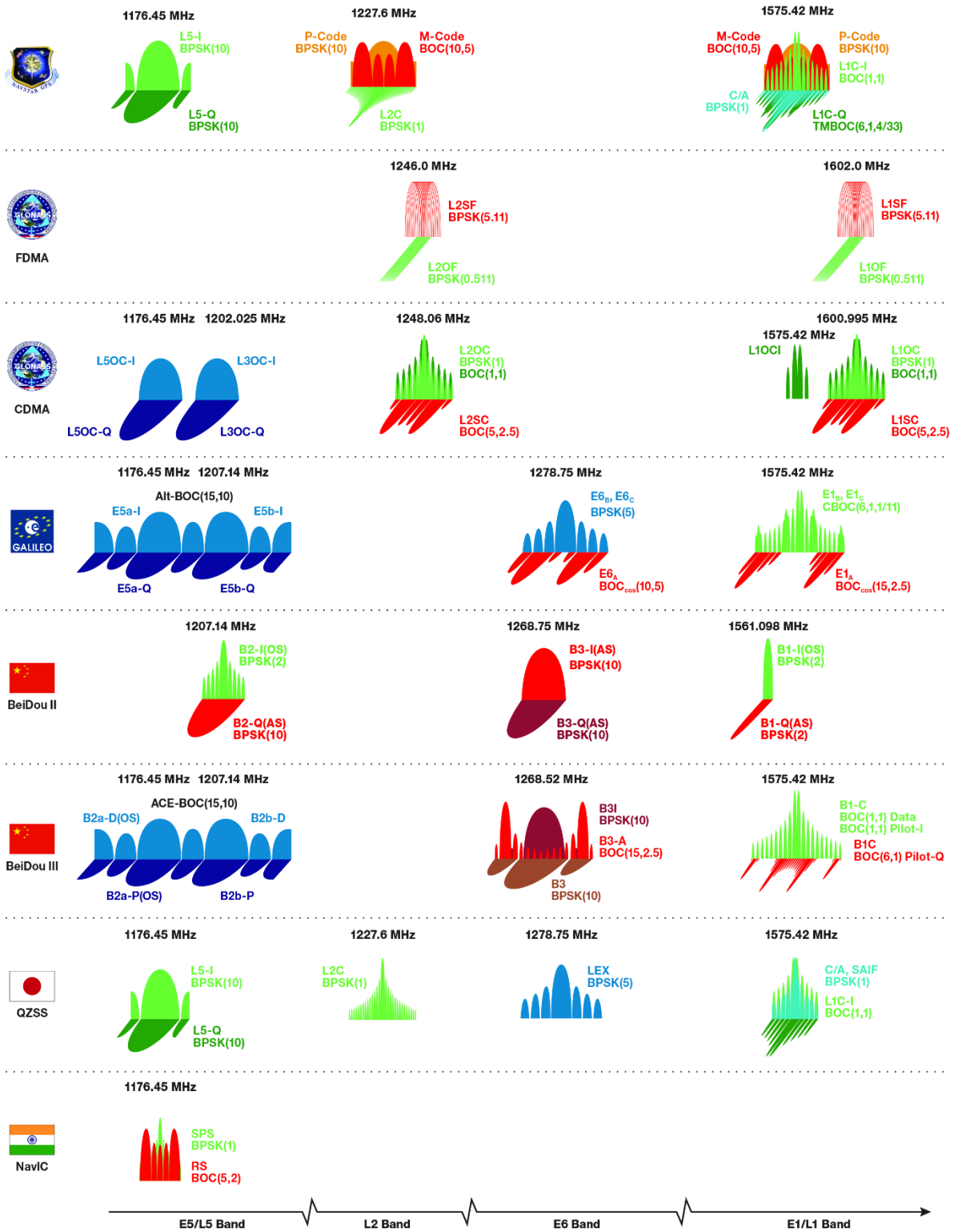


Gráfico 21. Frecuencias de los GNSS (fuente: [Navipedia](#))

La precisión de posición típica de los GNSS es del orden de metros y Galileo ofrece las mejores prestaciones de todos ellos, como puede observarse en el [Gráfico 22](#) respecto de los GNSS con cobertura mundial en el cuarto trimestre de 2022 y en el [gráfico 23](#) para la exactitud de alcance en junio de 2022 (GAL: Galileo; GLO: GLONASS; BDS: BeiDou).

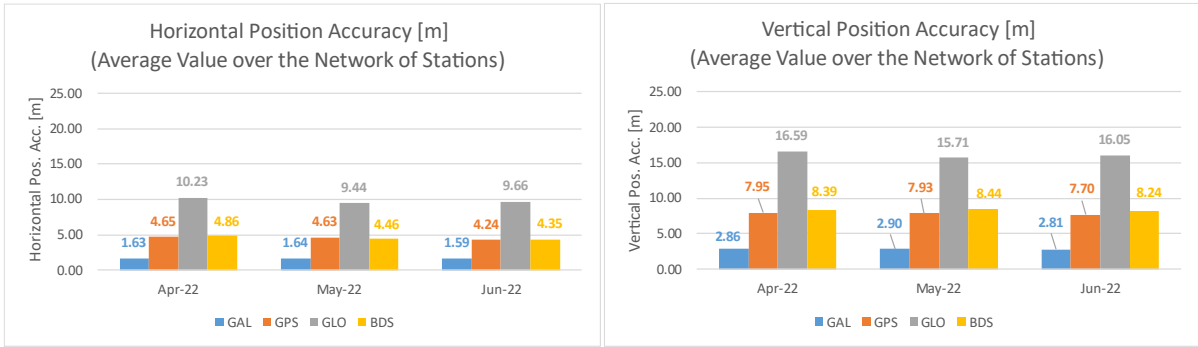


Gráfico 22. Rendimiento de los GNSS en términos de precisión horizontal y vertical (fuente: EUSPA)

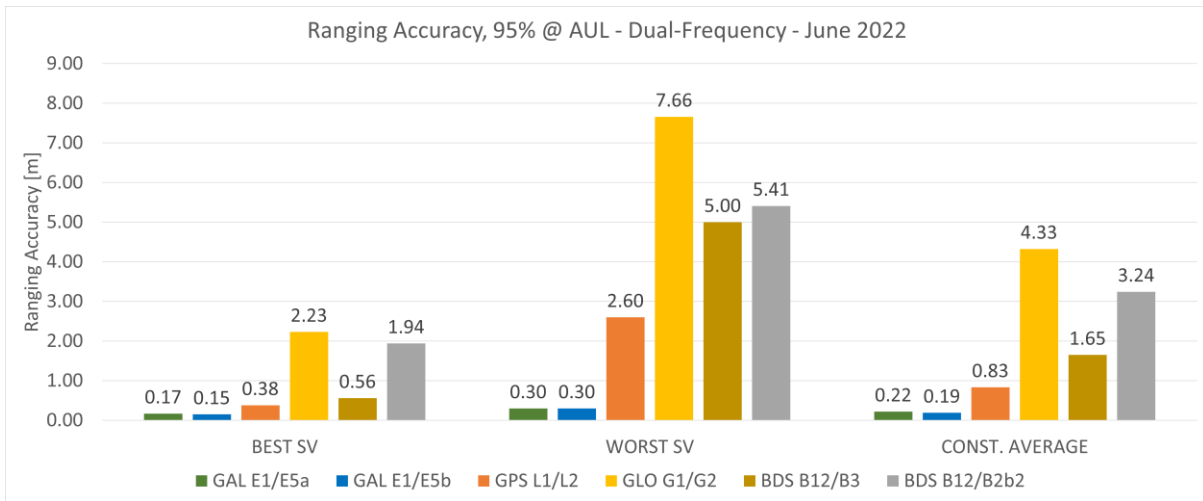


Gráfico 23. Exactitud de alcance de los GNSS (95 %) para los usuarios de doble frecuencia de Galileo, GPS, GLONASS y BeiDou

## 5.1.1 Sistemas de navegación por satélite con cobertura mundial

### 5.1.1.1 Galileo

Galileo es el sistema mundial de navegación por satélite europeo, bajo **control civil**, que presta desde **diciembre de 2016** un **servicio de posicionamiento mundial y de alta precisión** y un **servicio de localización de emergencia** en la región europea con fines de salvamento y rescate (SAR). Es interoperable con los demás sistemas mundiales de navegación por satélite.

Galileo consta de un segmento espacial, un segmento terrestre y un segmento de usuario.

El **segmento espacial de Galileo** está formado por una constelación de satélites en órbita terrestre media. La configuración de base de la constelación Galileo está definida como una constelación Walker 24/3/1: 24 satélites en órbita terrestre media nominal dispuestos en 3 planos orbitales, con sus nodos ascendentes distribuidos uniformemente a intervalos de 120°, inclinados a 56° con respecto al Ecuador. Cada plano orbital incluye 8 satélites distribuidos uniformemente dentro del plano, a intervalos de 45° de argumento de latitud. La separación entre satélites en dos planos adyacentes es de 15°. La constelación se complementa con satélites de reserva que pueden reubicarse en cualquier posición nominal dada dentro de cada plano orbital en función de las necesidades de mantenimiento o de evolución del servicio.

El **segmento terrestre de Galileo** incluye la infraestructura básica siguiente:

- Dos **centros de control de Galileo (GCC)** situados en Oberpfaffenhofen (Alemania) y Fucino (Italia), con funciones de «control» respaldadas por un *segmento de control en tierra (GCS)* y funciones de «misión» apoyadas por un *segmento de misión en tierra (GMS)* específico en cada emplazamiento:
  - El **segmento de control en tierra (GCS)** se ocupa de la verificación telemétrica de las aeronaves y del mantenimiento de la constelación a través de la red de estaciones de telemetría, seguimiento y control distribuidas por todo el mundo. Esto incluye el control y la vigilancia de los satélites y de la carga útil, las funciones de planificación y automatización que permiten que las operaciones se lleven a cabo de manera segura y adecuada, y el apoyo a las operaciones relacionadas con la carga útil.
  - El **segmento de misión en tierra (GMS)** determina la parte de los datos de navegación y temporización de los mensajes de navegación a través de la red de estaciones receptoras Galileo (GSS) y el GMS se comunica con los satélites Galileo a través de la red de estaciones de enlace ascendente de Galileo (ULS).
- Una red mundial de **estaciones receptoras Galileo (GSS)**, que recoge y transmite las mediciones y los datos sobre la SIS de Galileo a los GCC en tiempo real.
- Una red mundial de **estaciones de enlace ascendente de Galileo (ULS)**, que distribuye y sube los datos de la misión a la constelación de Galileo.
- Red mundial de **estaciones de telemetría, seguimiento y control**, que recopila y transmite los datos de telemetría generados por los satélites Galileo, y distribuye y sube los comandos de control necesarios para mantener los satélites Galileo y la constelación en condiciones operativas nominales.

En el Gráfico 24 se ofrece una visión general del segmento terrestre de Galileo, en la que solo se incluye la funcionalidad del segmento terrestre de Galileo relacionada con el servicio abierto (OS).

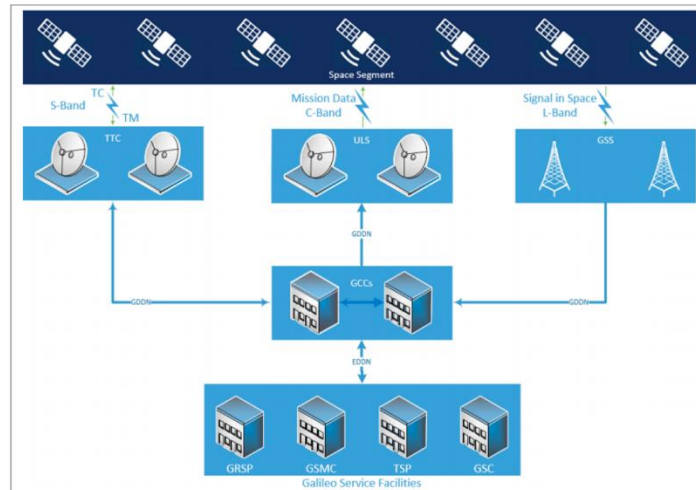


Gráfico 24. Esquema de alto nivel de la arquitectura del segmento terrestre de Galileo

Las **instalaciones de servicio de Galileo** son elementos situados fuera del perímetro de la infraestructura básica de Galileo que apoyan la prestación de servicios de Galileo.

Las instalaciones de servicio que contribuyen a la prestación del OS de Galileo son:

- El Centro Europeo de Servicios de GNSS (GSC): el GSC es la interfaz entre la comunidad de usuarios del OS de Galileo y el sistema Galileo.
- El Proveedor de Servicios de Referencia Geodésica (GRSP): esta entidad presta apoyo al GCC en la realización del Marco de Referencia Terrestre de Galileo (GTRF), en consonancia con el Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF).
- El Proveedor de Servicios Horarios (TSP): esta entidad apoya al GCC en la realización de la hora del sistema Galileo (GST) y su alineación con el tiempo universal coordinado (UTC).
- El Centro de Supervisión de la Seguridad de Galileo (GSMC): esta instalación se encarga de supervisar la seguridad del sistema.
- El Proveedor de Servicios de Datos SAR/Galileo (SGDSP): esta entidad es responsable de la coordinación de las operaciones relacionadas con el servicio SAR/Galileo.
- El Centro de Referencia de Galileo (GRC): esta entidad es responsable del seguimiento y la evaluación del rendimiento de los servicios de Galileo y es totalmente independiente de la infraestructura básica de Galileo y de sus operaciones.

Por lo que respecta al servicio SAR de Galileo, se necesita infraestructura adicional tanto a bordo de los satélites como en tierra:

- El **segmento espacial SAR/Galileo** está compuesto por satélites Galileo con repetidores de búsqueda y salvamento (SARR). Los repetidores SAR de Galileo son dispositivos transparentes que comprenden el transpondedor SAR con sus antenas de recepción y transmisión.
- El **segmento terrestre SAR/Galileo** está formado por tres terminales locales de usuario MEO (MEOLUT) situadas en Maspalomas (España), Lárnaca (Chipre) y Spitsbergen (Noruega), que proporcionan información sobre identificación y localización de radiobalizas y cinco radiobalizas de referencia (REFBE) situadas en Maspalomas (España), Lárnaca (Chipre), Spitsbergen (Noruega), Toulouse (Francia) y Santa María (Portugal). En 2023 se desplegará un cuarto MEOLUT en la isla de la Reunión (Francia).

El gráfico siguiente ofrece una visión general de la ubicación de los distintos emplazamientos de Galileo.

## Galileo Sites and Ground Stations

- HQ: Headquarters
- GCC: Galileo Control Centre
- GSMC: Galileo Security Monitoring Centre
- SGSC: SAR/Galileo Service Centre
- GSC: GNSS Service Centre
- GRC: Galileo Reference Centre
- GILSC: Galileo Integrated Logistic Support Centre
- TTCC: Telemetry, Tracking and Command
- ULS: Uplink Station
- GSS: Ground Sensor Station
- MEOLUT: Medium Altitude Earth Orbit Local User Terminal
- REFBE: Galileo/SAR Reference Beacons
- IOT: In-Orbit Testing station



Galileo Sites and Ground Stations status as of September 2021



Gráfico 25. Emplazamientos y estaciones terrestres de Galileo (fuente: [GSC](#))



El [segmento de usuario de Galileo](#) está compuesto por todos los receptores y dispositivos compatibles que recogen las señales de Galileo, determinan los pseudorángos (y otros observables) y resuelven las ecuaciones de navegación con el fin de obtener sus coordenadas y proporcionar una sincronización temporal precisa.

#### 5.1.1.1.1 Servicios de Galileo

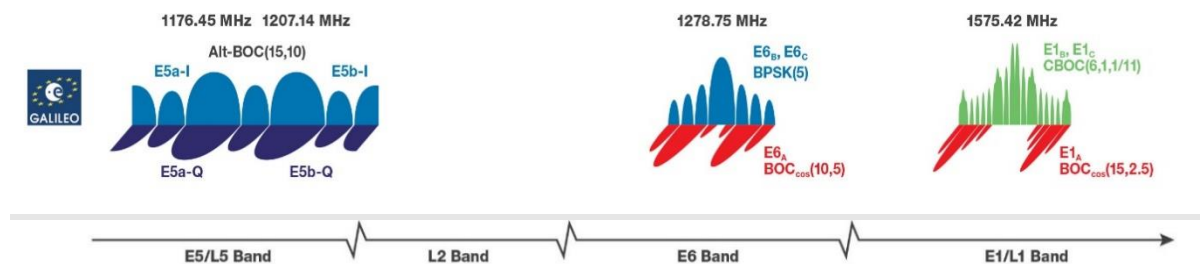
Los servicios de Galileo se describen en la sección [3.2](#).

#### 5.1.1.1.2 Características principales

El [Cuadro 7](#) y el [Gráfico 26](#) muestran las principales características de las señales de Galileo.

*Cuadro 7. Características principales de las señales de Galileo*

E1		
Señal	E1 OS	E1 PRS
Frecuencia (MHz)	1 575,42	1 575,42
Técnica de acceso	CDMA	CDMA
Modulación	CBOC (6,1,1/11)	BOC <sub>cos</sub> (15,2,5)
Potencia mínima recibida [dBW]	- 157	
E6		
Señal	E6 CS	E6 PRS
Frecuencia (MHz)	1 278,75	1 278,75
Técnica de acceso	CDMA	CDMA
Modulación	BPSK (5)	BOC <sub>cos</sub> (10,5)
Potencia mínima recibida [dBW]	- 155	
E5		
Señal	E5a	E5b
Frecuencia (MHz)	1 176,45	1 207,14
Técnica de acceso	CDMA	CDMA
Modulación	AltBOC (15,10)	AltBOC (15,10)
Potencia mínima recibida [dBW]	- 155	



*Gráfico 26. Señales de Galileo (fuente: [Navipedia](#))*

### 5.1.1.1.3 Rendimiento

El [documento de definición del servicio abierto de Galileo](#) define los niveles mínimos de rendimiento (MPL) de dicho servicio. El [Cuadro 8](#) recoge el rendimiento típico del sistema Galileo desplegado en su totalidad.

*Cuadro 8. Rendimiento del servicio de Galileo cuando se despliega plenamente.*

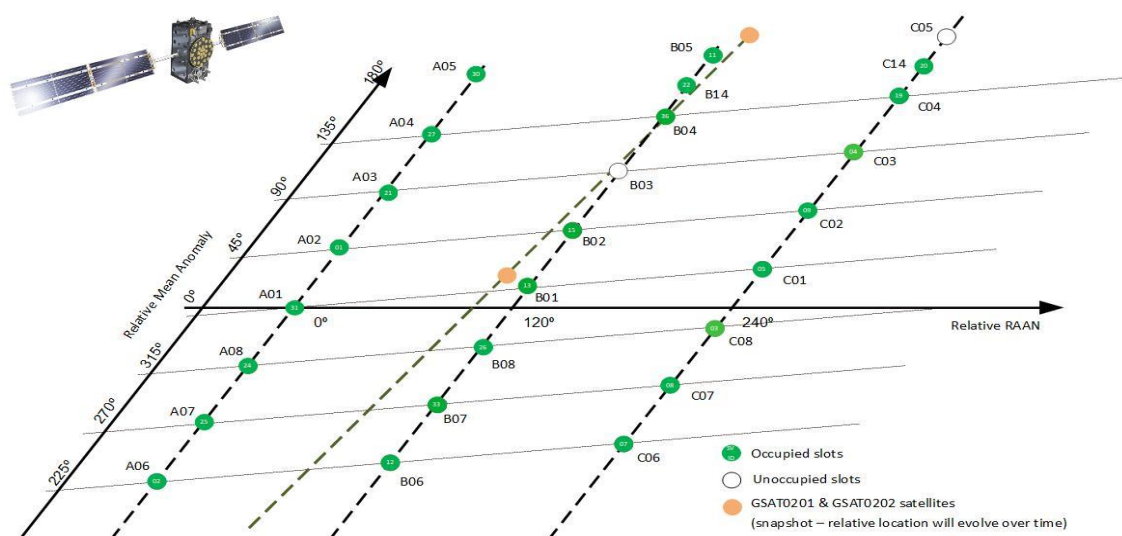
		Servicio abierto de Galileo (posicionamiento y temporización)	
		Frecuencia única	Doble frecuencia
<b>Cobertura</b>	<b>Mundial</b>		
<b>Precisión (95 %)</b>	Horizontal: 15 m	Horizontal: 4 m	
	Vertical: 35 m	Vertical: 8 m	
<b>Disponibilidad</b>	99,5 %		99,5 %
<b>Precisión de la temporización con respecto a UTC/TAI</b>	30 ns		Precisión de la temporización con respecto a UTC/TAI

Puede encontrar más información sobre el rendimiento del servicio abierto u otros servicios, como SAR, en los [Documentos de definición de servicio del servicio abierto y del SAR](#).

### 5.1.1.1.4 Situación y planes de modernización

A finales de 2022, la **situación del segmento espacial de Galileo** era la siguiente:

- Se habían lanzado 28 satélites de primera generación con 26 satélites operativos para búsqueda y salvamento y 24 satélites operativos para la navegación (1 desde la posición de reserva).
- Se habían fabricado 10 satélites de primera generación que están listos para su lanzamiento:
  - 4 satélites permitirán una plena capacidad operativa al llenar todas las posiciones nominales + 1 de reserva por plano con fines de solidez.
  - Otros 6 satélites permitirán mantener la constelación hasta la llegada de los satélites de segunda generación.



*Gráfico 27. Segmento espacial de Galileo (situación a finales de 2022)*

Los servicios prestados por la primera generación de Galileo se verán reforzados por la nueva generación de Galileo [denominada **segunda generación de Galileo (G2G)**] junto con la prestación de nuevos servicios. Estos servicios se determinan explícitamente en el [Reglamento sobre el espacio de la UE](#) y se han descrito en la sección [3.2](#). El siguiente gráfico muestra las diversas mejoras de servicio que aportará la G2G:



Gráfico 28. Mejoras de los servicios en la segunda generación de Galileo

Los requisitos de **misión** para la G2G ya se han establecido y también se han formalizado mediante la [Decisión de Ejecución C\(2020\) 8968 de la Comisión](#).

Estos servicios nuevos y mejorados se lograrán gracias a los satélites de nueva generación y al refuerzo de las capacidades del segmento terrestre.

Las nuevas tecnologías a bordo incluirán la **propulsión eléctrica** para propulsar los satélites desde la órbita en la que se lanzarán hasta las órbitas operativas finales, permitiendo el lanzamiento simultáneo de dos satélites a pesar de su mayor masa. Los **enlaces entre satélites** reducirán la dependencia de los contactos de las instalaciones terrestres. Los satélites también estarán dotados de **señales más potentes**, una **carga útil más flexible** que incluirá una nueva antena de navegación, **relojes atómicos más precisos a bordo** y una **vida útil más larga**.

El **segmento terrestre se mejorará** en términos globales, desde el *hardware* hasta el *software* y los enlaces de comunicación. Los algoritmos evolucionarán y se implantará vigilancia adicional, lo que mejorará el rendimiento y la solidez de los servicios ya prestados. Se añadirán funcionalidades adicionales que permitan el control de las nuevas capacidades en los satélites, así como la prestación de los nuevos servicios.

Puede consultar más información sobre el programa Galileo en los [documentos sobre dicho programa](#).

### 5.1.1.2 GPS

El [sistema de posicionamiento global](#) (GPS) es un sistema de posicionamiento, navegación y temporización propiedad del Gobierno de los Estados Unidos y administrado por las Fuerzas Aéreas estadounidenses. Se trata de un sistema de doble uso que presta servicio a usuarios civiles y militares. El GPS consta de un segmento espacial, un segmento de control y un segmento de usuario. Funciona transmitiendo varias señales de radiofrecuencia que contienen información precisa sobre el tiempo y la localización de una constelación de satélites. Combinando la información recibida de al menos cuatro satélites, el usuario recibe una estimación de su posición y el tiempo. **La capacidad operativa inicial del GPS comenzó en 1993.** Ofrece una cobertura mundial continua en todas las condiciones meteorológicas.

El **segmento espacial del GPS** está formado por una constelación de satélites en órbita terrestre media. Se necesita un mínimo de 24 satélites para ofrecer una cobertura mundial, aunque el número real de satélites en órbita suele ser mayor, lo que aumenta el nivel de prestaciones del sistema. Los satélites se encuentran en seis planos orbitales igualmente espaciados, con una inclinación de 55° y a una altitud de 20 200 km. Con esta configuración de constelación, cada punto de la superficie terrestre siempre ve al menos cuatro satélites GPS, lo que es necesario para obtener la información de posicionamiento.

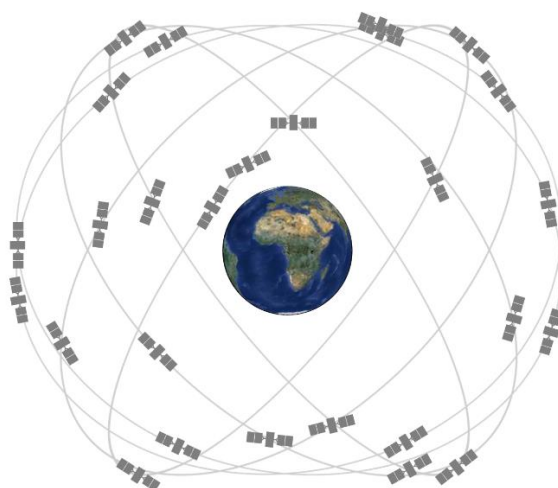


Gráfico 29. Constelación GPS (fuente: <https://www.gps.gov/spanish.php>)

Desde el primer lanzamiento en 1978, los Estados Unidos no han dejado de mejorar las características de los satélites GPS. Cada generación, o bloque, de satélites transmite más señales, con códigos mejorados y en más frecuencias con respecto a la anterior. Los satélites modernizados también incluyen mejores componentes y características: relojes atómicos mejorados, mayor potencia, vida útil prevista alargada, etc. El resultado es una mejora del rendimiento y de la precisión tanto para los usuarios civiles como para los militares. Este proceso de evolución continuará en el futuro.

La constelación GPS es una combinación de satélites antiguos y nuevos. En el siguiente cuadro se resumen las características de las generaciones actual y futura de satélites GPS, incluidos el Bloque IIA (2.ª generación, «Avanzado»), el Bloque IIR («Reposición»), el Bloque IIR-M («Modernizado»), el Bloque IIF («Seguimiento»), el GPS III y el GPS IIIF («Seguimiento»).

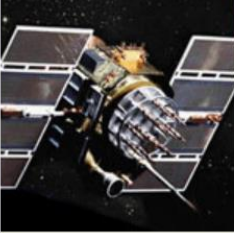
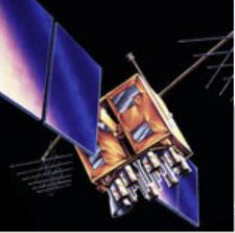

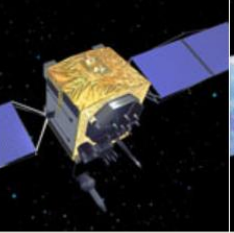

LEGACY SATELLITES		MODERNIZED SATELLITES		
				
BLOCK IIA	BLOCK IIR	BLOCK IIR-M	BLOCK IIF	GPS III/IIF
0 operational	7 operational	7 operational	12 operational	5 operational
<ul style="list-style-type: none"> <li>Coarse Acquisition (C/A) code on L1 frequency for civil users</li> <li>Precise P(Y) code on L1 &amp; L2 frequencies for military users</li> <li>7.5-year design lifespan</li> <li>Launched in 1990-1997</li> <li>Last one decommissioned in 2019</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>C/A code on L1</li> <li>P(Y) code on L1 &amp; L2</li> <li>On-board clock monitoring</li> <li>7.5-year design lifespan</li> <li>Launched in 1997-2004</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>All legacy signals</li> <li>2nd civil signal on L2 (L2C) <a href="#">LEARN MORE</a> →</li> <li>New military M code signals for enhanced jam resistance</li> <li>Flexible power levels for military signals</li> <li>7.5-year design lifespan</li> <li>Launched in 2005-2009</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>All Block IIR-M signals</li> <li>3rd civil signal on L5 frequency (L5) <a href="#">LEARN MORE</a> →</li> <li>Advanced atomic clocks</li> <li>Improved accuracy, signal strength, and quality</li> <li>12-year design lifespan</li> <li>Launched in 2010-2016</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>All Block IIF signals</li> <li>4th civil signal on L1 (L1C) <a href="#">LEARN MORE</a> →</li> <li>Enhanced signal reliability, accuracy, and integrity</li> <li>No Selective Availability <a href="#">LEARN MORE</a> →</li> <li>15-year design lifespan</li> <li>IIF: laser reflectors; search &amp; rescue payload</li> <li>First launch in 2018</li> </ul>

Gráfico 30. Evolución de los satélites del GPS (fuente: <https://www.gps.gov/spanish.php>)

A fecha de 26 de junio de 2022, había un total de 31 satélites operativos en la constelación GPS, sin incluir los de reserva en órbita fuera de servicio.

El **segmento de control** consiste en una red mundial de instalaciones terrestres que rastrean, controlan y controlan los satélites GPS. El segmento de control supervisa el estado de salud de los satélites, resuelve cualquier posible anomalía, controla las órbitas de los satélites y las ajusta, en caso necesario, ajusta los relojes a bordo y, en general, realiza cualquier tarea necesaria para mantener el buen funcionamiento del sistema. Está compuesto por una estación de control maestra (base de las Fuerzas Aéreas de Schriever, Colorado), una estación de control maestra alternativa (base de las Fuerza Aéreas de Vandenberg, California), 16 estaciones de control (distribuidas por todo el mundo) y 11 antenas de mando y control. El segmento de control GPS está conectado a la Red de Control de Satélites de las Fuerzas Aéreas para aumentar la flexibilidad y la solidez del seguimiento y el mando.

## GPS Control Segment

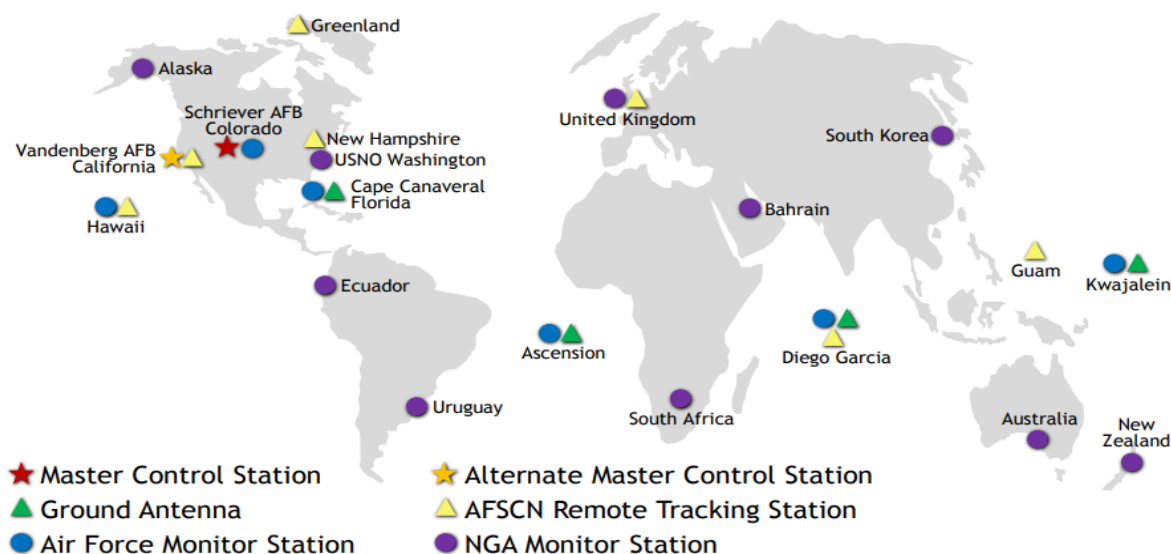


Gráfico 31. Segmento de control GPS (fuente: <https://www.gps.gov/spanish.php>)

El **segmento de usuario** está formado por los receptores utilizados para recibir y decodificar las señales GPS. Un receptor proporciona al usuario información tridimensional sobre su ubicación más una señal de temporización muy precisa.

### 5.1.1.2.1 Servicios GPS

Existen dos tipos de [servicios de posicionamiento GPS](#):

- El **Servicio de Posicionamiento Estándar GPS (GPS SPS)**, libre de tasas directas de usuario, para uso civil, comercial y científico. La política de los Estados Unidos es no aplicar tasas por el uso del sistema GPS SPS. Para acceder a este servicio, basta con que los usuarios dispongan de un receptor GPS adecuado.
- El **Servicio de Posicionamiento de Precisión GPS (GPS PPS)**, restringido al Gobierno de los Estados Unidos, a las fuerzas armadas estadounidenses y a sus aliados seleccionados.

### 5.1.1.2.2 Características principales

El **volumen de servicio** terrestre de la constelación GPS comprende desde la superficie terrestre hasta una altitud de 3 000 km.

El [Cuadro 9](#) y el [Gráfico 32](#) muestran las principales características de las **señales GPS**.

Cuadro 9. Características principales de las señales GPS

L1				
Señal	C/A	L1C	P(Y)	M
Frecuencia (MHz)	1 575,42	1 575,42	1 575,42	1 575,42
Técnica de acceso	CDMA	CDMA	CDMA	CDMA
Modulación	BPSK (1)	TMBOC (6,1,1/11)	BPSK (10)	BOCsín (10,5)
Potencia mínima recibida [dBW]	-158,5	-157	-161,5	N.D.



L2			
Señal	L2 C	P(Y)	M
Frecuencia (MHz)	1 227,6	1 227,6	1 227,6
Técnica de acceso	CDMA	CDMA	CDMA
Modulación	BPSK (1)	BPSK (10)	BOCsin (10,5)
Potencia mínima recibida [dBW]	- 161,5	- 160	N.D.
L5			
Señal	L5		
Frecuencia (MHz)	1 176,45		
Técnica de acceso	CDMA		
Modulación	BPSK (10)		
Potencia mínima recibida [dBW]	- 157,9		

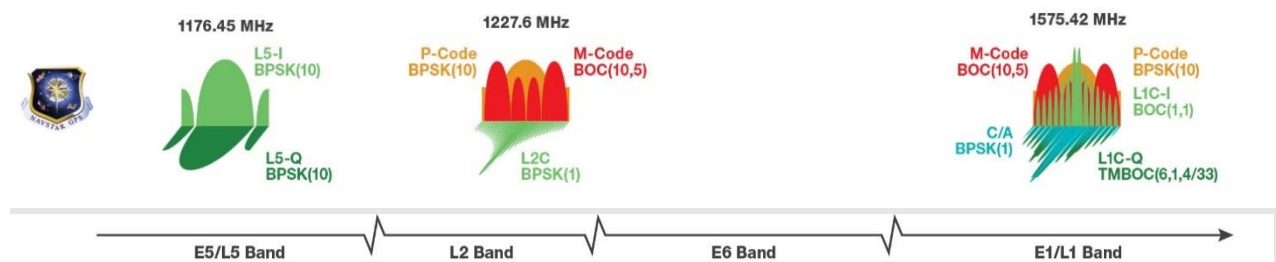


Gráfico 32. Señales GPS (fuente: [Navipedia](#))

El error en la posición y el tiempo que experimentarán los usuarios dependerá de las características de las señales transmitidas por los satélites GPS, de su propagación y de las prestaciones del receptor empleado. El [Cuadro 10](#) muestra los **niveles de precisión en términos de posición y tiempo del GPS SPS** para unas condiciones de usuario representativas.

Cuadro 10. Niveles de precisión en términos de posición y tiempo del GPS SPS

<p><b>Precisión global media en el ámbito de la posición:</b></p> <p><b>Error horizontal (95 %) ≤ 9 m</b></p> <p><b>Error vertical (95 %) ≤ 15 m</b></p>	<p>Nivel basado en un intervalo de medición de 24 horas promediado en todos los puntos del volumen de servicio</p>
<p><b>Precisión en el ámbito de la posición en el peor emplazamiento:</b></p> <p><b>Error horizontal (95 %) ≤ 17 m</b></p> <p><b>Error vertical (95 %) ≤ 37 m</b></p>	<p>Nivel basado en un intervalo de medición de 24 horas para cualquier punto del volumen de servicio</p>
<p><b>Precisión en el ámbito de la transferencia de tiempo:</b></p> <p><b>Error en la transferencia de tiempo (95 %) ≤ 40 ns (solo SIS)</b></p>	<p>Nivel basado en un intervalo de medición de 24 horas promediado en todos los puntos del volumen de servicio</p>

El [Cuadro 11](#) muestra las **especificaciones del GPS SPS en cuanto a disponibilidad, integridad y continuidad**.

*Cuadro 11. Especificaciones del GPS SPS*

<b>Disponibilidad</b>	99 %
<b>Integridad</b>	$\geq 1 - 1 \times 10^{-5}/h$
<b>Continuidad</b>	$\geq 0,9998/h$

Para utilizar las señales GPS, los usuarios solo necesitan disponer de un receptor compatible, lo que significa que el GPS puede atender a un número ilimitado de usuarios al mismo tiempo.

#### **5.1.1.2.3 Rendimiento**

El Gobierno de los Estados Unidos se ha comprometido a prestar los servicios del GPS a la comunidad civil a los niveles de rendimiento especificados en la [Norma de rendimiento del Servicio de Posicionamiento Estándar GPS](#).

En 2020 se llevó a cabo un [análisis del rendimiento del GPS SPS](#), encargado por las Fuerzas Espaciales, en el que se concluye que en 2020 se habían cumplido todas las afirmaciones relativas a la norma de rendimiento del SPS examinadas en el informe. Entre las afirmaciones evaluadas se incluyen las relativas a la precisión, la integridad, la continuidad y la disponibilidad de la señal en el espacio del GPS, junto con las afirmaciones respecto de la precisión del posicionamiento y la transferencia de tiempo.

#### **5.1.1.2.4 Situación y planes de modernización**

El programa de modernización del GPS es un esfuerzo continuo de miles de millones de dólares para mejorar las características y el rendimiento global del sistema de posicionamiento global. Las funciones mejoradas incluyen nuevas señales GPS civiles y militares.

La modernización del [segmento espacial](#) se muestra en el [Gráfico 30](#).

La modernización del [segmento de control](#) incluye las mejoras necesarias para el mando y el control de los satélites GPS más recientes y para reforzar la ciberseguridad. Las mejoras en curso son las siguientes:

- [OCX: Sistema de Control Operativo de Próxima Generación.](#)
- [Cops: operaciones de contingencia GPS III.](#)
- [MCEU: uso temprano del código M.](#)

Uno de los principales objetivos del programa de modernización del GPS es la adición de [nuevas señales de navegación](#) a la constelación de satélites. El Gobierno está desplegando tres [nuevas señales](#) concebidas para uso civil: [L2C](#), [L5](#) y [L1C](#). La [señal civil heredada](#), denominada [L1 C/A](#) o [C/A](#) en [L1](#), continuará emitiendo, para un total de cuatro señales civiles GPS. Los usuarios deben actualizar sus equipos para poder utilizar las nuevas señales. Las nuevas señales civiles se están introduciendo progresivamente a medida que las Fuerzas Aéreas lanzan nuevos satélites GPS para sustituir a los más antiguos. La mayoría de las nuevas señales serán de uso limitado hasta que se emitan de 18 a 24 satélites.

El programa de modernización del GPS está añadiendo nuevas señales civiles a la constelación GPS. Las nuevas señales utilizan un formato modernizado de [mensaje de navegación civil \(CNAV\)](#) que es más flexible que el mensaje de navegación heredado (LNAV) en la señal civil original (código C/A). El CNAV también ofrece características modernas, como la corrección de errores sin canal de retorno. El CNAV se define íntegramente en las [especificaciones de interfaz](#) para las señales GPS [L2C](#), [L5](#) y [L1C](#).

### 5.1.1.3 BeiDou

BeiDou es un sistema mundial de navegación por satélite propiedad de las autoridades chinas y desarrollado por ellas. Se trata de un sistema de doble uso que satisfará las necesidades de los usuarios tanto civiles como gubernamentales, incluidos los militares.

El **segmento espacial** de BeiDou, descrito en el [Gráfico 33](#), está diseñado para estar formado por cinco satélites geostacionarios, tres satélites en órbita geosíncrona inclinada (IGSO) y veintisiete satélites MEO. Los satélites geostacionarios se encuentran a 58,75° E, 80,0° E, 110,5° E, 140,0° E y 160,0° E. Los satélites IGSO se distribuyen uniformemente en órbita con una altitud de 36 000 km, una inclinación de 55° y un punto de intersección a 118.0° E. Los satélites MEO se distribuyen uniformemente en órbitas circulares en tres planos orbitales, con una altitud de 21 500 km y una inclinación de 55°.



El **segmento terrestre** de BeiDou consiste en una estación de control, estaciones de carga y una red de estaciones de control. Las estaciones de control verifican la calidad de las señales de navegación y el estado de los satélites y envían esta información al centro de control. El centro de control procesa esta información, genera el nuevo mensaje de navegación y los comandos necesarios para que los satélites funcionen correctamente. Las estaciones de carga transmiten esta información a los satélites.

*Gráfico 33. Constelación BeiDou*

#### 5.1.1.3.1 Servicios de BeiDou

BeiDou tendrá dos tipos de servicios:

- El **servicio público de BeiDou**, cuyo acceso es gratuito e ilimitado. La política de las autoridades chinas es que siga siendo así. Para acceder a este servicio, basta con que los usuarios dispongan de un receptor BeiDou adecuado.
- El **servicio restringido de BeiDou**, al que solo pueden acceder las autoridades chinas.

#### 5.1.1.3.2 Características principales

BeiDou cuenta con cobertura mundial por toda la superficie terrestre, en cualquier condición meteorológica, y presta servicios de posicionamiento, navegación y temporización. El [Gráfico 33](#) y el [Gráfico 34](#) recogen las características principales de las señales BeiDou.

*Cuadro 12. Características principales de las señales BeiDou*

B1				
Señal	B1-I(OS)	B1-Q(AS)	B1-C	B1
Frecuencia (MHz)	1 561,098	1 561,098	1 575,42	1 575,42
Técnica de acceso	CDMA	CDMA	CDMA	CDMA
Modulación	BPSK (2)	BPSK (2)	MBOC (6,1,1/11)	BOC (14,2)
B3				

Señal	B3-I(AS)	B3-Q(AS)	B3-A(AS)	B3(AS)
Frecuencia (MHz)	1 268,52	1268,52	1 268,52	1 268,52
Técnica de acceso	CDMA	CDMA	CDMA	CDMA
Modulación	BPSK (10)	BPSK (10)	BOC (15,2.5)	BPSK (10)
<b>B2</b>				
Señal	B2-I(OS)	B2-Q(AS)	B2a	B2b
Frecuencia (MHz)	1 207,14	1 207,14	1 176,46	1207,14
Técnica de acceso	CDMA	CDMA	CDMA	CDMA
Modulación	BPSK (2)	BPSK (10)	AltBOC (15,10)	AltBOC (15,10)

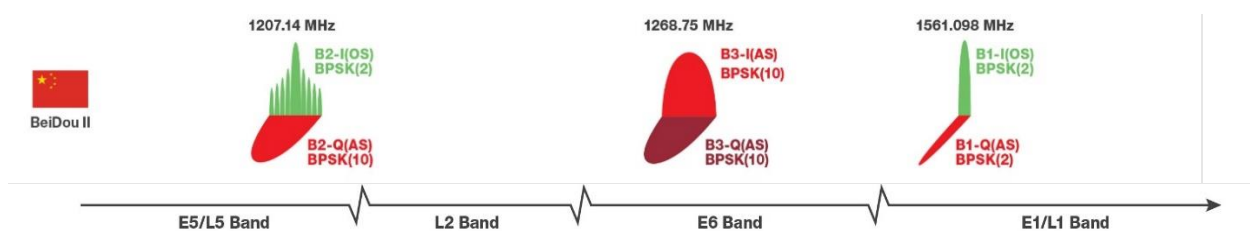


Gráfico 34. Señales BeiDou (fuente: [Navipedia](#))

#### 5.1.1.3.3 Rendimiento

La Oficina de Navegación por Satélite de China publicó en 2013 la «Norma de rendimiento del servicio abierto del sistema de navegación BeiDou». El [Cuadro 13](#) reproduce los valores de precisión referentes a la posición, la velocidad y la temporización.

Cuadro 13. Rendimiento de BeiDou

<b>Precisión vertical (95 %)</b>	≤ 10 m	Error estadístico de posición/velocidad/tiempo para cualquier punto del volumen de servicio a lo largo de cualquier intervalo de 24 horas.
<b>Precisión vertical (95 %)</b>	≤ 10 m	
<b>Precisión de la velocidad (95 %)</b>	≤ 0,2 m/s	
<b>Precisión temporal (95 %)</b>	≤ 50 ns	
<b>Disponibilidad de la posición</b>	≥ 0,95	Cualquier punto del volumen de servicio en cualquier intervalo de 24 horas

Para utilizar las señales BeiDou, los usuarios necesitan disponer de un receptor compatible. BeiDou puede atender a un número ilimitado de usuarios al mismo tiempo.

#### 5.1.1.3.4 Situación y planes de modernización

La [constelación completa](#) de BeiDou 3 consta de veinticuatro satélites MEO, tres IGSO y tres geostacionarios, y se completó en 2020. En enero de 2022 había 44 satélites de la constelación operativos: 7 en órbita geostacionaria, 10 a 55° en IGSO y 27 en MEO. Además, se están probando o poniendo en servicio 5 satélites (2 en MEO, 1 en órbita geostacionaria y 2 en IGSO).

### 5.1.1.4 GLONASS

GLONASS es un sistema de radionavegación por satélite propiedad de Rusia y administrado por este país. Se trata de un sistema de doble uso que presta servicio a usuarios civiles y militares.

GLONASS consta de un segmento espacial, un segmento de control y un segmento de usuario. Son necesarios un mínimo de veinticuatro satélites para ofrecer una cobertura mundial. Los satélites están situados en tres planos orbitales con una inclinación de 63.8° a una altitud de 19 140 km. Esta configuración garantiza una cobertura mundial de la superficie terrestre y está adaptada a las altas latitudes de Rusia.

GLONASS alcanzó la **plena capacidad operativa** (veinticuatro satélites en funcionamiento) **en 1996**, pero en 2002 la constelación se redujo a tan solo siete satélites, con solo seis disponibles durante las operaciones de mantenimiento. El 8 de diciembre de 2011 se consiguió de nuevo una constelación completa de veinticuatro satélites, que posteriormente se ha mantenido en mayor o menor medida (véase la situación de la constelación en la sección [5.1.1.4.4](#)).

El segmento de control de GLONASS consiste en una red de estaciones de control, antenas de comunicación de enlace ascendente y enlace descendente, estaciones de seguimiento láser y un centro de control del sistema. El segmento de control supervisa el estado y el nivel de prestaciones de los satélites y resuelve cualquier posible anomalía que pudiera aparecer ([documentación del sistema GLONASS](#)).

#### 5.1.1.4.1 Servicios de GLONASS

GLONASS presta dos tipos de servicios:

- El **servicio civil de GLONASS**, cuyo acceso es gratuito e ilimitado. La política de las autoridades rusas es que siga siendo así. Para acceder a este servicio, basta con que los usuarios dispongan de un receptor GLONASS adecuado.
- El **servicio restringido de GLONASS**, limitado al Gobierno ruso y a las fuerzas armadas.

#### 5.1.1.4.2 Características principales

GLONASS tiene cobertura mundial en toda la superficie terrestre, en todas las condiciones meteorológicas, y presta servicios de posicionamiento, navegación y temporización. El [Cuadro 14](#) y el [Gráfico 35](#) muestran las principales características de las señales GLONASS.

*Cuadro 14. Características principales de las señales GLONASS*

L1				
Señal	C/A	P	L1 OC	L1 OCM
Frecuencia (MHz)	1 598,0625 a 1 605,375	1 598,0625 a 1 605,375	1 600,995	1 600,995
Técnica de acceso	FDMA	FDMA	CDMA	CDMA
Modulación	BPSK (0,511)	BPSK (5,11)	BPSK (1)	BOC (5,2,5)
Potencia mínima recibida [dBW]	- 161	N.D.		
L2				
Señal	C/A	P	L2 OC	L2 OCM
Frecuencia (MHz)	1 242,9375 a 1 248,625	1 242,9375 a 1 248,625	1 248,06	1 248,06
Técnica de acceso	FDMA	FDMA	CDMA	CDMA
Modulación	BPSK (0,511)	BPSK (5,11)	BPSK (1)	BOC (5,2,5)
Potencia mínima recibida [dBW]	- 167	N.D.		
L3				

Señal	L3 OC
Frecuencia (MHz)	1 202,025
Técnica de acceso	CDMA
Modulación	QPSK (10)
<b>L5</b>	
Señal	L5 OC
Frecuencia (MHz)	1 176,45
Técnica de acceso	CDMA
Modulación	QPSK (10)

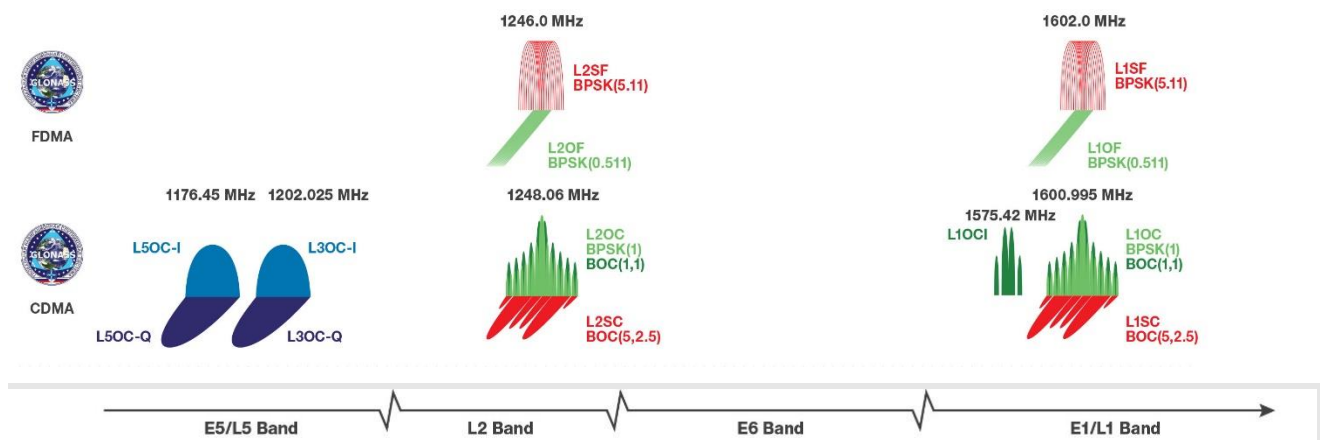


Gráfico 35. Señales GLONASS (fuente: [Navipedia](#))

### 5.1.1.4.3 Rendimiento

GLONASS publica el sistema de constelación y el rendimiento de usuario en el [sitio web oficial de GLONASS](#). La precisión de usuario de la señal en el espacio (SIS UA) y el error de alcance de la señal en el espacio (SISRE) en agosto de 2022 se muestran en el [Gráfico 36](#) y en el [Gráfico 37](#).



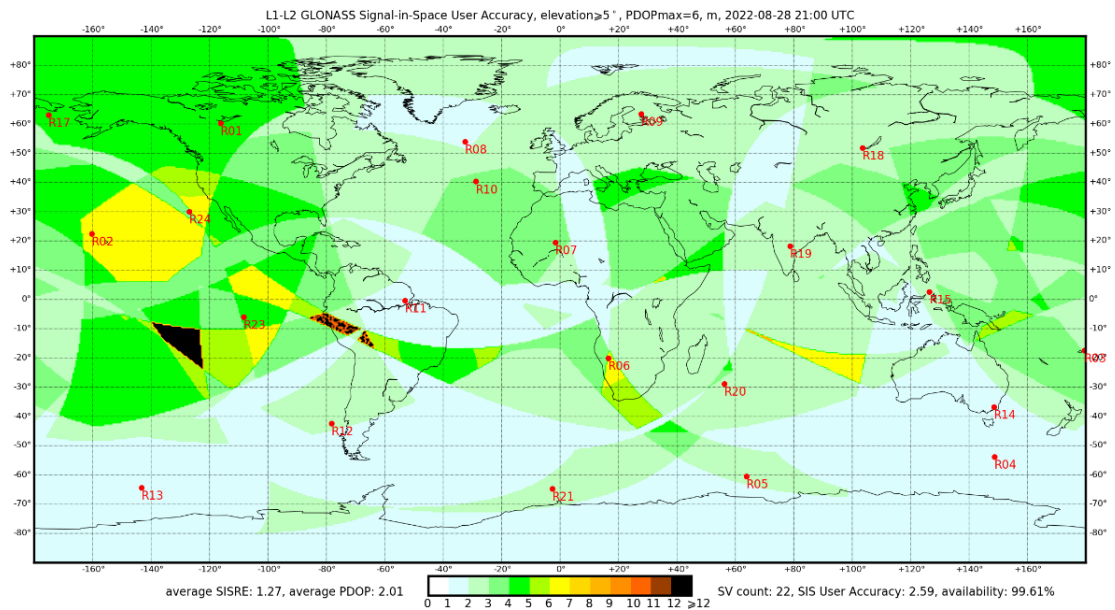


Gráfico 36. Rendimiento en cuanto a la precisión de usuario de la señal en el espacio (SIS UA) de GLONASS

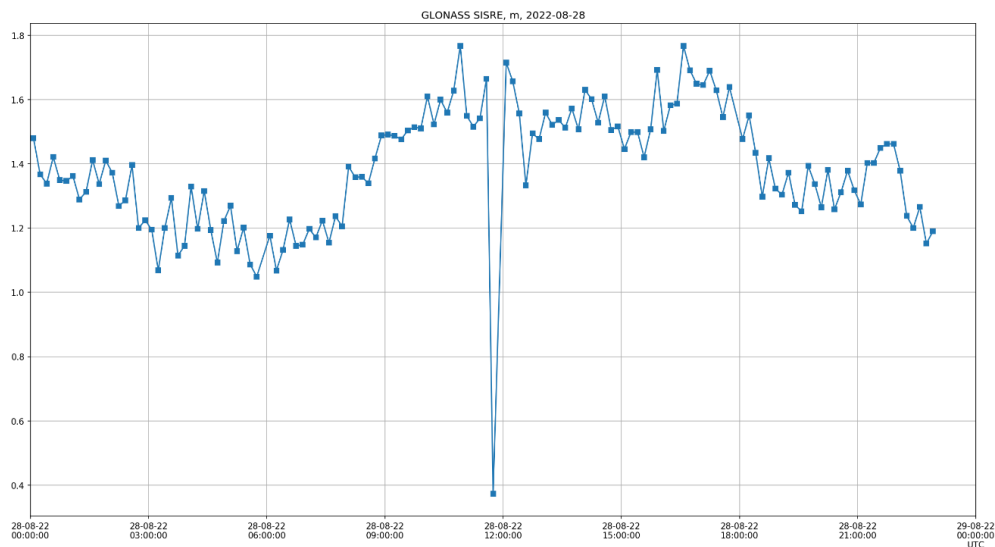


Gráfico 37. Rendimiento en términos de error de alcance de la señal en el espacio (SISRE) de GLONASS

Para utilizar las señales GLONASS, los usuarios necesitan disponer de un receptor compatible. GLONASS puede atender a un número ilimitado de usuarios al mismo tiempo.

#### 5.1.1.4.4 Situación y planes de modernización

En mayo de 2022 había veintidós [satélites GLONASS operativos](#) en órbita y tres en fase de mantenimiento. Todos los satélites pertenecen al bloque GLONASS-M, excepto dos que pertenecen al bloque GLONASS-K. Desde 2019, Rusia tiene previsto reponer la constelación con los satélites GLONASS-K1 y GLONASS-K2 modernizados. Las bandas FDMA L1 y L2 han alcanzado la plena capacidad operativa. Se espera que la banda CDMA L3 alcance la plena capacidad operativa en 2022, la CDMA L2 en 2025 y la CDMA L1 en torno a 2030 ([documentación oficial del sistema GLONASS](#)).

Puede obtener más información sobre la situación del sistema y su modernización en el [sitio web de GLONASS](#).

## 5.1.2 Sistemas de navegación por satélite con cobertura regional

### 5.1.2.1 QZSS

El Sistema por Satélite Cuasicenital (QZSS), también conocido como Michibiki, es un sistema regional de aumentación por satélite desarrollado por **Japón** para mejorar el nivel de prestaciones experimentado por los usuarios del GPS en las regiones de Asia y Oceanía. El sistema está compuesto por cuatro satélites operativos y un satélite de reserva con cobertura centrada en **Japón**. Los **primeros cuatro satélites** estaban disponibles en enero de 2018 y entraron en **funcionamiento en noviembre de 2018**.

El QZSS utiliza un satélite geoestacionario y tres satélites en órbitas geosíncronas, ligeramente elípticas y muy inclinadas del tipo Tundra. Cada órbita está a 120° de las otras dos. Debido a esta inclinación, no son geoestacionarios; no permanecen en el mismo lugar en el cielo. En cambio, sus trazos en el suelo son patrones asimétricos (analemas), diseñados para garantizar que uno esté casi directamente planeando (elevación de 60° o más) sobre Japón en todo momento. Para más información, véase el [sitio web del QZSS](#).

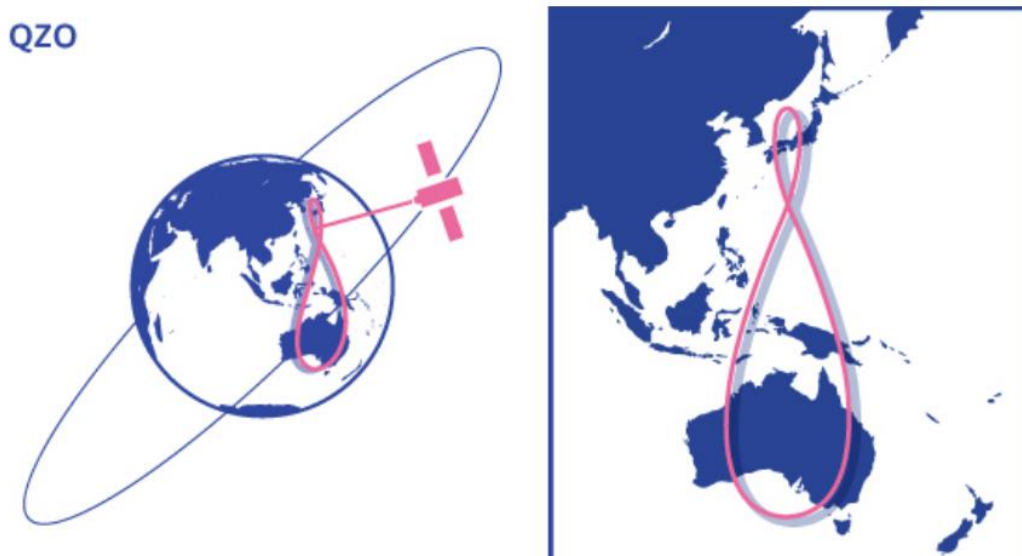


Gráfico 38. Constelación QZSS (fuente: [Secretaría de Política Espacial Nacional QZSS](#))

#### 5.1.2.1.1 Servicios QZSS

El QZSS ofrece tres clases de servicio público:

- El **servicio de PNT** complementa las señales utilizadas por el sistema GPS, proporcionando señales de alcance adicionales. El servicio emite en las bandas L1C/A, L1C, L2C y L5C, las mismas que el GPS.
- El **servicio de aumentación submétrica (SLAS)** proporciona aumentación de GNSS para GPS y es interoperable con otros sistemas GPS-SBAS. Transmite en la frecuencia L1.
- El **servicio de aumentación centimétrica (CLAS)** proporciona un posicionamiento de alta precisión compatible con el servicio E6 de mayor precisión de Galileo. La banda se denomina L6 o LEX por «experimental».

#### 5.1.2.1.2 Características principales

Los satélites cuasicenitales transmiten **señales compatibles con la señal GPS L1C/A**, así como con las **señales GPS L1C, L2C y L5** modernizadas. En comparación con el GPS en solitario, el sistema combinado GPS más QZSS ofrece una mejor prestación de posicionamiento mediante datos de corrección del alcance proporcionados a

través de las señales L1-SAIF y LEX, que mejoran el rendimiento. También mejora la fiabilidad mediante el seguimiento de fallos y las notificaciones de datos sobre la salud del sistema.

El [Cuadro 15](#) y el [Gráfico 39](#) muestran las principales características de las señales QZSS.

*Cuadro 15. Características principales de las señales QZSS*

L1			
Señal	L1 C/A	L1 C/B	L1C
Frecuencia (MHz)	1 575,42	1 575,42	1 575,42
Técnica de acceso	CDMA	CDMA	CDMA
Modulación	BPSK (1)	BOC	BOC/TBOC
Potencia mínima recibida [dBW]	- 158,5	- 158,5	L1CD: -163,0 dBW L1CP: -158,25 dBW
L2			
Señal	L2 C		
Frecuencia (MHz)	1 227,6		
Técnica de acceso	CDMA		
Modulación	BPSK		
Potencia mínima recibida [dBW]	-160,0 (Bloque I) -157,0 (Bloque II)		
L5			
Señal	L5		
Frecuencia (MHz)	1 176,45		
Técnica de acceso	CDMA		
Modulación	QPSK		
Potencia mínima recibida [dBW]	-157,9 (Bloque I) -157,0 (Bloque II)		
L6			
Señal	L6		
Frecuencia (MHz)	1 278,75		
Técnica de acceso	CDMA		
Modulación	BPSK		
Potencia mínima recibida [dBW]	-155,7 (Bloque I) -156,8 (Bloque II)		

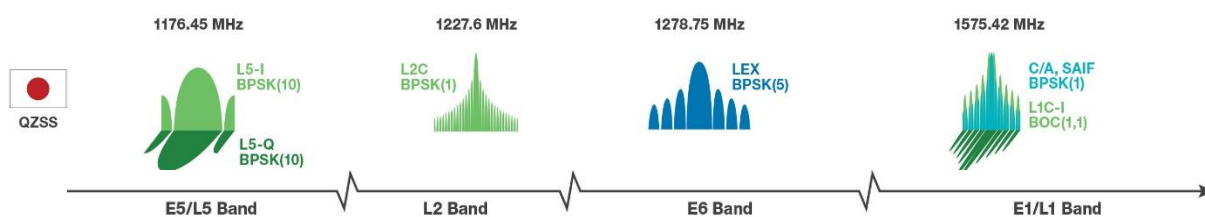


Gráfico 39. Señales QZSS (fuente: [Navipedia](#))

Para utilizar las señales QZSS, los usuarios solo necesitan disponer de un receptor compatible. El QZSS puede atender a un número ilimitado de usuarios al mismo tiempo.

#### 5.1.2.1.3 Rendimiento

El rendimiento del QZSS se describe en los informes técnicos disponibles en la [Oficina del Gabinete del Gobierno de Japón](#). La precisión de la señal en el espacio de los satélites QZSS a lo largo de 2021 se muestra en el [Gráfico 40](#).

Satélite	Mensaje NAV	Exactitud de la SIS (95 %) [m]					
		Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
SVN001 (PRN193)	LNAV	0,53	0,55	0,76	0,81	0,57	2,75
	CNAV	0,52	0,55	0,72	0,78	0,57	2,73
SVN002 (PRN194)	LNAV	0,88	1,08	1,06	0,71	0,60	0,47
	CNAV	0,88	1,12	1,08	0,71	0,59	0,48
SVN003 (PRN199)	LNAV	0,74	0,81	0,63	0,71	0,64	0,63
	CNAV	0,75	0,76	0,62	0,65	0,66	0,63
SVN004 (PRN195)	LNAV	0,93	0,83	0,88	0,99	0,88	0,92
	CNAV	0,93	0,81	0,89	0,98	0,89	0,95

Gráfico 40. Rendimiento del QZSS

#### 5.1.2.1.4 Situación y planes de modernización

Tras el éxito del lanzamiento del satélite QZS-1R en octubre de 2021, el QZSS inició la sustitución de los satélites de la constelación. El QZSS entró en servicio en noviembre de 2018 con cuatro satélites. Otros tres satélites estarán en órbita geosíncrona inclinada, en órbita geoestacionaria a 90,5° de longitud este, y en órbita cuasigeoestacionaria a 175° de longitud oeste. Además, la nueva constelación se completará con dos satélites geoestacionarios y un satélite cuasigeoestacionario. La Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón (JAXA) tiene previsto poner en marcha un **servicio de constelación de siete satélites en 2023 a más tardar**, así como servicios de PPP y autenticación para 2024.

Puede encontrar más información en [Navipedia](#).

### 5.1.2.2 IRNSS (NavIC)

El Sistema Regional de Navegación por Satélite de la India (IRNSS), cuyo nombre operativo es NavIC (acrónimo de «Navegación con Constelación India») es un sistema **regional** autónomo de navegación por satélite que proporciona servicios precisos de posicionamiento y temporización en tiempo real. Abarca la **India** y la región de 1 500 km (930 millas) que se extiende a su alrededor y existen planes de una ampliación adicional. Dispone de una zona de servicio ampliada que está situada entre la zona de servicio principal y una zona rectangular delimitada por el paralelo 30 Sur hasta el paralelo 50 Norte, y por el meridiano 30 Este hasta el meridiano 130 Este, entre 1 500 y 6 000 km más allá de las fronteras.

La constelación consta de ocho satélites (siete operativos). Tres de los ocho satélites están situados en órbita geostacionaria en las longitudes 32,5° E, 83° E y 131,5° E, aproximadamente 36 000 km por encima de la superficie terrestre. Los otros cinco satélites se encuentran en IGSO. Dos de ellos cruzan el ecuador a 55° E y dos a 111,75° E.

#### 5.1.2.2.1 Servicios IRNSS

El NavIC prestará dos niveles de servicio:

- El **Servicio de Posicionamiento Estándar (SPS)**, que estará abierto a un uso civil
- El **Servicio Restringido (RS)**, cifrado para usuarios autorizados (incluido el ejército).

#### 5.1.2.2.2 Características principales

Ambos servicios NavIC se prestarán en las bandas L5 (1 176,45 MHz) y S (2 492,028 MHz) [54]. La señal del **Servicio de Posicionamiento Estándar** se modulará con una señal BPSK de 1 MHz, mientras que el Servicio Restringido utilizará BOC (5,2). Las señales de navegación propiamente dichas se transmitirían en la banda de frecuencias S (2-4 GHz) y se difundirían a través de una red de antenas en fase para mantener la cobertura y la potencia de la señal necesarias.

Cuadro 16. Características principales de las señales IRNSS

L5		
Señal	L5 SPS	L5 RS
Frecuencia (MHz)	1 176,45	1 176,45
Técnica de acceso	CDMA	CDMA
Modulación	BPSK (1)	BOC (5,2)
Potencia mínima recibida [dBW]	-159,0	-159,0

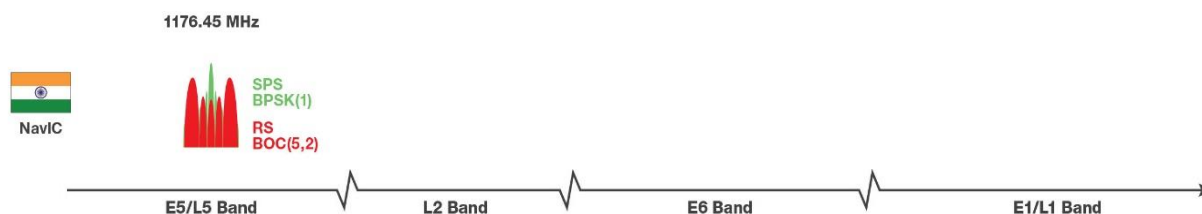


Gráfico 41. Señales IRNSS (fuente: [Navipedia](#))

Para utilizar las señales IRNSS, los usuarios solo necesitan disponer de un receptor compatible. El IRNSS puede atender a un número ilimitado de usuarios al mismo tiempo.

#### 5.1.2.2.3 Rendimiento

El rendimiento del IRNSS se describe en los informes técnicos disponibles en el [sitio web del Programa del IRNSS](#). La precisión de alcance de usuario de los satélites IRNSS a lo largo de 2021 se muestra en el [Gráfico 42](#).

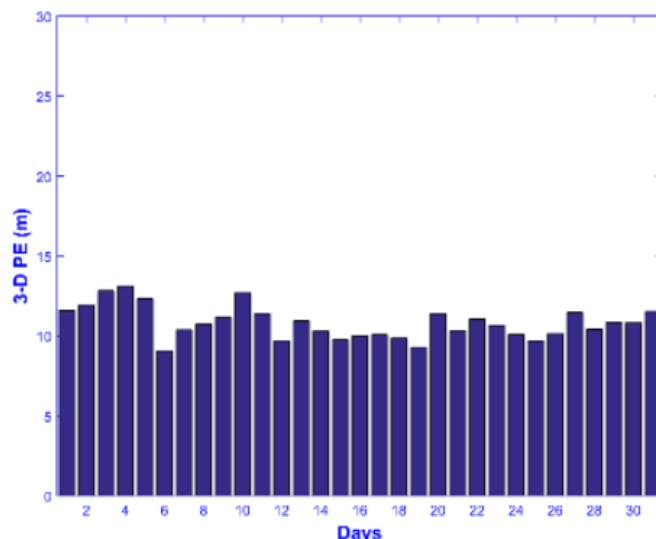


Gráfico 42. Precisión de alcance de usuario del IRNSS en diciembre de 2021 (fuente: [informe oficial sobre el IRNSS correspondiente al cuarto trimestre de 2021](#))

#### 5.1.2.2.4 Situación y planes de modernización

El [Departamento de Espacio de la India, en su 12.º Plan Quinquenal \(2012-2017\)](#) preveía **aumentar el número de satélites** de la constelación de siete a once para ampliar la cobertura. Estos cuatro satélites adicionales se lanzarán en órbita geosíncrona con una inclinación de 42°.

La Organización de Investigación Espacial de la India (ISRO) lanzará cinco satélites de nueva generación con cargas útiles nuevas y una vida útil prolongada de doce años. Los nuevos satélites incorporarán las bandas L5 y S e introducirán una **nueva señal civil interoperable en la banda L1** en la carga útil de navegación y utilizarán el **patrón de frecuencia atómico de rubidio de la India**.

En 2012 se pusieron en marcha los estudios y análisis de cara al Sistema Mundial de Navegación por Satélite de la India (GINS) como parte de las iniciativas tecnológicas y políticas. El sistema contará supuestamente con una constelación de veinticuatro satélites, situados a 24 000 km por encima de la Tierra. En 2013 se completaron los procedimientos reglamentarios para notificar el espectro de frecuencias de las órbitas de los satélites GINS en el espacio internacional. La [ISRO y el Departamento de Espacio](#) están trabajando en la ampliación de la cobertura de NavIC de regional a mundial, que será independiente de otros sistemas de este tipo actualmente operativos, a saber, GPS, GLONASS, BeiDou y Galileo, al tiempo que siguen siendo interoperables y gratuitos para uso público mundial.

#### 5.1.2.3 Sistema de Posicionamiento Coreano (KPS)

El Sistema de Posicionamiento Coreano (KPS) es la constelación de satélites de Corea del Sur que el país tiene previsto construir de aquí a 2035 y que proporcionará señales independientes de posicionamiento y navegación en una zona que abarca un radio de 1 000 kilómetros desde su capital, Seúl. Se espera que el KPS sea una constelación de siete satélites, tres de ellos en órbita geosíncrona y cuatro en órbita geosíncrona inclinada por encima de la península de Corea. Se prevé que el KPS mejore la precisión del GPS, de 10 metros a menos de un metro.

El primer satélite se lanzará en 2027, con un servicio de pruebas programado para 2034 y un servicio plenamente operativo el año siguiente.



## 5.1.3 Sistemas de aumentación

### 5.1.3.1 Espaciales

Los sistemas de aumentación espaciales de GNSS son aquellos en los que las correcciones del GNSS se transmiten a los usuarios a través de satélites y que, por tanto, proporcionan información de aumentación sobre un *área amplia* (es decir, a escala continental).

Existen dos tipos de sistemas de aumentación de GNSS: los sistemas de aumentación basados en satélites (SBAS) y el posicionamiento puntual preciso (PPP).

#### 5.1.3.1.1 Sistemas de aumentación basados en satélites (SBAS)

Los sistemas SBAS prestan **servicios de aumentación** para mejorar la precisión y proporcionar integridad a las señales de GNSS. Los sistemas SBAS también pueden emitir señales de alcance de GNSS desde su segmento espacial. La **precisión** se mejora mediante la transmisión de correcciones de área amplia a los errores de alcance de GNSS, mientras que la **integridad** se garantiza mediante la detección rápida de errores ionosféricos y en las señales de los satélites y el envío de alertas a los usuarios.

Los SBAS están compuestos por un **segmento espacial** (satélites geoestacionarios), un **segmento terrestre** (estaciones de referencia, estaciones maestras y estaciones de enlace ascendente), un **segmento de usuario** (receptores de usuario que procesan las señales del SBAS) y un **segmento de apoyo** (para apoyar la prestación de los servicios del SBAS).

Las estaciones de referencia de SBAS están distribuidas geográficamente principalmente por toda la zona de servicio del SBAS y reciben señales de GNSS que transmiten a las estaciones maestras del SBAS. Dado que la ubicación de las estaciones de referencia se conoce con exactitud, las estaciones maestras pueden calcular con precisión las correcciones de área amplia. Estas correcciones se envían a las estaciones dedicadas al enlace ascendente hacia los satélites del SBAS que las transmiten a los receptores de GNSS en toda la zona de cobertura del SBAS.

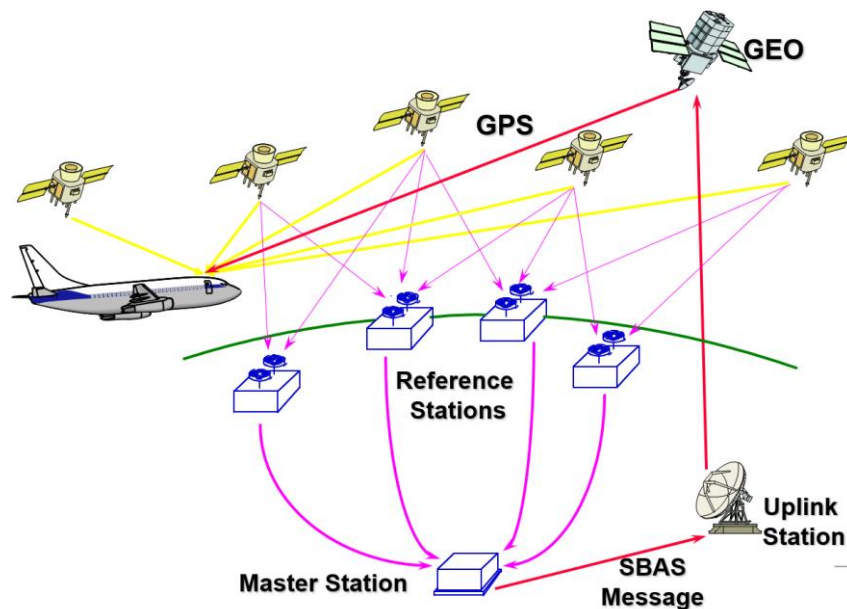


Gráfico 43. Arquitectura SBAS (fuente: OACI)

Los servicios SBAS se utilizan para **aplicaciones de seguridad de la vida humana**, como la aviación. En la **navegación**, los SBAS permiten aproximaciones LPV (es decir, aproximaciones de precisión que proporcionan orientación lateral y vertical similar a las aproximaciones ILS, pero sin infraestructura terrestre *in situ*). En la **vigilancia**, los SBAS mejoran la posición de las aeronaves, lo que permite reducir la separación entre las

aeronaves y otras operaciones aeroportuarias mejoradas. En la sección [3.4.3](#) se ofrece más información sobre los beneficios de los SBAS para la aviación.

Existen varios sistemas SBAS (véase la visión general recogida en el [Gráfico 44](#)):

- El [Sistema Europeo de Navegación por Complemento Geostacionario \(EGNOS\)](#) es el sistema europeo de aumentación que mejora la precisión de las posiciones derivadas de las señales GPS (y Galileo en el futuro) y advierte a los usuarios sobre la fiabilidad de las señales. EGNOS transmite datos de corrección diferencial para uso público y está certificado para aplicaciones de seguridad de la vida humana (servicios operativos desde 2011).
- La Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos (FAA) ha desarrollado el [sistema de aumentación de área amplia \(WAAS\)](#), que proporciona correcciones GPS y está certificado para el sector de la aviación civil desde 2003.
- El [sistema de aumentación por satélite de transporte multifuncional \(MSAS\)](#) es un SBAS que presta servicios de aumentación a Japón desde 2007.
- El [Sistema de Navegación Geoaugmentada Asistida por GPS \(GAGAN\)](#) es un SBAS que apoya la navegación aérea sobre el espacio aéreo indio desde 2013.
- Desde octubre de 2014, el Instituto de Investigación Aeroespacial de Corea (KARI) es la principal organización de investigación encargada de desarrollar y construir el SBAS propio de Corea, conocido como [Sistema de Aumentación por Satélite de Corea \(KASS\)](#), de conformidad con el anexo 10 de la OACI. Se prevé que preste el servicio de seguridad de la vida humana APV-1 en 2024.
- El [SBAS de la ASECNA \(ANGA: navegación aumentada para África\)](#) es la iniciativa de desarrollo de un SBAS para África y el océano Índico. El ANGA tiene por objeto prestar servicios SBAS a las operaciones NPA, APV-1 y CAT I en 2025. Los servicios completos DFMC están previstos para después de 2028/2030 para las operaciones de aterrizaje automático CAT I y, potencialmente, para otras operaciones.
- El [Sistema Meridional de Aumentación del Posicionamiento \(SouthPAN\)](#) es el SBAS operativo de Australia y Nueva Zelanda, con planes para alcanzar la plena capacidad operativa en 2025.
- La República Popular China está desarrollando un sistema SBAS, denominado [Sistema de Aumentación por Satélite de BeiDou \(BDSBAS\)](#) para prestar servicios SBAS en China y las regiones que la rodean. Se espera que el BDSBAS preste servicios en 2025 y se integre en el sistema BeiDou utilizando satélites de tipo BDS-3 para difundir la señal SBAS L1/L5, aumentando BeiDou y GPS.
- Rusia está desarrollando un [Sistema de Correcciones Diferenciales y Seguimiento \(SDCM\)](#) con el fin de lograr para sí misma mejoras de precisión y seguimiento de la integridad para los sistemas de navegación GLONASS y GPS. El SDCM también prestará servicios de posicionamiento puntual preciso (PPP) para las señales L1/L3 de GLONASS.

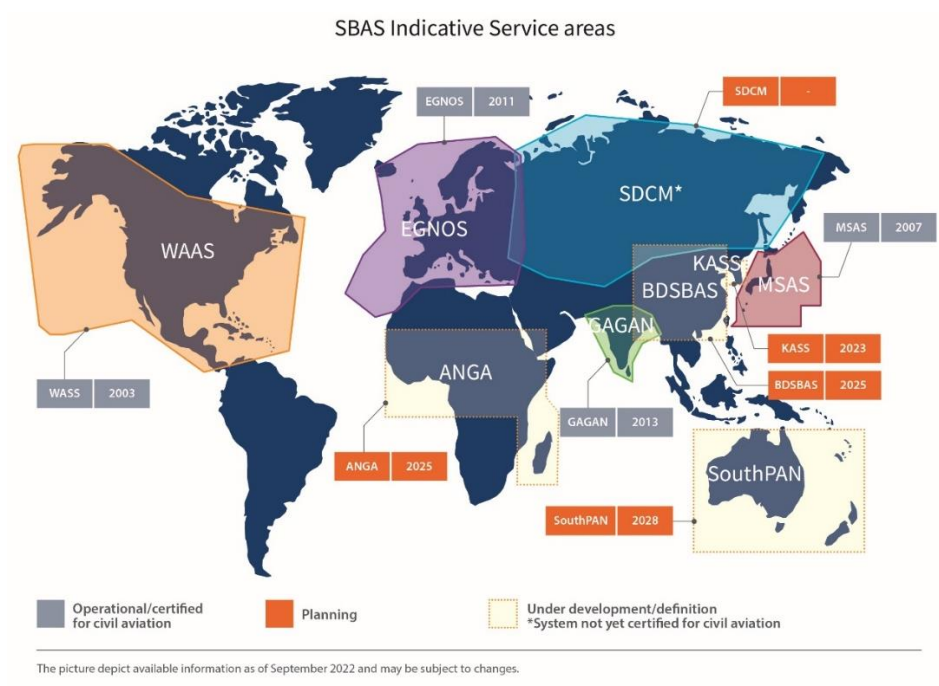


Gráfico 44. SBAS y zonas de servicio indicativas (fuente: EUSPA)

#### 5.1.3.1.2 Posicionamiento puntual preciso (PPP)

El **posicionamiento puntual preciso (PPP)** proporciona una precisión centimétrica utilizando [órbitas de satélite y correcciones de relojes](#) distribuidas a través de satélites o de internet. Dado que se utiliza un modelo de error muy preciso, esta solución requiere un período de convergencia para, en primer lugar, filtrar las observaciones relativas al código y la portadora y, a continuación, estimar el error de reloj del satélite, el retraso troposférico cenital (ZTD) y las ambigüedades de la fase flotante para todos los satélites. La precisión y el tiempo de convergencia dependen de las condiciones medioambientales, de la calidad de las correcciones y de la aplicación del algoritmo EKF (filtro de Kalman extendido). También es posible obtener una posición menos precisa con el código exclusivamente.

Existen **varios proveedores comerciales de servicios de PPP**, como por ejemplo [Hexagon Veripos](#), [TerraStar](#), [Trimble OmniSTAR](#), [Fugro Seastar](#), [u-blox PointPerfect](#), [Swift Navigation Skylark](#) y [Deer StarFire](#). Estos proveedores calculan los sesgos y los errores de posición y de reloj del satélite a través de una red de estaciones terrestres que recogen observaciones sobre diferentes señales y constelaciones. El servicio ofrece correcciones de las componentes de error estimadas y las transmite a los usuarios a través de satélites o canales terrestres (por ejemplo, internet). Galileo también ofrece un servicio de PPP en tiempo real gratuito con una cobertura mundial a través del **servicio de alta precisión** de Galileo (véase la sección [3.2.2](#)).

El posicionamiento de alta precisión del **PPP tradicional** presenta algunas limitaciones relacionadas con el tiempo de convergencia. De hecho, el receptor puede tardar varios minutos en ofrecer la posición con una precisión centimétrica. Se trata de una solución valiosa ampliamente adoptada en aplicaciones estáticas, como la prospección. Las condiciones ambientales potencialmente hostiles para aplicaciones dinámicas (por ejemplo, drones, micromovilidad, agricultura de precisión, vehículos autónomos, operaciones marítimas automáticas) ponen a prueba su rendimiento tanto en términos de precisión como de tiempo de convergencia. En estos casos, se necesitan técnicas que integren sensores locales y mapas digitales para superar las limitaciones generadas por los errores locales y proporcionar una posición a escala centimétrica.

### 5.1.3.2 Terrestres

#### 5.1.3.2.1 Sistemas de aumentación basados en tierra (GBAS)

Un [sistema de aumentación basado en tierra \(GBAS\)](#) es un sistema crítico para la seguridad de la aviación civil que contribuye a la **aumentación local a nivel aeroportuario** de las señales de una constelación de GNSS. El GBAS está destinado principalmente a apoyar operaciones de aproximación de precisión.

El sistema completo consiste en un [subsistema GBAS terrestre](#) y el [subsistema GBAS de la aeronave \(a bordo\)](#). Un subsistema GBAS terrestre puede atender a un número ilimitado de unidades de aeronave dentro de su volumen de cobertura GBAS, proporcionando a la aeronave datos de la trayectoria de aproximación y, respecto a cada satélite a la vista, **correcciones diferenciales** e información sobre **integridad**. Gracias a estas correcciones, la aeronave puede determinar su posición en relación con la trayectoria de aproximación con mayor precisión, permitiendo operaciones más exigentes y guiando a la aeronave de forma segura hasta la pista.

La infraestructura GBAS terrestre incluye [dos o más receptores de referencia de GNSS](#) en el aeropuerto equipado con GBAS que recogen pseudorángos de los satélites de GNSS a la vista, y calcula y difunde correcciones diferenciales e información relacionada con la integridad de dichos satélites sobre la base de su propia posición medida. Estas correcciones diferenciales se transmiten desde el sistema terrestre a través de una radiodifusión de datos de muy alta frecuencia (VHF) al receptor GBAS instalado a bordo de la aeronave. La información difundida incluye correcciones referentes a los pseudorángos, parámetros de integridad y diversos datos pertinentes a nivel local, como los datos del tramo de aproximación final (FAS).

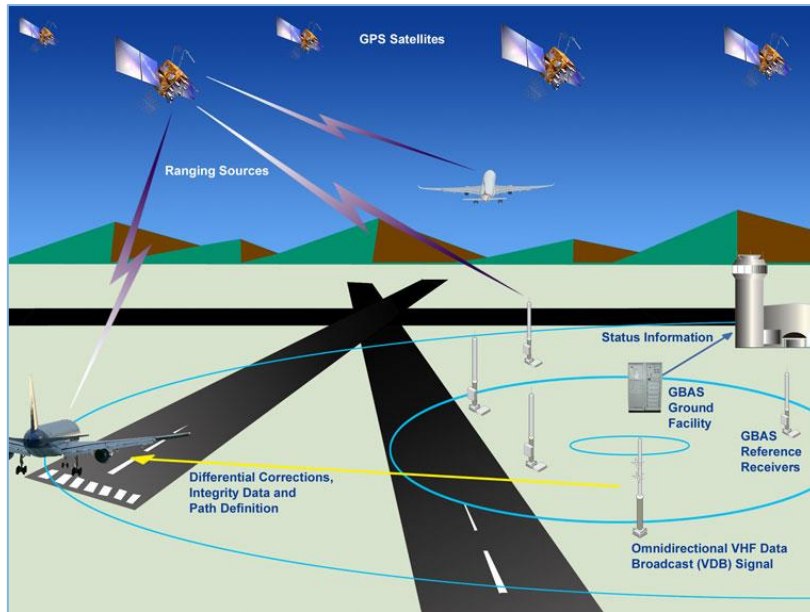


Gráfico 45. Arquitectura del GBAS (fuente: [FAA](#))

El GBAS presta su servicio a las aeronaves equipadas en una zona local de aproximadamente 30 km alrededor del aeropuerto. La aeronave utiliza las correcciones diferenciales para calcular una posición mejorada (con integridad) que utiliza para navegar con precisión y pasar del espacio aéreo en ruta al espacio aéreo del área terminal y a través de este.

Aunque el objetivo principal del GBAS es proporcionar garantía de la integridad, también incrementa la precisión gracias a que los errores de posición se sitúan por debajo de 1 m. Los GBAS normalmente están diseñados para adecuarse a las aproximaciones de precisión de CAT I y muy recientemente también se han habilitado para llevar a cabo operaciones CAT II ([operaciones de CAT II con GBAS en Fráncfort](#)).

Puede encontrar más información sobre la arquitectura y las prestaciones de los GBAS en la página correspondiente de [Navipedia](#).

#### 5.1.3.2 GNSS diferencial y corrección diferencial en tiempo real y posicionamiento puntual preciso

El [GNSS diferencial \(DGNSS\)](#) es un tipo de sistema de aumentación basado en el uso de una red de estaciones de referencia terrestres que **difunden información diferencial** al usuario, también denominado «rover», para mejorar la precisión de su posición.

El DGNSS se utiliza a menudo para referirse específicamente a los sistemas que retransmiten las correcciones de transmisores de corto alcance terrestres. Por ejemplo, la Guardia Costera de los Estados Unidos y la Guardia Costera canadiense gestionan un sistema de este tipo en los Estados Unidos y Canadá en las radiofrecuencias de onda larga entre 285 kHz y 325 kHz. Estas frecuencias se utilizan habitualmente para la radiodifusión marina y se difunden cerca de las principales vías navegables y puertos. Australia gestiona dos sistemas DGPS: uno destinado principalmente a la navegación marítima, gestionado por la Autoridad Australiana de Seguridad Marítima, que emite su señal en la banda de onda larga; el otro se utiliza para estudios topográficos y navegación terrestre, con correcciones en la banda comercial de radio FM.

Otras técnicas de DGNSS utilizadas por aplicaciones de navegación/topografía de alta precisión, basadas en el uso de mediciones en fase portadora, son la corrección diferencial en tiempo real (RTK) y la RTK de área amplia.

La [corrección diferencial en tiempo real \(RTK\)](#) es una técnica de GNSS diferencial que proporciona alta precisión de posicionamiento en las proximidades de una estación base. Una estación base RTK cubre una zona de servicio que se extiende hasta un máximo de 50 kilómetros, y es necesario un canal de comunicación en tiempo real que conecte la base y el rover. La RTK alcance una precisión del orden de unos pocos centímetros.

La técnica [RTK de área amplia \(WARTK\)](#), también conocida como RTK de red, permite ampliar los servicios locales basados en la resolución de ambigüedad de la fase portadora en tiempo real a escala de área amplia (es decir, superior a 100 km), tanto para los usuarios de doble frecuencia como para los de tres frecuencias. Utilizando observaciones de pseudorangos y fase portadora de frecuencia doble o de frecuencia triple, junto con los datos de corrección recibidos, el receptor del usuario puede realizar un posicionamiento con una precisión centimétrica absoluta. La técnica se basa en una combinación óptima de modelos ionosféricos y geodésicos precisos en una red permanente de estaciones de referencia.

En los últimos años, estos enfoques establecidos para determinar las correcciones del GNSS y transmitirlos se han combinado con el PPP en servicios de corrección del GNSS **PPP-RTK** [a veces denominados también servicios de corrección de la representación del espacio de estados (SSR)] que ofrecen lo mejor de ambos mundos: combinando una inicialización rápida y una precisión cercana a la de RTK con la capacidad de funcionar durante un breve período sin correcciones, debido a los algoritmos de PPP. Al igual que las soluciones basadas en el PPP, se basan en un modelo de errores de GNSS con una amplia validez geográfica y difunden las diferentes componentes (o estados) de error de GNSS utilizando comunicación unidireccional. A continuación, los receptores de GNSS calculan las correcciones de GNSS para su ubicación específica.

Está aumentando el número de servicios de PPP en tiempo real que se difunden mediante un canal terrestre a través de internet, por lo que el servicio de PPP también puede clasificarse como una nueva categoría de servicio terrestre.

#### 5.1.3.3 Basados en el receptor

Los receptores en aplicaciones críticas para la seguridad utilizan técnicas de [vigilancia autónoma de la integridad en el receptor \(RAIM\)](#) para garantizar el nivel de seguridad de la solución de posición. La RAIM se basa en el control de la coherencia entre las mediciones de diferentes satélites y advierte al usuario en caso de que se detecte una incoherencia. En tal caso, puede descartarse el satélite o interrumpirse el servicio de posición.

Los últimos avances para los [sistemas de aumentación basados en las aeronaves \(ABAS\)](#) en el sector de la aviación se centran en la RAIM avanzada (A-RAIM) para los usuarios de doble frecuencia y multiconstelación. En la sección [3.2.8](#) se ofrece más información al respecto.

## 5.2 Sistemas de PNT convencionales

### 5.2.1 Radiofaros no direccionales (NDB)



Un **radiofaro no direccional (NDB)** es una ayuda a la radionavegación que **permite al equipo asociado a bordo de la aeronave determinar la marcación relativa con respecto a ella**. Los NDB son sistemas muy sencillos, compuestos por una antena omnidireccional que emite continuamente una señal portadora a una frecuencia fija. Las aeronaves equipadas con un radiogoniómetro automático (ADF) pueden calcular el ángulo de llegada de dicha señal (es decir, la marcación hasta el NDB). Es posible utilizar varios NDB para indicar una ruta.

*Gráfico 46. Emplazamiento de NDB (fuente: Krd, bajo licencia Creative Commons: [Atribución-CompartirIgual 4.0 Internacional](#))*

#### 5.2.1.1 Características principales

Los NDB han de funcionar en la banda de frecuencias de 190 kHz a 1 750 kHz y transmitir continuamente una portadora modulada con información de identificación. Las señales de los NDB siguen la curvatura de la Tierra, por lo que la cobertura puede alcanzar de 25 a 150 millas náuticas. La precisión del sistema depende de los equipos ADF instalados a bordo de las aeronaves, pero la **precisión mínima de la OACI para los NDB es de  $\pm 5^\circ$** .

Cada NDB debe estar identificado individualmente mediante un código que se transmitirá al menos una vez cada 30 segundos. Los NDB han de incluir un sistema de control que detecte un mal funcionamiento del NDB o del propio control. Las especificaciones figuran en el [anexo 10, volumen I, Radioayudas para la navegación, de la OACI](#).

El sistema NDB no tiene limitaciones de capacidad y puede prestar servicio a cualquier número de aeronaves.

#### 5.2.1.2 Situación y planes de racionalización

Los NDB han formado parte de la infraestructura terrestre de las ayudas a la navegación para la gestión del tránsito aéreo durante décadas. Sin embargo, debido a sus limitaciones técnicas, a la aparición de los GNSS y a la transformación hacia una navegación basada en la performance, **se espera que los NDB sean retirados del servicio en un futuro próximo**, siguiendo la propuesta de desmantelamiento incluida en el [Plan Maestro de Gestión del Tránsito Aéreo Europeo](#) y también con el fin de dar cumplimiento al [Reglamento de Ejecución sobre la navegación basada en la performance](#).

El [Plan Mundial de Navegación Aérea \(GANP\) de la OACI](#) prevé que los NDB pierdan importancia como ayudas a la radionavegación, lo que plantea la posibilidad de su desmantelamiento.

Puede encontrar más información sobre los NDB en la página correspondiente de [Wikipedia](#).



## 5.2.2 Radiofaros omnidireccionales VHF (VOR)

Un **radiofaro omnidireccional VHF (VOR)** es un sistema que permite a las aeronaves con una unidad receptora **determinar la marcación magnética desde la estación hasta la aeronave** (llamada radial VOR).

Los VOR utilizan un sistema circular de antenas que transmite dos señales de radio. Una señal (**señal de referencia**) se radia en todas las direcciones de manera que su fase sea igual en todas las direcciones. La segunda señal (**señal variable**) se radia desde un conjunto direccional. La fase de la señal variable recibida en la aeronave depende de la radial en la que se encuentra el receptor con respecto al Norte magnético. El equipo a bordo de



la aeronave recibe ambas señales y, a partir de su diferencia de fase, se estima el radial VOR. Si el VOR está asociado a un DME (véase la sección [5.2.3](#)), la aeronave también puede calcular su distancia al VOR y determinar una posición fija. Este método se denomina navegación VOR/DME.

*Gráfico 47. Emplazamiento de VOR (fuente: Marc Lambert, bajo [licencia Creative Commons](#))*

La intersección de radiales de dos estaciones VOR distintas también permite a las aeronaves determinar una posición fija y navegar de un punto a otro.

### 5.2.2.1 Características principales

El VOR debe funcionar en la banda de frecuencias de 108 MHz a 117,975 MHz, con polarización horizontal. La precisión de la información relativa a la marcación debe ser de  $\pm 2^\circ$ . La cobertura del sistema está limitada por la línea de visión, hasta una elevación de  $40^\circ$ , y alcanza de 25 a 130 millas náuticas. **El VOR debe disponer de una unidad de control** que genere un aviso y, o bien retire el contenido de navegación de la portadora, o bien apague la potencia radiada si no se cumplen determinadas condiciones de prestación del servicio. Lo mismo ocurrirá si falla el propio sistema de control.

[El VOR cumple adecuadamente la precisión necesaria para ser compatible con RNAV 5](#). Si atendemos a un VOR Doppler, el alcance máximo en el que el VOR puede alcanzar una precisión de 1 milla náutica es de 23 millas náuticas desde el VOR, por lo que no proporciona el nivel de precisión requerido por especificaciones de navegación más exigentes con un alcance más largo. Las especificaciones figuran en el [anexo 10, volumen I, Radioayudas para la navegación, de la OACI](#).

El sistema VOR no tiene limitaciones de capacidad y puede prestar servicio a cualquier número de aeronaves.

### 5.2.2.2 Situación y planes de racionalización

Los VOR han formado parte de la infraestructura terrestre de las ayudas a la navegación para la gestión del tránsito aéreo durante décadas. Sin embargo, debido a sus limitaciones técnicas, la aparición de los GNSS y la transformación hacia una navegación basada en la performance, se prevé que los VOR pierdan importancia en los próximos años. El Plan Maestro de Gestión del Tránsito Aéreo Europeo **prevé reducir el número de VOR a una red operativa mínima** que proporcionaría algunas **capacidades de navegación limitadas en caso de perturbación temporal del GNSS**, tal como se indica en el [Reglamento de Ejecución sobre la navegación basada en la performance](#).

El [Plan Mundial de Navegación Aérea \(GANP\) de la OACI](#) prevé que los VOR pierdan importancia como ayudas a la radionavegación, lo que plantea la posibilidad de su desmantelamiento.

Puede encontrar más información sobre los VOR en la página correspondiente de [Wikipedia](#).

### 5.2.3 Equipos de medición de distancias (DME)

Los **equipos de medición de distancias (DME)** son sistemas que proporcionan la **distancia en declive entre una aeronave y la instalación correspondiente en tierra**. Los DME se componen de dos elementos: un interrogador y un respondedor. El interrogador está ubicado en la aeronave y el respondedor en tierra. El interrogador emite una señal de radio (un par de impulsos de Gauss) que el respondedor recibe y procesa. Después de un tiempo determinado, el respondedor responde con otro. El tiempo de ida y vuelta sirve para calcular la distancia en declive entre la aeronave y la estación de tierra. Los rangos DME de dos estaciones de tierra diferentes permiten a las aeronaves conocer su posición y navegar de un punto a otro. Este método denominado DME/DME está asentado en todo el mundo.



Gráfico 48. Emplazamiento con VOR/DME (DME en la torre) (fuente: Hans-Peter Scholz, bajo [licencia Creative Commons](#))

#### 5.2.3.1 Características principales

El DME debe funcionar en la banda de frecuencias de 960 MHz a 1 215 MHz, con polarización vertical. Normalmente, los DME de navegación convencional están asociados a VOR o ILS. Cuando prestan apoyo a aplicaciones PBN pueden utilizarse instalaciones de DME independientes. Si está asociado a un VOR, la cobertura del DME será, como mínimo, la del VOR. Si está asociado a un ILS, la cobertura del DME será, como mínimo, la de los sectores de guía del ángulo azimutal del ILS. El respondedor DME debe disponer de una unidad de control que genere una advertencia y apague la potencia radiada si no se cumplen determinadas condiciones de prestación del servicio, o incluso si falla el propio sistema de control. Dicho apagado debe producirse en menos de diez segundos desde el inicio del fallo. Las especificaciones figuran en el [anexo 10, volumen I, Radioayudas para la navegación, de la OACI](#).

La precisión del posicionamiento DME/DME es del orden de unos cientos de metros, lo que se traduce en **precisiones** en la posición de la aeronave **no mejores que 0,3 millas náuticas** (con la mejor geometría, es decir, ángulo de corte de 90°), valor que podría no ser suficiente para las especificaciones de navegación más exigentes. El uso de rangos de DME de múltiples estaciones es una de las soluciones que mejorarán la exactitud y la integridad del posicionamiento. El **DME mejorado (eDME)** utiliza una combinación de métodos de alcance unidireccionales y bidireccionales y se propone para mejorar la precisión de las mediciones de alcance y el uso del espectro.

Los sistemas DME modernos **pueden atender hasta a 200 aeronaves**.

#### 5.2.3.2 Situación y planes de optimización

Los DME forman parte de la infraestructura terrestre de las ayudas a la navegación para la gestión del tránsito aéreo. Una red optimizada o ampliada apoyará la navegación basada en la performance. **Las navegaciones DME/DME son compatibles con RNAV 5, RNAV 2, RNAV 1 y, en determinadas condiciones, RNP 1 y las especificaciones de navegación A-RNP**. Los DME podrían constituir una infraestructura complementaria en caso de fallo del GNSS. El [Plan Maestro de Gestión del Tránsito Aéreo Europeo](#) propone optimizar la red de DME, también con el fin de dar cumplimiento al [Reglamento de Ejecución sobre la navegación basada en la performance](#).

El [Plan Mundial de Navegación Aérea \(GANP\) de la OACI](#) señala los DME como un refuerzo adecuado a los GNSS para la navegación basada en la performance. Para garantizar la buena calidad del servicio en caso de interrupción del GNSS, es posible que sea necesario ampliar la red de DME.

Además, se **espera** que los equipos de **eDME soporten unas especificaciones RNP más estrictas y mejoren la eficiencia del espectro**, lo que reduciría la congestión de la banda L. Anticipa la aplicación principalmente a través de actualizaciones de *software* y un cambio mínimo en el *hardware* a bordo y en tierra, garantizando al mismo tiempo que la capacidad adicional sea plenamente retrocompatible para favorecer una aplicación sin incidentes. Puede encontrar más información sobre los DME en la página correspondiente de [Wikipedia](#).

## 5.2.4 Sistema de aterrizaje instrumental (ILS)

El **sistema de aterrizaje instrumental (ILS)** es un **sistema de aproximación y aterrizaje de precisión** que proporciona a las aeronaves una guía horizontal y vertical de corto alcance justo antes y durante el aterrizaje y, en determinados puntos fijos, indica la distancia al punto de referencia del aterrizaje.



Gráfico 49. ILS (LOC) (fuente: Super Dominicano, bajo [licencia de documentación libre de GNU](#))

Un ILS está compuesto por:

- **Localizador:** sistema de guiado horizontal integrado en el ILS que indica la desviación horizontal de la aeronave respecto de su trayectoria óptima de descenso a lo largo del eje de la pista.
- **Trayectoria de planeo:** sistema de guiado vertical integrado en el ILS que indica la desviación vertical de la aeronave con respecto a su trayectoria óptima de descenso.
- **Radiofaros marcadores:** transmisores del servicio de radionavegación aeronáutica que radian verticalmente un patrón distintivo para proporcionar información sobre la posición a las aeronaves.

En el actual anexo 10, el radiofaro marcador ha sido sustituido por un medio para realizar comprobaciones de altitud y, por lo tanto, ya no forma parte integrante del ILS. En la mayoría de los aeropuertos europeos, el medio para la comprobación de la altitud es el DME, un sustituto y una mejora respecto de los radiofaros marcadores.

### 5.2.4.1 Características principales

El localizador debe funcionar en la banda de frecuencias de 108 MHz a 111,975 MHz. Las señales se modulan en AM con un tono de 90 Hz y 150 Hz, predominando cada tono en un lado del curso, y están polarizadas horizontalmente.

El equipo de trayectoria de planeo ha de funcionar en la banda de frecuencias de 328,6 MHz a 335,4 MHz. La amplitud de la radiación se modula con un tono de 90 Hz y 150 Hz y se polariza horizontalmente.

Los **radiofaros marcadores** funcionan a 75 MHz y sus señales están polarizadas horizontalmente. En cada instalación debe haber dos radiofaros marcadores para indicar la distancia predeterminada. Habitualmente el primero radiofaro marcador (el radiofaro marcador exterior) se situaría a unas 5 millas náuticas del punto de toma de contacto, mientras que el segundo radiofaro marcador (el radiofaro marcador intermedio) se situaría aproximadamente a 1 milla náutica del punto de toma de contacto. En casi todas las instalaciones ILS europeas, los radiofaros marcadores VHF se han sustituido por DME situados conjuntamente con el ILS, lo que da al piloto una distancia horizontal continua hasta la pista.

Las **aproximaciones ILS se clasifican por categoría** y pueden ser llevadas a cabo hasta determinado alcance visual en pista (RVR) y determinada altura de decisión (DH) por pilotos cualificados que vuelen aeronaves adecuadamente equipadas para pistas adecuadamente equipadas sin adquirir referencia visual, a saber:

- CAT I permite una DH no inferior a 200 pies y un RVR no inferior a 500 m.
- CAT II permite una DH no inferior a 100 pies y un RVR no inferior a 300 m.
- CAT IIIA permite una DH inferior a 100 pies y un RVR no inferior a 200 m.
- CAT IIIB permite una DH inferior a 50 pies y un RVR no inferior a 50 m.
- CAT IIIC<sup>9</sup> es un aterrizaje totalmente automático con guiado de la carrera de aterrizado a lo largo del eje de la pista y no se aplican limitaciones de DH ni de RVR. En la actualidad, esta categoría no está disponible de manera sistemática.

Un sistema de control automático transmite un aviso si detecta un fallo del sistema. Las especificaciones figuran en el [anexo 10, volumen I, Radioayudas para la navegación, de la OACI](#). El ILS no tiene limitaciones de capacidad.

#### *5.2.4.2 Situación y planes de optimización*

El ILS es actualmente el sistema de aproximación y aterrizaje de precisión más extendido. No obstante, dado que los sistemas de aumentación basados en satélites y en tierra (SBAS y GBAS) permiten llevar a cabo operaciones de aproximación de precisión, está previsto racionalizar la infraestructura de ILS en Europa. El [Plan Maestro de Gestión del Tránsito Aéreo Europeo](#) refleja la necesidad de **racionalizar la red de ILS CAT I y, en particular, la infraestructura de ILS CAT I** con 2030 como horizonte 2030 para dar cumplimiento al [Reglamento de Ejecución sobre la navegación basada en la performance](#), que solo permite las operaciones ILS CAT I en situaciones de contingencia (es decir, en caso de pérdida de los servicios de PBN exigidos por el Reglamento).

Además, el [Plan Mundial de Navegación Aérea \(GANP\) de la OACI](#) señala que el ILS es una ayuda a la navegación adecuada para la aproximación y el aterrizaje de precisión. Puede encontrar más información sobre los ILS en la página correspondiente de [Wikipedia](#).

---

<sup>9</sup> Nótese que la OACI eliminará las subcategorías CAT IIIABC y las sustituirá por el concepto de mínimos de utilización de aeródromo basados en la performance (PBAOM).

## 5.2.5 Sistemas de navegación aérea táctica (TACAN)

Un **sistema de navegación aérea táctica (TACAN)** es un sistema de radionavegación utilizado principalmente por la OTAN y otras fuerzas militares que proporciona a una aeronave militar la marcación y la distancia (distancia en declive) respecto de una instalación en tierra, un buque o una aeronave adecuadamente equipada. En general, puede describirse como el **sistema militar equivalente al sistema VOR/DME** a efectos de



*Creative Commons [Atribución-CompartirIgual 4.0 Internacional](#)*

navegación. La parte DME del sistema TACAN puede considerarse para uso civil. El TACAN funciona en modo aire-superficie o aire-aire. En el primer caso, las aeronaves equipadas con TACAN pueden utilizar el sistema para la navegación en ruta, así como aproximaciones de no precisión. El TACAN puede instalarse junto con estaciones VOR (instalaciones VORTAC).

*Gráfico 50. Emplazamiento de TACAN  
(fuente: Nbonfanti, bajo licencia)*

### 5.2.5.1 Características principales

El TACAN opera en la banda de frecuencias de 960 a 1 215 MHz. La unidad de marcación del TACAN es más precisa que un VOR estándar, ya que se rige por un principio de dos frecuencias, con componentes de 15 Hz y 135 Hz, y porque las transmisiones UHF son menos propensas a la curvatura de la señal que las VHF.

El alcance de un TACAN se sitúa en torno a las 200 millas náuticas. La precisión de la componente azimutal de 135 Hz es de  $\pm 1^\circ$  o  $\pm 63$  m a 3,75 km. La precisión de la porción DME debe ser de 926 m (0,500 millas náuticas) o del 3 % de la distancia en declive, si esta es mayor. Las especificaciones se detallan en el documento [FAA 9840.1 1982](#).

El TACAN es uno de los sistemas militares reconocidos que está autorizado para la navegación y es, para algunas aeronaves, el único sistema autorizado. Ha demostrado su utilidad en tiempos de paz y en situaciones de crisis. **Un posible reto es la seguridad del servicio prestado por el TACAN en términos de resiliencia y vulnerabilidad.** Por lo tanto, el TACAN podría ser sustituido a largo plazo por un sistema con una mayor resiliencia frente a las amenazas para la seguridad.

### 5.2.5.2 Situación y planes de racionalización

El posicionamiento basado en DME/DME ha sido señalado como una capacidad esencial a corto plazo para apoyar las operaciones PBN. **El uso de estructuras TACAN** para las operaciones en ruta y terminales es crucial para que el operador de aeronaves del Estado aumente la flexibilidad del espacio aéreo al realizar operaciones GAT y **podría superar las posibles limitaciones de cobertura de la red europea de DME utilizando el componente DME del TACAN.** Se espera que la reutilización de sistemas militares ofrezca cumplimiento y mantenga unos niveles de rendimiento adecuados para soportar las especificaciones PBN.

Puede encontrar más información sobre los TACAN en la página correspondiente de [Wikipedia](#).

## 5.2.6 Sistemas de radionavegación de larga distancia (LORAN)

El **sistema de radionavegación de larga distancia (LORAN)** es un sistema de navegación hiperbólica, desarrollado inicialmente en la década de 1950. Su funcionamiento consiste en **comparar el tiempo de llegada de las señales procedentes de pares de transmisores sincronizados.** Recibiendo las señales de un par de transmisores y conociendo sus posiciones, el usuario puede restringir su posición dentro de una línea



hiperbólica. La recepción de las señales de dos pares adicionales de transmisores restringe la posición a una segunda y a una tercera línea hiperbólica. La intersección de las líneas hiperbólicas marca la posición del receptor.

Las diferentes evoluciones del sistema LORAN reciben distintas denominaciones (LORAN, LORAN-A, LORAN-B, LORAN-C, etc.). Chayka es un sistema ruso prácticamente idéntico al LORAN. Los receptores suelen ser compatibles con ambos sistemas de radionavegación.

Puede consultar más información sobre el LORAN en la página correspondiente de [Wikipedia](#) y en la [International Loran Association](#).

### 5.2.6.1 LORAN-C/Chayka

LORAN-C ha sido la versión más extendida de LORAN.

#### 5.2.6.1.1 Características principales

LORAN-C opera en la banda de frecuencias de 90 kHz a 110 kHz, con una potencia de salida que oscila entre 100 kilovatios y varios megavatios. Los transmisores LORAN-C se agrupan en cadenas. Cada cadena tiene una estación maestra y, al menos, dos estaciones secundarias. La estación maestra transmite nueve impulsos a intervalos predefinidos. Cada estación secundaria, después de recibir estos impulsos, espera un tiempo específico y transmite ocho impulsos. Los impulsos están codificados para que el receptor pueda identificar las diferentes emisiones. Se conocen la ubicación de la estación maestra y las estaciones secundarias, el intervalo de repetición de la maestra y los tiempos de espera de la transmisión secundaria. De este modo, cuando un usuario recibe todos estos impulsos, puede estimar el tiempo de propagación entre su posición y las diferentes estaciones. A partir de esta información, es posible estimar la ubicación del receptor.



Gráfico 51. Transmisor LORAN-C (fuente: Bin im Garten, bajo licencia Creative Commons; [Atribución-CompartirIgual 3.0 No portada](#))

La **transmisión de frecuencias muy bajas a muy altas potencias** requiere que los mástiles de las antenas de transmisión tengan una altura de varios metros. El patrón de radiación de estas antenas es omnidireccional. Las transmisiones LORAN-C deben sincronizarse con precisión. Para ello, cada transmisor incluye hasta tres relojes atómicos. **LORAN-C tiene una precisión superior a los 460 metros y una disponibilidad del 99,7 %**. Cada transmisor tiene una **cobertura típica de hasta varios cientos de kilómetros**. La cobertura depende de factores como las condiciones diurnas y nocturnas y las condiciones meteorológicas, o de si la transmisión es por tierra o mar.

Puede encontrar información detallada sobre las especificaciones de LORAN-C en el [sitio web de introducción a LORAN-C](#). La OACI nunca ha elaborado normas para este sistema de radionavegación, por lo que no se tiene en cuenta a efectos de aviación.

LORAN-C no tiene limitaciones de capacidad.

#### 5.2.6.1.2 Situación y planes de racionalización

El desarrollo de sistemas de navegación por satélite redujo considerablemente el número de usuarios de LORAN-C. LORAN-C sigue funcionando en el Servicio de Radionavegación del Lejano Oriente (FERNS), gestionado por Rusia, China y la República de Corea, pero con el tiempo se han ido suprimiendo muchos transmisores. **En Europa, LORAN-C no se utiliza** desde que España, Noruega, Islandia, Italia, Francia y Alemania pusieron fin a sus transmisiones LORAN-C en torno a 2015.



### 5.2.6.2 eLORAN

El **LORAN mejorado (eLORAN)** es un sistema de radionavegación terrestre de baja frecuencia y largo alcance, capaz de prestar un servicio de posicionamiento, navegación y temporización (PNT) para su uso en numerosos modos de transporte, con total independencia de un GNSS.

El eLORAN transmite señales de impulsos transmitidas por la onda de superficie con una frecuencia central de 100 kHz, lo que confiere a las señales su capacidad de navegación de largo alcance desde transmisores ampliamente espaciados. La posición del receptor se determina mediante la medición de los tiempos de llegada (o pseudorangos) de estos impulsos. **Deben medirse pseudorangos de al menos tres transmisores para determinar una solución de posición horizontal mediante triangulación.** Dado que los transmisores están situados en la superficie terrestre, no es posible determinar la altitud del receptor. La medición de más de tres transmisiones (preferiblemente cinco) proporciona al usuario capacidad RAIM, además de la precisión de posicionamiento.

#### 5.2.6.2.1 Características principales

eLORAN presta un servicio de tipo LORAN con **mayor precisión (del orden de 20 m), disponibilidad e integridad.** La principal diferencia con un sistema LORAN-C es que en eLORAN se añaden uno o más canales de datos, transmitidos junto con la señal LORAN, lo que sirve para transmitir correcciones diferenciales eLORAN o DGPS e información sobre la integridad, mejorando las prestaciones (precisión, integridad, disponibilidad y continuidad) con respecto al sistema LORAN, pero con la misma cobertura. Asimismo, permite la transmisión de datos adicionales, incluidos mensajes de navegación. Estas mejoras requieren una red terrestre secundaria específica de estaciones de referencia, espaciadas entre sí hasta 50 km.

El sistema eLORAN se compone de estaciones emisoras, lugares de seguimiento y un centro de control. Los lugares de seguimiento comprueban la precisión de la temporización de las señales transmitidas y envían correcciones al centro de control, que recoge estas observaciones, las procesa y elabora los datos de corrección e integridad que deben emitir las estaciones emisoras. Estas estaciones transmiten las correcciones utilizando el canal de datos. Las estaciones de transmisión eLORAN están equipadas con relojes atómicos y las transmisiones están sincronizadas con precisión con el UTC. Se necesitan señales de al menos tres estaciones de transmisión para localizar un receptor.

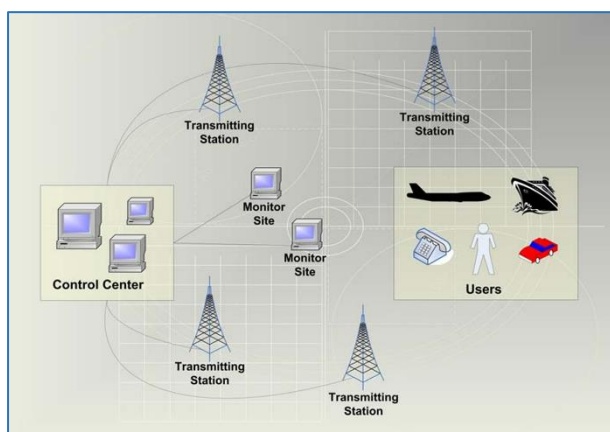


Gráfico 52. Sistema eLORAN (fuente: [documento de definición de eLORAN](#))

La precisión de eLORAN por lo que respecta al posicionamiento y la temporización puede variar considerablemente dentro de la zona de cobertura y es inferior a la ofrecida por los GNSS. Aun así, las señales eLORAN se transmiten con una potencia muy alta y a una frecuencia muy baja (condiciones que requieren una infraestructura compleja, incluidas antenas que pueden alcanzar los 200 metros de altura), lo que significa que resulta muy difícil interferir en los receptores eLORAN sin ser detectado. Además, las señales de baja frecuencia utilizadas penetran en edificios y otras zonas en las que las señales de GNSS no están disponibles.

#### 5.2.6.2.2 Situación y planes de modernización

**En Europa no se prestan servicios eLORAN.** En diciembre de 2015, las Autoridades Generales de Faros (GLA) anunciaron la interrupción de su prototipo de servicio eLORAN en el Reino Unido e Irlanda. No obstante, los conocimientos sobre el sistema se encuentran en un nivel que permite desplegar con relativa rapidez un servicio eLORAN.

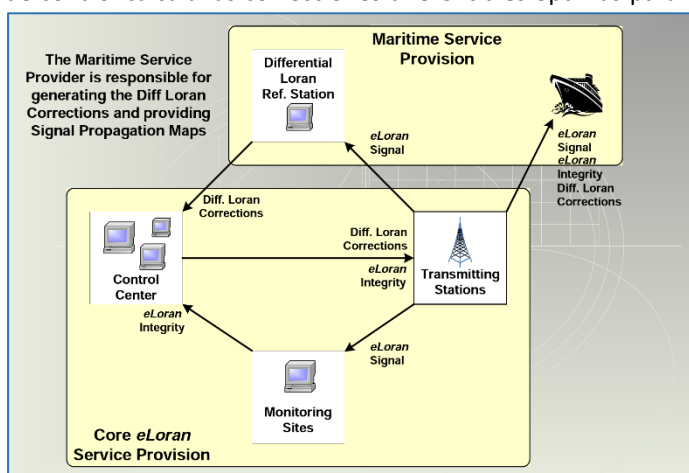
### 5.2.6.3 DLORAN (eLORAN diferencial)

El eLORAN diferencial (DLORAN) es un **sistema de aumentación local que mejora el rendimiento de eLORAN** en una zona específica.

#### 5.2.6.3.1 Características principales

El **principio de funcionamiento es similar al del DGNSS**. Dentro de la zona de interés, se despliegan varias estaciones de referencia de DLORAN. Estas estaciones, cuya posición exacta se conoce, incluyen un receptor eLORAN y un enlace de comunicación con un centro de control DLORAN. Las estaciones de referencia utilizan eLORAN para estimar sus posiciones y envían esta información al centro de control DLORAN, que calcula los errores con respecto a las posiciones reales. Así, el centro de control conoce el rendimiento de eLORAN en la zona de interés y calcula las **correcciones diferenciales** para la zona de cobertura.

Un usuario de DLORAN necesita un receptor eLORAN y un enlace de comunicación inalámbrica con el centro de control DLORAN. El usuario obtiene su posición con eLORAN y la envía al centro de control DLORAN. El centro de control calcula las correcciones diferenciales óptimas para esa posición y la envía de nuevo al usuario. Por



último, el **usuario aplica estas correcciones y obtiene información de PNT mejorada**. El enlace de comunicación entre los usuarios y el centro de control DLORAN emplea la red pública de telefonía móvil (3G/4G).

*Gráfico 53. Ejemplo de prestación de servicio DLORAN a usuarios marítimos (fuente: documento de definición de eLORAN)*

La infraestructura de DLORAN (estaciones de referencia y centro de control) es independiente del sistema eLORAN.

Las pruebas dinámicas realizadas en el puerto de Róterdam mostraron una **precisión mejor que  $\pm 5$  metros**.

#### 5.2.6.3.2 Situación y planes de modernización

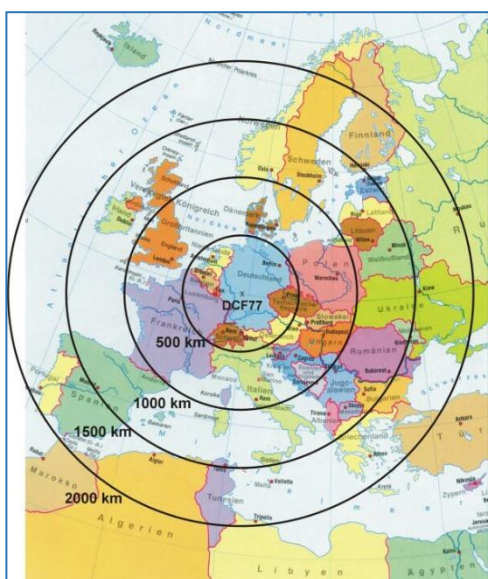
DLORAN es un sistema de aumentación local para eLORAN. Los **servicios de DLORAN no se prestan** en Europa desde que se interrumpieron las transmisiones LORAN-C y eLORAN en 2015.

## 5.2.7 Sistemas de distribución de tiempo y frecuencia de onda larga

Los sistemas de onda larga (p. ej., [DCF77 en Alemania](#), [MSF en el Reino Unido](#) y [ALS162 en Francia](#)) se han utilizado en Europa durante décadas **para distribuir la hora legal y la frecuencia patrón**. Emplean frecuencias muy bajas y de alta potencia para alcanzar distancias de hasta miles de kilómetros. A continuación se describen las características del sistema DCF77. Estos sistemas son difíciles de atacar mediante *spoofing* o *jamming*, y sus amenazas y debilidades difieren radicalmente de las de los GNSS.

### 5.2.7.1 Características principales

El DCF77 es uno de los métodos utilizados por el PTB (el Instituto Nacional de Metrología de Alemania) para difundir el tiempo legal y el patrón de frecuencia en Alemania. Utiliza tres relojes atómicos para generar una frecuencia portadora de 77,5 kHz. Una antena omnidireccional de 150 metros de altura transmite la señal a una potencia isotrópica radiada equivalente de 35 kW. La antena está situada en Mainflingen y ofrece una **cobertura de unos 2 000 km**, lo que implica que la mayoría de los Estados europeos están dentro de su área de acción (algunas zonas como Islandia, el norte de Noruega, el norte de Suecia, el norte de Finlandia, Chipre, las Islas Canarias, las Islas Azores, las Islas Madeira y Creta quedan fuera de su alcance).



La portadora se modula en amplitud para transmitir la información sobre la hora y la fecha. Cada segundo, la amplitud de la portadora se reduce al 15 % de su valor original. Se transmite un «0» binario si la reducción de la amplitud dura 0,1 segundos. Se transmite un «1» binario si la reducción de la amplitud dura 0,2 segundos. Así, el sistema puede transmitir 60 bits por minuto, lo que significa que el usuario recibe cada minuto información sobre el año, el mes, el día de la semana, el día del mes, la hora y el minuto. El segundo se obtiene contando cuántas reducciones de amplitud se han producido desde el inicio del minuto.

Gráfico 54. Difusión de señales DCF77 en Europa (fuente: PTB)

La frecuencia portadora tiene una **desviación media inferior a  $2 \times 10^{-12}$  en un día** en el lugar de transmisión. El cruce por cero de la **señal portadora se mantiene en un intervalo de  $5,5 \pm 0,3$**

**microsegundos con respecto a la realización UTC** en el PTB.

El transmisor de señal (162 kHz) del sistema ALS162 francés, operado por TDF (Télédiffusion de France), está situado en Allouis (Cher). Utiliza relojes de haz térmico de cesio conectados por vistas comunes GPS a la escala de tiempo UTC (OP), generada por el LNE-SYRTE en el Observatorio de París.

### 5.2.7.2 Situación y planes de modernización

El DCF77 lleva **en funcionamiento desde 1959** y sigue siendo utilizado para sincronizar los sistemas de temporización en las estaciones de tren alemanas, por las empresas de radiodifusión y televisión, en los sectores de la energía y las telecomunicaciones, para calibrar los generadores de frecuencia y por particulares en posesión de relojes radiocontrolados. Una ventaja del DCF77 sobre el GNSS es su capacidad para **penetrar en el interior de los edificios** y en entornos difíciles. La **disponibilidad** del DCF77 en 2016 fue del **99,79 %**, sin contar las desconexiones de menos de dos minutos. También es posible [modernizar](#) el segmento de usuario con herramientas radioeléctricas definidas por *software*.

## 5.2.8 Relojes atómicos

Un reloj atómico **mide el tiempo mediante el control de la frecuencia de la radiación de los átomos**. Los estados de los electrones de un átomo tienen niveles de energía diferentes y, en las transiciones entre dichos estados, producen una frecuencia muy específica de radiación electromagnética. Su medición permite obtener lecturas precisas de tiempo y frecuencia.

Los relojes atómicos se utilizan como **patrones primarios para los servicios que requieren una distribución precisa de tiempo y frecuencia**, como las telecomunicaciones de alta velocidad, las transmisiones de televisión y los GNSS. Los **GNSS requieren relojes atómicos ultraprecisos**, tanto a bordo de los satélites como en el segmento terrestre, para calcular una hora de referencia muy precisa y estable, así como una información de navegación de gran precisión. Los relojes atómicos más pequeños se utilizan en otros tipos de satélites que orbitan la Tierra (LEO, MEO o geoestacionarios), así como en sondas del espacio profundo.

Los **institutos nacionales de metrología (INM)** también utilizan patrones atómicos de frecuencia de muy alto rendimiento (relojes de tipo fuente de cesio y rubidio, y relojes atómicos ópticos), que desempeñan un papel fundamental no solo en la realización de la frecuencia y la hora UTC, sino también en el desarrollo de patrones atómicos de frecuencia avanzados y métodos de medición. Los INM mantienen escalas de tiempo de alta calidad y muchos de ellos distribuyen tiempo y frecuencia a través de internet; algunos también proporcionan incluso señales de radio VLF, como WWV.

Puede encontrar más información sobre los relojes atómicos en [Wikipedia](#) y en [The Science of Timekeeping](#).

### 5.2.8.1 Características principales

El rendimiento del reloj puede describirse en términos de precisión y de estabilidad:

- La **exactitud** es la medida en que el dispositivo se ajusta a la referencia ideal. En la mayoría de las aplicaciones de PNT, esta medida significa la precisión con la que el reloj sigue el patrón UTC.
- La **estabilidad** determina en qué medida el dispositivo mantiene su frecuencia con respecto al patrón (es decir, suponiendo que el único objetivo sea que la frecuencia siga siendo la misma). El comportamiento característico no sigue una distribución normal independiente del intervalo temporal de medición (ruido blanco aleatorio), por lo que se utiliza la **desviación típica de Allan** para estimar la estabilidad aleatoria de la frecuencia, que es la diferencia fraccional cuadrática media entre los valores medidos con un intervalo temporal dado, después de eliminar cualquier deriva sistemática. Dado que la desviación típica de Allan, que no tiene dimensiones, es una función del intervalo de tiempo de medición, podemos utilizarla para distinguir la estabilidad a corto, medio y largo plazo.

La estabilidad a corto plazo viene determinada (dominada) principalmente por los componentes del reloj, a medio plazo por las perturbaciones ambientales (principalmente temperatura, pero también presión, humedad, campos magnéticos y similares) y a largo plazo por el envejecimiento (propiedades físicas del equipo).

Existen principalmente tres tipos de relojes atómicos, que por orden de coste y exactitud son los siguientes:

- Los que utilizan [patrones de rubidio](#), con buena estabilidad a corto plazo, pero con una exactitud del orden de microsegundos respecto del UTC hasta un día, en función de los factores externos.
- Los que utilizan [patrones de cesio](#), con mayor exactitud (de microsegundos hasta una semana) y estabilidad a medio plazo, pero con pequeñas fluctuaciones a corto plazo (su estabilidad diaria es peor que la de los de rubidio).

Tanto los relojes de rubidio como los de cesio acaban afectados por el ruido rosa a medio plazo y por el envejecimiento a largo plazo. Además, la fuente de cesio se agota con el tiempo y su vida útil, de diez años, es inferior a la del rubidio.

- Los de [máser de hidrógeno](#) ofrecen la mejor exactitud y estabilidad, así como un efecto de envejecimiento limitado a largo plazo (con todo, deben calibrarse para compensar la desviación de frecuencia).

Dado que el sistema terrestre de un GNSS puede calibrar tanto los patrones de rubidio como el máser de hidrógeno en el espacio, los satélites de GNSS a menudo despliegan relojes de rubidio combinados con máseres de hidrógeno pasivos compensados por los relojes de la estación terrestre.

### 5.2.8.2 *Reloj atómico a escala de chip en miniatura (CSAC)*

En los últimos treinta años, la investigación también se ha centrado en la miniaturización de los relojes atómicos que condujo al desarrollo del **reloj atómico a escala de chip en miniatura (CSAC)**. Se trata de dispositivos compactos de bajo consumo que utilizan sistemas microelectromecánicos (MEMS) y que incorporan un láser semiconductor de baja potencia como fuente luminosa. Los actuales CSAC comerciales tienen un tamaño < 17 cm<sup>3</sup>, un peso de 35 g, y una potencia < 120 mW, y operan en un rango de temperaturas relativamente amplio (de - 40 a 85 C). Mantienen una exactitud de 10<sup>-7</sup> en un día.

Estas características permiten una amplia gama de operaciones en los ámbitos espacial, de la defensa y civil. Los vehículos autónomos, los drones, los dispositivos tácticos de PNT y los satélites LEO se encuentran entre los mercados más prometedores.

Prácticamente cualquier aplicación de PNT se beneficia de la mayor calidad de los relojes.

### 5.2.8.3 *Situación y planes de optimización*

De cara al futuro, el **trabajo de investigación** actual se centra en los siguientes aspectos:

- Mejora del consumo de energía y del *hardware*, por ejemplo, mejorando los láseres para sustituir la lámpara de descarga de los relojes de rubidio.
- Relojes de átomo frío para aplicaciones espaciales, con pruebas prometedoras realizadas por la ESA y China para demostrar la capacidad de dichos sistemas.
- Desarrollo de relojes ópticos (o relojes de red óptica) para misiones espaciales. Aunque algunos componentes se han investigado en profundidad, la tecnología general todavía no está madura y se enfrenta a retos de fabricación y a los grandes requisitos de tamaño y potencia. La mayoría de los experimentos actuales se centran en experimentos de física fundamental. No obstante, su rendimiento en términos de exactitud y estabilidad hace de ellos candidatos para sustituir los patrones de tiempo actuales en un futuro. Puede encontrar más información sobre la tecnología cuántica en la sección [5.3.11](#).

### 5.3 Tecnologías emergentes

La presente sección enumera y describe las **tecnologías de PNT emergentes** con mayor madurez e importancia percibida. Debido a la naturaleza de la descripción, era necesaria una simplificación de los conceptos, lo que dio lugar a una agrupación de las tecnologías basada en la similitud del *hardware*. Este apéndice incluye:

- Tecnologías radioeléctricas, ya sean terrestres (p. ej., pseudolitos) o espaciales (satélites LEO).
- Tecnologías que prestan servicios de temporización maduros de alto rendimiento.
- La navegación con teléfono móvil, que hasta cierto punto es neutra en cuanto al *hardware* y depende en gran medida de la fusión de sensores, el aprendizaje automático y los servidores finales, y es una tecnología destacada para el mercado de gran consumo.
- Tecnologías no radioeléctricas, como los sistemas inerciales y los sensores magnéticos.
- Tecnologías visuales, LIDAR o con técnicas basadas en el radar que, a pesar de que estrictamente no prestan servicios de PNT, son importantes en la fusión de sensores.
- El cuanto y los púlsares, que podrían ofrecer resultados muy interesantes en el futuro.

Además, se analiza, aunque sin entrar en detalles, el uso de conceptos avanzados como las señales de oportunidad o la fusión de sensores.

Es interesante señalar que la mayoría de las tecnologías maduras seleccionadas en el mercado ofrecen distribución de tiempo. La necesidad de una temporización alternativa se ha mencionado recientemente en el [Decreto Presidencial n.º 13905 de los Estados Unidos](#) y en el [programa del Centro de Temporización Nacional del Reino Unido](#). **La distribución del tiempo es un aspecto que se desarrolla activamente en la UE**, con el apoyo de la red única de los institutos nacionales de metrología (INM). Dado que estos desempeñan un papel importante en la realización del UTC y la frecuencia, así como en el desarrollo de patrones atómicos de frecuencia avanzados, es normal que en torno a ellos haya nacido un ecosistema de empresas dedicadas a la distribución del tiempo. Los sistemas horarios de onda larga, eLORAN y los relojes atómicos son tecnologías descritas en el apéndice anterior que pueden proporcionar (y mantener) la hora UTC.

La investigación bibliográfica y la [campaña para probar soluciones de PNT alternativas llevada a cabo en el JRC](#) muestran que resulta **muy difícil y caro que las tecnologías que prestan servicios de PNT completos alcancen una madurez que permita su comercialización**. Las tecnologías descritas en esta sección se benefician de numerosos años de experiencia (por ejemplo, Silicon Valley o el polo de investigación de Australia), así como de años de inversión. Es difícil igualar esta ventaja, ya que el mercado de los servicios es limitado. En este caso, merece la pena mencionar eLORAN, descrito en el apéndice anterior.

Estas **tecnologías emergentes** se diferencian de las demás, descritas en anteriores apéndices, por los siguientes aspectos:

- Están diseñadas como parte de la oferta combinada o del enfoque de fusión de sensores.
- No solo proporcionan la posición, sino que también crean una distribución temporal eficiente, aunque algunas podrían necesitar una conexión con el UTC.
- Adoptan prácticas modernas de desarrollo de hardware y software, lo que se traduce en un desarrollo rápido y en actualizaciones por vía inalámbrica. Esto implica asimismo que todas las unidades están conectadas y, por lo general, no requieren intervención manual después de su instalación.
- Cuentan con capacidades propias de seguimiento, notificación e identificación de fallos.
- Presentan características mejoradas en materia de ciberseguridad, integración con otros sistemas, experiencia de usuario y flexibilidad.

La información detallada sobre estas tecnologías, incluida la descripción de los algoritmos analizados en esta sección, puede consultarse en: [Position, navigation, and timing technologies in the 21<sup>st</sup> century: Integrated satellite navigation, sensor systems, and civil applications \[«Tecnologías de posicionamiento, navegación y temporización en el siglo XXI: navegación por satélite integrada, sistemas de sensores y aplicaciones civiles», publicación en inglés\], Y. J. Morton, F. S. T. Van Diggelen, J. J. Spilker, and B. W. Parkinson, Wiley/IEEE Press.](#)



### 5.3.1 White Rabbit (WR)

El perfil de alta precisión IEEE-1588-2019, ampliamente conocido como [protocolo White Rabbit](#), es un **protocolo de distribución de tiempo y frecuencia** desarrollado por el CERN que combina paquetes PTP con la base de frecuencia de Ethernet síncrono (SyncE) para proporcionar una **precisión de transferencia de tiempo de subnanosegundos**. Una nueva versión PTP 2.1 incluye de manera generalizada White Rabbit como su perfil de alta precisión.

El desarrollo de esta tecnología depende de empresas comerciales que ofrecen *hardware* y *software* como solución de tiempo como servicio (TaaS). También ofrecen capacidad de seguimiento y resiliencia, centrándose en los siguientes aspectos:

- Conmutación sin interrupciones entre fuentes de tiempo en caso de fallo.
- Detección y advertencia en caso de que una fuente de tiempo se aparte de la especificación, permitiendo la conmutación a una fuente de tiempo válida.

#### 5.3.1.1 Características principales

La tecnología requiere al menos dos fuentes de tiempo (GNSS, reloj atómico, INM, etc.) en la red de fibra ininterrumpida. Estas fuentes están diseñadas de tal manera que garantizan una transferencia de tiempo y frecuencia con exactitud de subnanosegundos y precisión de picosegundos, incluso en caso de fallo de una de ellas. Los ensayos de laboratorio realizados en el JRC demostraron una exactitud de entre 60 y 90 picosegundos a nivel de pico a pico.

Las redes WR existentes, como [GÉANT](#), se desarrollaron para apoyar los esfuerzos científicos en toda Europa con tecnología adoptada por diferentes instituciones de investigación, como el CERN y el GSI de Física de Altas Energías (aceleradores de partículas), y también plataformas de astronomía distribuidas como HISCORE, CTA, SKA, KM3NeT, etc. Otros usuarios activos son los centros de datos, las empresas de telecomunicaciones y entidades financieras, como [Equinix](#) o [Deutsche Börse](#).

#### 5.3.1.2 Situación y planes de optimización

La **tecnología es madura**, aunque se llevan a cabo nuevas investigaciones en dos ámbitos:

- Ampliación de WR para que actúe como servicio de vigilancia *over-the-air* (OTA), es decir, de manera inalámbrica. En este modo, el sistema vigila y corrige otros dispositivos, con desviaciones en la fuente de tiempo, utilizando su señal de radio transmitida. Los resultados de los [ensayos del JRC](#) demostraron que los dispositivos externos pueden mantenerse dentro de unos límites de  $\pm 200$  nanosegundos.
- Trabajo sobre el uso de WR OTA, investigado como opción para proporcionar servicios de PNT completos. Esto requiere la existencia de una densa infraestructura de temporización, que aún no está disponible. Se espera que un [proyecto piloto de SuperGPS de la Universidad Técnica de Delft](#) sea capaz de obtener una precisión de posicionamiento de 10 cm sobre la base de la sincronización prevista de la hora de la red a nivel de 100 picosegundos. El concepto podría ofrecer una posición en espacios tanto exteriores como interiores. Está destinado a aplicaciones de transporte inteligente, incluidas las zonas urbanas densas y los túneles, para que los vehículos autónomos se mantengan dentro del carril.

### 5.3.2 Distribución de tiempo a través de redes informáticas

Una de las opciones para la **distribución del tiempo a través de redes informáticas** es el modo de transferencia síncrona dinámica (DTM), que incluye multiplexación basada en la división temporal y tecnología de red óptica de conmutación de circuitos. Concebido para proporcionar una calidad de servicio garantizada para los servicios de emisión de vídeo en continuo, también puede utilizarse para los servicios basados en paquetes. La arquitectura del DTM fue normalizada por el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI) en 2001.

Varias empresas utilizan la tecnología para distribuir el tiempo a través de la red. Las empresas utilizan normas DTM, aunque algunas crearon un protocolo de tiempo adicional para aumentar la integridad de la información sobre el tiempo transmitida (NTP STS). El seguimiento de la red permite registrar el tiempo y mejorar la ciberseguridad. En general, se ofrecen dos tipos de servicios:

- Implantación del hardware y posterior mantenimiento (supervisión) de la red, mientras que la red en sí es gestionada por el cliente.
- Solución de tiempo como servicio (TaaS), cuando la empresa gestiona la propia red, ofreciendo al cliente una solución llave en mano.

Se utiliza una red existente con el único hardware adicional de cajas de red (nodos) que redistribuyen el tiempo, utilizando DTM, a todos sus vecinos. Las cajas se interconectan directamente o a través de enlaces WAN disponibles comercialmente, incluidos enlaces de fibra, WDM, MPLS y microondas. La red actualizada ofrece redundancia y resiliencia de la red a fallos de rutas o nodos. Esta implantación puede abarcar todo el país, con reloj atómicos como solución de respaldo, e incluye la fuente de tiempo (tradicionalmente GNSS, pero también son posibles otros medios).

#### 5.3.2.1 Características principales

La **precisión depende de la fluctuación de fase y de la asimetría de red**. El primer factor está directamente relacionado con la intensidad del otro tráfico no relacionado. Esta situación puede mitigarse aumentando la tasa de paquetes para rastrear el retraso con mayor frecuencia, lo que requiere una cantidad garantizada de ancho de banda. La experiencia práctica indica que solicitar la calidad adecuada de la red MPLS es el único requisito fundamental para lograr una precisión de microsegundos, aunque esto puede ser costoso.

El segundo factor **requiere la calibración de cada nueva ruta**. Esto, a su vez, requiere un diseño cuidadoso del presupuesto de error y el equilibrio del número de nodos instalados. Cada nodo permite el seguimiento y la autocalibración de los enlaces que se solapan. Habida cuenta del coste, el esfuerzo por mantener la precisión podría centrarse en los principales ejes troncales con otras conexiones gestionadas sobre la base del «mejor esfuerzo», siempre que dichas conexiones no sean demasiado largas (lo que limita tanto el número de posibles rutas como el efecto del tráfico). Los resultados de los ensayos del JRC también sugieren que la calibración de la «red de mejor esfuerzo» utilizando el GNSS como fuente de tiempo no es suficiente para mantener un servicio fiable.

#### 5.3.2.2 Situación y planes de optimización

Las normas DTM están diseñadas para los servicios de emisión de vídeo en continuo, por lo que la aplicación de tiempo requiere gastos generales de *hardware* que podrían no ser necesarios. Sería lógico suponer que en el futuro podrían utilizarse protocolos y equipos informáticos simplificados que se limiten al tiempo. Algunas de las ofertas actuales utilizan enlaces de microondas, y se espera que esto aumente, limitando los costes de infraestructura.

Las redes comerciales basadas en esta tecnología se despliegan para más de 15 transmisiones nacionales o regionales DVB-T/DAB. Las actividades de desarrollo actuales se centran en las mejoras en términos de tamaño, interfaces y escalabilidad, a fin de crear un producto más especializado adaptado a un mercado concreto a través de diversos tipos de enlaces. Los operadores están adoptando por separado medios distintos del GNSS para transferir y mantener la referencia temporal UTC.

### 5.3.3 Pseudolitos

Los pseudolitos son una **tecnología de posicionamiento terrestre** que utiliza una **red de transmisores terrestres** que proporcionan una señal de radioposicionamiento sólida dentro de una zona específica.

El primer prototipo conocido fue la prueba del concepto del GPS en las instalaciones del Yuma Proving Ground a principios de la década de 1970. La señal se transmitió utilizando transmisores terrestres y rovers a bordo de una aeronave, justo al contrario de cómo se utiliza el sistema en la actualidad. El Código áureo PRN 33-37 del GPS se reservó para uso terrestre, pero con el aumento de la disponibilidad de satélites, el foco de atención ha pasado de la disponibilidad y precisión a la integridad y la preocupación por transmitir otras señales en la frecuencia GPS. En la actualidad, los pseudolitos podrían seguir utilizando el Código áureo, pero tienden a utilizar frecuencias diferentes, sobre todo para evitar posibles restricciones futuras. Dos ejemplos recientes son las frecuencias inalámbricas y la banda específica de 921,8845-927,0000 MHz con potencia de emisión variable, 23 dBm para la primera y 30 vatios para la segunda, lo que requiere permisos específicos.

La red está sincronizada a nivel de nanosegundos para **proporcionar posición y tiempo**. Existen dos soluciones: el uso de osciladores precisos (como relojes atómicos) o la sincronización interna (utilizando alineación de frecuencias).

Los pseudolitos se utilizan habitualmente de forma independiente o como aumentación del GNSS y tienden a basarse en un *hardware* de GNSS que permite la reutilización del *hardware* y los correladores de los receptores de GNSS. Debido a las diferentes frecuencias, los receptores integrados suelen ser de hecho dos receptores.

#### 5.3.3.1 Características principales

Cualquier tecnología de posicionamiento terrestre se enfrenta al multitrayecto, al problema de cercanía-lejanía y al retraso troposférico, entre otros factores limitadores. Las medidas de mitigación para lograr una precisión centimétrica pueden incluir el acceso múltiple por división de código de secuencia directa con salto de tiempo (TH.DSCDMA), señal espacial y de frecuencia separadas, un sistema de impulsos particular y una antena con formación de haces resistente al multitrayecto. El diseño del *hardware* tiende a guiarse por los receptores de GNSS e incluir relojes OXCO.

El **alcance de funcionamiento**, limitado por el horizonte cercano, el efecto cercanía-lejanía y la normativa vigente en materia de espectro, es de 5 a 15 km. Las aplicaciones de temporización y frecuencia de precisión requieren que solo esté a la vista un transmisor, mientras que el posicionamiento y la navegación requieren señales de tres o más ubicaciones de transmisores. La densidad de la red depende de la visibilidad, por lo que un entorno urbano saturado exige la mayor densidad. Partiendo de un alcance típico del transmisor es un entorno suburbano saturado, solo serían necesarias aproximadamente cuatro balizas por cada 100 km<sup>2</sup> (10 x 10 km). Los estudios específicos de cada emplazamiento deben tener en cuenta las necesidades de los usuarios y la disponibilidad de señales, lo que aumentará el número de transmisores.

Una consideración importante es una pequeña diferencia de altura que hace que el sistema sea mucho más preciso en plano que en horizontal. Una solución a ambos problemas podría ser el uso de sistemas de estaciones en plataformas a gran altitud (HAPS), que recorren altitudes de hasta 20 km. Se trata de plataformas de sensores y proveedores de comunicaciones, cuyo objetivo es sobrevolar una zona determinada durante largos períodos utilizando energía solar y eólica. Las restricciones energéticas limitan su carga útil. En la actualidad, su principal objetivo es el despliegue rápido de comunicaciones con una infraestructura de red mínima en el suelo, por ejemplo, como respaldo de las redes terrestres dañadas por catástrofes. Sus características hacen de ellos una aumentación ideal para un sistema de pseudolitos, pero requeriría cambios en el correlador (parte de la entrada del receptor) para adaptarlo al movimiento. Algunos fabricantes utilizan sensores de presión para aliviar los problemas de altura. Se trata de soluciones para **sistemas basados en códigos**, que proporcionan una **precisión de 5-10 m**, pero no para los que utilizan resolución de la ambigüedad **basada en la portadora con precisión milimétrica**.

Los ensayos realizados en el JRC han arrojado los siguientes resultados:

- Transferencia de tiempo interna y externa (respecto de UTC) 0,2-15 ns.

- Posición cinemática 2D en exterior e interior utilizando código 10-15 m, y utilizando portadora y antena V-Ray 5-11 mm.
- Transferencia de tiempo con múltiples saltos OTA a lo largo de 106 km, con una precisión de 0,7 ns de pico a pico.

### 5.3.3.2 Situación y planes de optimización

Estas tecnologías han sido sometidas a ensayos y en la actualidad se utilizan en la minería, los ensayos de automóviles, la logística interior y las operaciones portuarias y en puertos secos. Dado su rendimiento, la tecnología es candidata a ser utilizada en sistemas de transporte inteligente y el despegue y aterrizaje verticales, pero no se ha llevado a cabo ninguna aplicación práctica.

El desarrollo tecnológico se centra en las prestaciones del correlador y las características de la antena. Con el aumento del volumen de unidades enviadas, algunos productores indican que la miniaturización es el siguiente paso.

Otra tecnología interesante es la **tecnología de banda ultraancha** (UWB) utilizada para transmitir impulsos de alta frecuencia a corta distancia. Al transmitir a través de un gran ancho de banda, la tecnología es, en cierta medida, resistente al multitrayecto y adecuada para ofrecer posicionamiento en interiores sin visibilidad directa. Se han probado unidades comerciales para servicios de emergencia, pero lamentablemente dos factores han limitado su atractivo comercial:

- [alcance exterior limitado](#).
- [requisitos de autorización](#).

La idea fue retomada recientemente a medida que entraban en el mercado dispositivos de baja potencia, ofreciendo aun así un nivel de precisión decimétrica, y hace poco tiempo que Apple ha introducido esta tecnología en sus dispositivos móviles. Con todo, la tendencia general parece ser la de limitar la utilización de la UWB a los dispositivos móviles y los espacios interiores.

### 5.3.4 Servicios de PNT basados en la 5G y en las redes celulares

En 2012, el Sector de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-R) puso en marcha el [programa «IMT para 2020 y más allá»](#), con el objetivo de definir la quinta generación de sistemas de comunicaciones móviles, comúnmente denominada 5G. En junio de 2016, el Grupo de Trabajo 5D del UIT-R publicó un calendario para las IMT-2020, que se muestra en el [Gráfico 55](#). Desde entonces, las partes interesadas de la industria y el mundo académico han colaborado a través de diversos foros internacionales, como 3GPP, DECT Forum, Corea IMT-2020, China IMT-2020, etc.

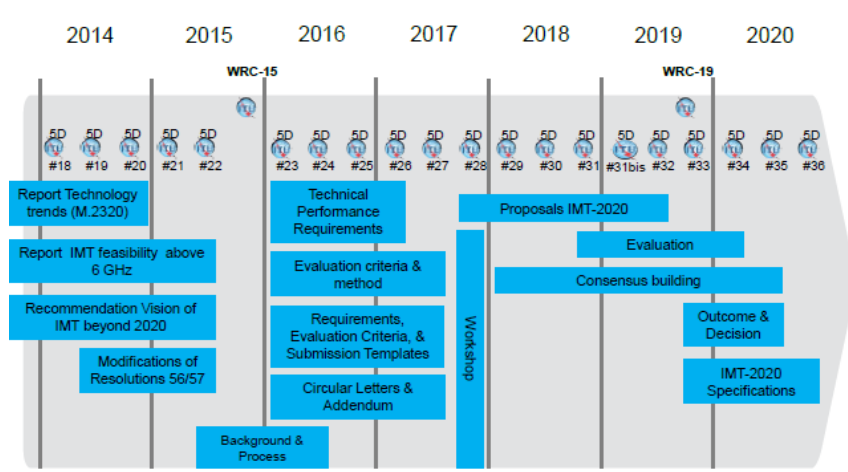


Gráfico 55. Calendario y proceso para las IMT-2020 (fuente: UIT-R)

Entre octubre de 2017 y junio de 2019, se presentaron las tecnologías candidatas y se consideró oficialmente que cuatro tecnologías cumplían las especificaciones IMT-2020:

- 3GPP 5G-SRIT (conjunto de tecnologías de interfaz radioeléctrica), 3GPP 5G-RIT (tecnología de interfaz radioeléctrica) representan los conocidos modelos de despliegue 5G autónomo y no autónomo de la tecnología de comunicaciones celulares del 3GPP.
- 5Gi fue desarrollado por Telecommunications Standards Development Society India (TSDSI). 5Gi es una versión actualizada de 3GPP 5G-RIT, diseñada principalmente para mejorar la cobertura rural.
- DECT 5G-SRIT fue concebida como una tecnología no celular, autónoma y descentralizada para apoyar una serie de casos de uso, desde la telefonía inalámbrica y la emisión de audio en continuo, hasta las aplicaciones industriales del internet de las cosas, especialmente en ciudades inteligentes.

De las cuatro tecnologías mencionadas, **3GPP 5G (tanto en sus modos de funcionamiento autónomo como no autónomo)** es la tecnología IMT-2020 **más popular y ampliamente desplegada** en todo el mundo.

La infraestructura de red para transmitir voz y datos entre los usuarios finales e internet se denomina comúnmente «red de acceso radioeléctrico», «red de transporte» y «red básica». **Soportar la ubicación de los usuarios en la infraestructura de la red es un requisito clave para el funcionamiento normal de las redes celulares**, especialmente durante los procedimientos de radiobúsqueda (recepción de una llamada/flujo de datos entrante) y traspaso (transición entre estaciones de base vecinas debido a la movilidad de los usuarios). Dado que actualmente hay más dispositivos móviles en uso que humanos en el mundo, las capacidades de comunicación y posicionamiento de las redes y dispositivos móviles comerciales son muy importantes.

#### 5.3.4.1 Características principales

[Gráfico 56](#) muestra la **arquitectura de posicionamiento de la 5G New Radio (NR)**. El proceso de posicionamiento comienza cuando un cliente externo envía una solicitud para obtener la posición del equipo de usuario (**UE**). Una función de gestión de la ubicación (**LMF**) tramita la solicitud y recibe mediciones e información de asistencia de la red de acceso radioeléctrico NG (**NG-RAN**) y del UE. La LMF estima la posición del UE y envía la posición estimada al cliente que originó la solicitud. A diferencia de la 4G, el posicionamiento del UE también puede ser

estimado en el propio UE no solo por la red. Otra característica interesante de la 5G es que la solicitud de posicionamiento se origina y termina en el cliente LCS, lo que puede corresponder o no al dispositivo UE.

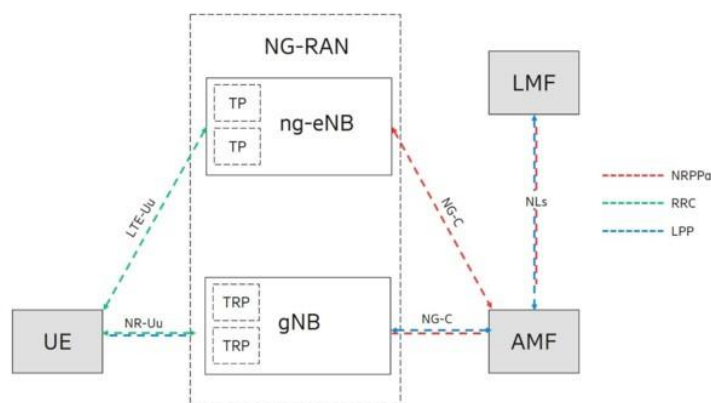


Gráfico 56. Arquitectura de posicionamiento 5G (fuente: Ericsson)

La estimación más básica de la ubicación del usuario pasa por identificar la estación base que atiende al teléfono móvil y conocer su ubicación y la zona de cobertura. Para mejorar el nivel de prestaciones, es posible triangular utilizando señales (distancia) de tres o más estaciones base adyacentes. Las redes LTE también soportan el posicionamiento basado en la diferencia observada en el tiempo de llegada, enfoque similar al del sistema eLORAN descrito en la sección anterior.

### 5.3.4.2 Situación y planes de optimización

La **evolución** de las redes de comunicaciones móviles, con **celdas más pequeñas, mayores tasas de datos, frecuencias más altas y haces más estrechos**, traerá consigo un aumento de la precisión de la solución de posicionamiento. La primera versión de las redes 5G ya está operativa en Europa, especialmente la no autónoma (NSA), que opera esencialmente en una red básica LTE de 4G heredada. Esto limita las capacidades NSA en comparación con la red de 5G autónoma (SA) pura. Por ejemplo, la NSA soporta el posicionamiento LTE en lugar del posicionamiento nativo 5G NR. Esta plataforma permite el uso de una solución híbrida que combine una señal de tiempo sincronizada entre GNSS y 5G para abordar el requisito de posición exigido por la FCC como parte de E-911.

La tecnología SA está más madura y los avances tecnológicos permitirán aprovechar plenamente las capacidades de la 5G, como un amplio ancho de banda para una mejor resolución temporal, nuevas bandas de frecuencias en la banda milimétrica y MIMO masiva para la medición precisa del ángulo.

Cada vez son más los bancos de pruebas 5G, basados en la tecnología SA, que están en funcionamiento en todo el mundo. Por ejemplo, en el MWC celebrado en 2022, Qualcomm Technologies exhibió un [posicionamiento preciso con el espectro de la banda milimétrica](#), para despliegues en espacios interiores y exteriores, como las fábricas inteligentes. [Rohde & Schwarz mostraron un sistema de reserva del GNSS basado en la tecnología de radiodifusión 5G](#)<sup>10</sup>. Las señales de referencia de posicionamiento se transmiten junto con información sobre la ubicación de los transmisores. Esta infraestructura terrestre que utiliza torres de radiodifusión 5G actúa como reserva del GNSS. Esta solución proporciona la misma señal a una multitud de receptores móviles y fijos simultáneamente, como teléfonos inteligentes, tabletas, coches y dispositivos ponibles, y logra una precisión métrica. Además, el contenido difundido por los transmisores 5G puede mejorarse con correcciones RTK y PPP para reducir la precisión a nivel centimétrico.

<sup>10</sup> La radiodifusión 5G se basa en la tecnología 3GPP que se utiliza para redes 4G y 5G celulares que reutilizan despliegues de radiodifusión ya establecidos (por ejemplo, radio, televisión, etc.). Permite la recepción móvil de contenidos audiovisuales utilizando un modo de radiodifusión altamente eficiente.



### 5.3.5 Modo de alcance (modo R)

El modo de alcance (modo R) es un sistema de posicionamiento terrestre que **utiliza las bandas de frecuencias de la infraestructura radioeléctrica marítima existente** para el suministro de **señales de temporización**. Deben recibirse señales de al menos tres transmisores independientes para realizar el posicionamiento basado en el modo R. En la actualidad, los bancos de pruebas del modo R en Europa, Asia y Norteamérica utilizan:

- La banda de frecuencia media (MF) del sistema de radiobalizas marítimas, o
- las bandas marítimas de muy alta frecuencia (VHF) del sistema de intercambio de datos VHF (VDES).

El sistema de radionavegación consta de **tres componentes**:

- El transmisor del modo R utiliza la infraestructura de radio marítima existente, que se moderniza para permitir la transmisión de señales modificadas en caso de MF o mensajes específicos en el caso de VHF (Directriz 1158 de la IALA) junto al servicio heredado de dicha infraestructura.
- Los sistemas de control del modo R, que se implantan como campo próximo o lejano, en las zonas de servicio de los lados de los transmisores. Controlan el rendimiento y la disponibilidad del servicio del modo R y generan información complementaria para aumentar el rendimiento del servicio del modo R.
- Un centro de mando y control, aún no implantado en los bancos de ensayo.



Gráfico 57. Modo de alcance (fuente: R-Mode Baltic)

El sistema del modo R también puede prestar servicio a una región pequeña como un puerto y actuar como respaldo del enfoque portuario. En este caso, deben instalarse al menos tres transmisores, y el servicio del modo R estará disponible en la zona de servicio común que se solapa. Para ampliar la zona de servicio del modo R, los transmisores de MF y VDE deben emitir en el modo R. Las estaciones MF y VDES tienen diferentes alcances y propiedades de los transmisores. Lo ideal es combinarlos para beneficiarse de ellos y lograr una buena geometría.

En general, una aplicación a escala de la UE o a escala mundial debe tener por objeto apoyar a los buques, actuando como soluciones de reserva, cuando se encuentren en zonas costeras durante su viaje desde el atraque hasta el atraque, salvo en las proximidades de la costa. En este caso, la cooperación de los proveedores de servicios del modo R de los distintos países es necesaria para que el usuario marítimo pueda utilizar al mismo tiempo las señales de los distintos proveedores.

Una implantación a gran escala sería beneficiosa para los usuarios marítimos, especialmente durante las fases críticas de los viajes. Para desarrollar todo el potencial del modo R, sería necesario armonizar el sistema del modo R y el servicio de los distintos proveedores nacionales de servicios marítimos para permitir la compatibilidad con el modo R en las zonas entre países. Así pues, sería necesario un marco de normas y directrices sobre el modo R y un grupo internacional de coordinación del modo R.

### 5.3.5.1 Características principales

Los análisis teóricos, las simulaciones y las campañas de medición indican que, dependiendo de la distancia, la potencia de la señal (o la relación señal-ruido) y la geometría de los emplazamientos del usuario móvil y el transmisor, el sistema puede ofrecer una **precisión de posicionamiento** significativamente **mejor que 100 m**, aunque su funcionamiento es menos eficiente durante la noche. La optimización de la red transmitida aumentaría esta precisión, pero no está claro si puede alcanzarse una precisión de 10 m (nótese que el rendimiento de posicionamiento horizontal sugerido para un sistema de reserva de GNSS es de 10 m para la aproximación al puerto y las aguas restringidas y de 100 m para las aguas costeras: [Recomendación R-129 de la IALA sobre la vulnerabilidad y las medidas de mitigación en el ámbito de los GNSS](#)).

Por lo tanto, el modo R está diseñado para prestar **cobertura en aguas costeras y restringidas** en las que se espera el mayor riesgo de degradación de las señales de GNSS debido a interferencias tanto intencionadas como involuntarias. A diferencia del GNSS, que tiene cobertura mundial, el sistema del modo R no puede lograr una cobertura mundial debido a la limitada gama de señales MF y VHF. En el caso del modo R basado en MF, el problema de la interferencia de onda ionosférica, que degrada la precisión del sistema durante la noche, no se ha resuelto hasta la fecha. Un reto para el modo R VDES es la carga del canal causada por el número de transmisores en una zona. Además, debe resolverse la ubicación conjunta del modo R VDES y las instalaciones AIS existentes.

### 5.3.5.2 Situación y planes de optimización

El sistema del modo R se encuentra en una **fase temprana de desarrollo de la tecnología fundamental** y el *hardware* en varios bancos de pruebas permanentes o temporales en Europa, América del Norte y Asia. En el mismo marco, se desarrollaron prototipos de equipos transmisores de modo R que se utilizan en los bancos de ensayo del modo R, que actualmente tienen un TRL de entre 4 y 5. Por lo que respecta a los buques, las actividades se llevan a cabo con plataformas de investigación. Se han desarrollado los diseños del receptor del modo R, pero son necesarias más actividades para permitir el posicionamiento basado en el modo R.

Al igual que el GNSS, puede proporcionar una posición absoluta, aunque con menor precisión y disponibilidad espacial, limitada a unos **250 km de la costa**. Se espera que el modo R actúe como candidato al componente terrestre deseado descrito en la «Norma de funcionamiento de los receptores de radionavegación multisistema de a bordo de la OMI» (IMO MSC.401, en su versión modificada).

El modo R depende actualmente de un GNSS para su sincronización. Los futuros planes estudian la posibilidad de incluir relojes atómicos para el régimen libre sostenido de corta duración y, posiblemente, fuentes de tiempo alternativas de reserva, aunque esta aplicación es difícil.

La **normalización del modo R está en curso**. Ya se dispone de los primeros documentos gracias al reconocimiento de los requisitos para el modo R en la nueva norma VDES (Recomendación UIT-R ITU-R M.2092-1) y las Directrices 1158 de la IALA sobre el modo R VDES. La IALA está realizando trabajos adicionales en relación con una directriz para la aplicación del modo R utilizando transmisiones en las bandas de frecuencias MF y VHF. Además, se están desarrollando mensajes de navegación, que deberían formar parte de los mensajes de datos RTCM. De acuerdo con una hoja de ruta acordada internacionalmente, no se prevé que la normalización culmine antes de 2027.

### 5.3.6 Navegación visual

La navegación visual (o navegación basada en imágenes) está ganando relevancia a medida que el *hardware* resulta más barato (las cámaras de los teléfonos móviles cuestan menos de 1 EUR) y los algoritmos maduran. Esta sección abordará la **navegación basada tanto en imágenes como en LIDAR**, ya que ambos tipos son muy populares: primero en los dispositivos móviles y, más tarde, en los vehículos autónomos. Aunque esta técnica funciona muy bien tanto en el interior como en el exterior, **no** proporciona ninguna información de temporización, por lo que se espera que actúe como parte de la fusión de sensores, probablemente combinada con GNSS e IMU.

#### 5.3.6.1 Características principales

Una **imagen** es una proyección 2D de un mundo 3D, lo que significa que, a diferencia del caso del LIDAR analizado más adelante, falta la información sobre la profundidad. Para resolver esta falta de dimensión, el mismo punto debe identificarse en múltiples imágenes (creando así una referencia móvil de una longitud conocida), como se muestra en el [Gráfico 58](#).

La identificación y la correspondencia de las mismas características de imagen a imagen, sin tener en cuenta los cambios de luz y la dinámica de las cámaras, es el mayor reto para este tipo de navegación. Esto puede suponer un reto para la aviación. En el escenario terrestre y peatonal, el problema se simplifica debido a la limitación del movimiento y la rotación en el eje de altura, y se ha demostrado que proporciona resultados fiables. Si se utiliza un simple algoritmo de movimiento, podemos utilizar de hecho cualquier característica bien iluminada o incluso un patrón repetido. En el caso de la aviación, la información IMU es esencial.

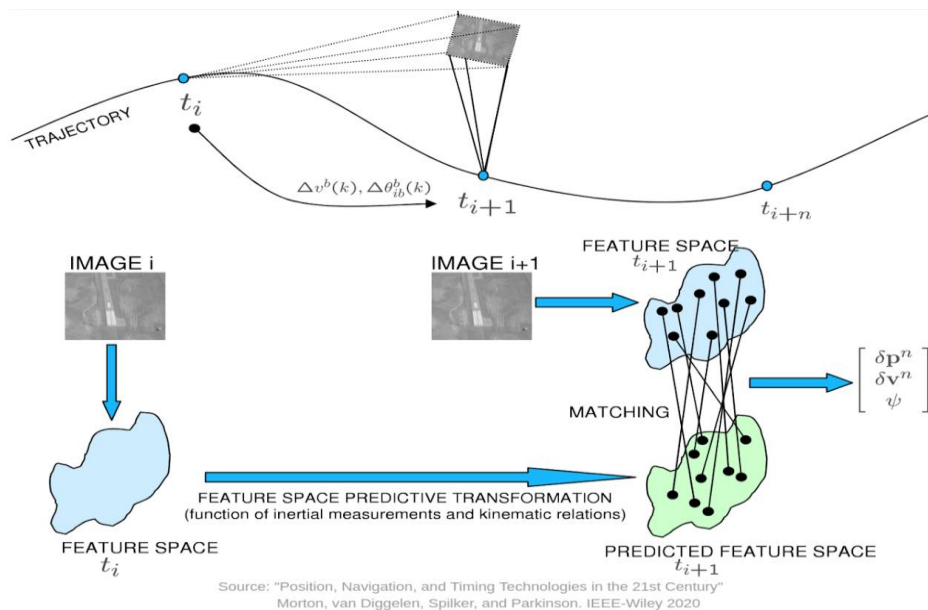


Gráfico 58. Visión general de la fusión de sensores asistida por imágenes con IMU (fuente: pnt21book.com)

El **LIDAR** es un método para determinar la distancia a un objeto midiendo el tiempo necesario para que la luz reflejada vuelva al receptor. Se utiliza habitualmente para crear modelos y mapas de alta resolución. También **puede utilizarse para la navegación**, utilizando uno de los dos enfoques siguientes:

- **Enfoque sin rasgos**, cuando la distribución espacial de las mediciones (nube de puntos) se utiliza directamente para comparar con los datos existentes. El reto algorítmico aquí es la subselección de puntos para la correspondencia (identificación del área de superposición). A continuación, se utiliza la selección para la mejor correspondencia en los datos de referencia y se optimiza (rota) para minimizar la función de costes (error de ajuste). La identificación del área que debe compararse es fundamental para optimizar la búsqueda. Resulta muy útil contar con la posición y orientación iniciales conocidas.

- [Enfoque basado los rasgos](#), cuando los rasgos se identifican primero y se extraen a partir de los datos (nube de puntos). La navegación se basa entonces en identificarlos y utilizarlos para estimar la posición. Estos rasgos suelen ser rasgos mucho más sencillos que objetos descriptivos artificiales y tienden a ser puntos o características geométricas simples. Una vez extraídos, el movimiento percibido entre ellos y el escáner (usuario) puede utilizarse para estimar el movimiento, la orientación y la posición.

### 5.3.6.2 Situación y planes de optimización

Es posible la mecanización (integración) de soporte de la **navegación basada en LIDAR** con odómetro o IMU. Esto se utiliza con frecuencia durante la [localización y mapeo simultáneos \(SLAM\)](#) cuando los datos recogidos pueden utilizarse para mejorar los mapas existentes. El LIDAR puede utilizarse para la navegación de vehículos o peatonal. Los **métodos ópticos** tienen características similares.

En ambos casos, es muy popular el uso de un algoritmo SLAM recurrente debido a su velocidad y eficiencia. La estimación de la posición es relativa, pero si algunas de los rasgos tienen posiciones conocidas, también es posible registrar el movimiento de objetos en relación con el marco de referencia mundial. Cuando se vuelve a visitar la misma ubicación (bucle cerrado), puede estimarse la exactitud de la posición y corregirse la estimación anterior en caso necesario.

Un enfoque alternativo es el [filtro de partículas \(PF\)](#), que utiliza un enfoque probabilístico para estimar la posición, ya que el objeto se mueve hasta que la posición pueda proporcionarse con suficiente confianza.

Se plantean varias consideraciones para la navegación visual:

- Se produce un gran volumen de datos, por lo que, en primer lugar, los datos se reducen mediante la determinación de áreas específicas de interés a través del submuestreo. Esto incluye también la eliminación de interrupciones, como los vehículos en movimiento o los peatones. En segundo lugar, la mayoría de los algoritmos utilizan iteración para llegar a los mínimos locales.
- Es diferente diferenciar la incertidumbre de observación en las mediciones del alcance y del ángulo. En el caso del LIDAR, esto depende del ángulo y de la superficie reflejada; para una imagen, esto está relacionado con las lentes y las condiciones luminosas.
- La integración con otros sensores requiere una preparación cuidadosa, incluida la estimación del brazo de palanca y la estabilidad.

Una aplicación espacial de estos principios es el [rastreador de estrellas](#) y el [sensor solar](#). Ambos dispositivos utilizan la **navegación astronómica** para comparar las vistas conocidas de las estrellas utilizando células fotográficas o una cámara. El método requiere una clara visibilidad de las estrellas, que es el cielo nocturno para un usuario terrestre, y es utilizado predominantemente por las plataformas espaciales, ofreciendo tanto posición como orientación cuando se combinan con IMU.

La tecnología se utiliza en prácticamente todas las misiones espaciales. Por lo general, una misión tiene sensores tanto de estrellas como solares. En primer lugar, estos últimos se utilizan para la determinación aproximada de la actitud, normalmente después de que el vehículo espacial se separe del lanzador. El rastreador de estrellas se utiliza para determinar con precisión la actitud y la lectura IMU para que el enfoque de fusión de sensores obtenga una orientación y una posición fluidas.

La exactitud del sensor solar es de 3 a 0,005° y la del rastreador de estrellas, de 0,01 a 0,0003°. El sensor puede ser un rastreador o escáner adecuado para rotar (girar) rápidamente un vehículo espacial. El método requiere un filtrado previo para eliminar el ruido, como luces o reflejos varados, o evitar el efecto cegador del sol o la luna, y exige la estabilización de la lectura (para lo que se utiliza la IMU).

Debido al aumento de la calidad y al menor tamaño de los componentes, la tecnología simplificada se [utiliza para los LEO](#) y se investiga para las misiones CubeSat. Aparte de las ofertas comerciales, existe un [algoritmo de código abierto](#), utilizado para las plataformas CubeSat. Las mediciones se llevan a cabo en el [Sistema de Referencia Celeste](#), lo que requeriría la transformación a ITRF GNSS o similares.

### 5.3.7 Navegación basada en teléfonos móviles

En la actualidad, el teléfono inteligente es la principal fuente de navegación, en sustitución de los dispositivos de navegación específicos como TomTom o Garmin, así como los mapas en papel. En 2020 había más de [4 000 millones de teléfonos inteligentes compatibles con GNSS](#). Por lo tanto, es interesante que su capacidad de GNSS surgiese casi por accidente. [En 1999, la Comisión Federal de Comunicaciones \(FCC\) impuso un requisito de posición como parte de la E-911](#). La triangulación desde la red de torres móviles no era lo suficientemente precisa. En su lugar, se sugirió un posicionamiento utilizando conjuntos de chips GPS.

El **teléfono móvil no está concebido como receptor GNSS/GPS**. Tiene un monopolio de F invertida simple y una antena de polarización lineal con baja ganancia y suspensión de ruido. Cuenta con un reloj de baja calidad y es propenso a la autointerferencia debido a la colocación de los componentes. ¿Por qué son importantes? La posición a través de GNSS se basa en la diferencia de tiempo entre el satélite (por lo que es importante un oscilador local estable) utilizando una señal de muy baja potencia, a menudo por debajo del umbral mínimo de ruido (por tanto, son esenciales antenas adecuadas). Por sí solos, los **teléfonos inteligentes ofrecen unas prestaciones limitadas como receptores de GNSS**.

El **GPS asistido (A-GPS)** elimina estas deficiencias aumentando la sensibilidad y el TTFF, ya que los datos asistidos reducen el espacio de búsqueda de frecuencias, pero no el espacio de retraso. Esto también cambia la arquitectura del conjunto de chips, que se basa en una capacidad de búsqueda paralela masiva. Dado que el principal factor limitador del conjunto de chips es el tamaño de la memoria del chip, a fin de minimizar todas las hipótesis paralelas, los fabricantes buscan primero en una constelación de GNSS (normalmente GPS con códigos cortos) y, una vez adquiridos, el conjunto de chips realizará la búsqueda restringida oportuna de otros códigos de GNSS más largos. En el caso de Galileo, el conjunto de chips sigue el componente de datos de Galileo (E1B-OS-NMA) únicamente al principio de la solicitud de ubicación; una vez obtenidos los datos, el conjunto de chips comienza el seguimiento del código piloto. Los detalles técnicos pueden consultarse en [F. van Diggelen, A-GPS: Assisted GPS, GNSS, and SBAS](#) [«A-GPS: GPS asistido, GNS y SBAS», publicación en inglés]. Artech House, 2009.

#### 5.3.7.1 Características principales

La capacidad de GNSS la proporciona la arquitectura A-GPS (A-GNSS). Además, cabe señalar dos avances recientes, ambos descritos desde la perspectiva Android, ya que el enfoque de Apple no está bien documentado.

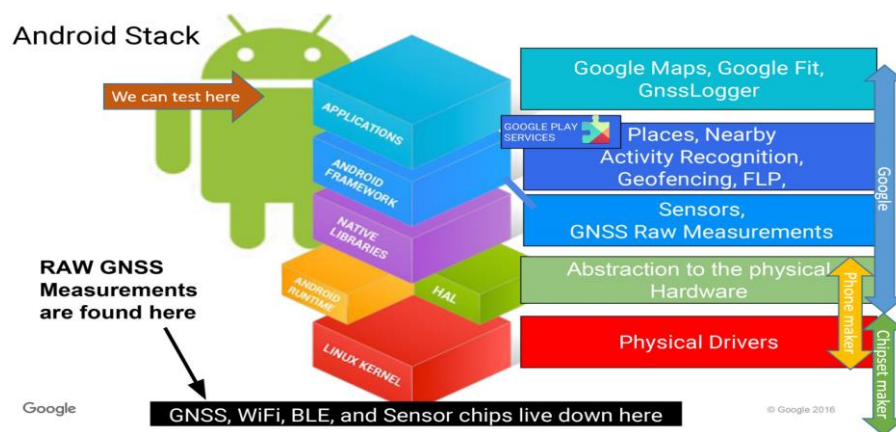


Gráfico 59. Visión general del control de la pila de las partes interesadas de Android, adoptada después de Google (fuente: Google)

#### Servicios de Google Play para Android

El teléfono moderno es un ecosistema muy complejo que contiene múltiples sensores, entre ellos inerciales, inalámbricos y por Bluetooth, y que está gestionado por el sistema operativo. Esto es utilizado por Android a través de la encapsulación de la interfaz de programación de aplicaciones (API) de localización de los servicios de Google Play. Hace de todo, desde el geoperimetraje y la detección de actividades hasta la identificación de lugares cercanos al usuario. Su elemento más importante es el proveedor de ubicaciones combinadas (FLP), que ofrece una ubicación inteligente y ahorra batería. Esto ofrece la posibilidad de navegar en espacios interiores utilizando la potencia del punto de acceso inalámbrico más cercano y mapas en interiores para identificar tu ubicación. En combinación con el aprendizaje automático, es utilizado por el [Servicio de Ubicación para](#)



[Emergencias \(ELS\) de Android](#). Este servicio se activa cuando se efectúa una llamada de emergencia y proporciona una ubicación precisa a los servicios de emergencia, incluida la elevación y el piso correcto. Este servicio requiere acuerdos separados con los operadores de telefonía y está habilitado en algunos países de la UE.

### Mediciones GNSS brutas

Desde 2016, la [API de localización de Android](#) proporciona acceso directo al conjunto de chips de GNSS (eludiendo unas cuantas capas de la pila). Estas **observaciones de los GNSS se conocen como mediciones brutas (o sin procesar)**. El conjunto de chips del teléfono basado en A-GPS adquiere las observaciones antes de que el tiempo se sincronice con precisión, lo que da lugar a observaciones en un formato más bruto que las de los receptores de GNSS típicos.

El acceso a las mediciones brutas abre la puerta a técnicas de procesamiento de GNSS más avanzadas que, hasta ahora, se han restringido a receptores de GNSS más profesionales. Pueden utilizarse nuevas señales (frecuencias E1/L1 y E5/L5), observaciones diferenciales y otros algoritmos avanzados. Además, sustentan aplicaciones tales como el tiempo garantizado, la vigilancia atmosférica o la detección de interferencias.

A pesar de que el **teléfono móvil** tiene **varias limitaciones**, como no gestionar adecuadamente las dinámica o el multitrayecto, puede utilizar **algoritmos más avanzados**, por ejemplo, soluciones diferenciales. En el marco del [Grupo de Trabajo sobre Medidas GNSS Brutas de la EUSPA](#) se realizó una presentación en la que se mostraron los resultados tras procesar los datos recogidos mientras se caminaba lentamente por las letras que conforman «GOOGLE». De izquierda a derecha, vemos el algoritmo simple de las mediciones brutas y, a continuación, un algoritmo de filtro de Kalman utilizando pseudorangos; en este caso es similar al FLP. La última imagen muestra la mejora con el uso de la fase portadora, algo que no es posible con el FLP. Cabe señalar que, en la fase actual, es difícil superar el rendimiento del FLP a menos que sea en un entorno abierto.

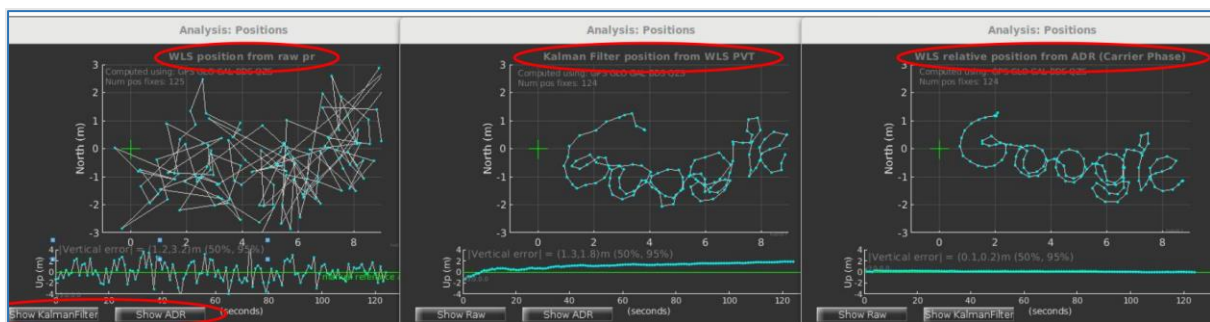


Gráfico 60. Mejora de la posición utilizando mediciones en bruto (fuente: Frank van Diggelen)

Puede obtener más información en el [Libro Blanco de la EUSPA sobre el uso de las mediciones brutas de GNSS en dispositivos Android](#).

### 5.3.7.2 Situación y planes de optimización

[Google ha propuesto un nuevo algoritmo destinado a un uso peatonal](#) que tiene por objeto combatir el problema del multitrayecto. En primer lugar, estima la ubicación del usuario, idealmente, determinando el lado de la calle en el que se encuentra el usuario, sobre la base de modelos fotorrealistas de los edificios. A continuación, devuelve esta información al conjunto de chips para mejorar directamente la posición del GNSS. Los modelos de datos abarcan todas las ciudades europeas y la mayor parte del mundo. El algoritmo se centra en la serie Pixel de Google (empezando por la versión 5G del modelo 5) con un despliegue previsto en otros dispositivos Android.

Ahora la capa API se comunica directamente con el conjunto de chips de GNSS proporcionando correcciones y la pila de Android ha pasado a ser un canal de comunicación bidireccional. En resumen, **es posible utilizar un teléfono móvil como receptor de GNSS moderno**.



### 5.3.8 Navegación a estima mediante IMU

La [navegación a estima](#) es el proceso de cálculo de la posición de un objeto en movimiento teniendo una posición determinada y, a continuación, incorporando estimaciones de velocidad, rumbo y tiempo transcurrido. Aunque existen varias tecnologías que utilizan esta estimación, nos centraremos en los sistemas inerciales, comunes en la aviación y el transporte.

Una [unidad inercial \(IMU\)](#) es un dispositivo electrónico que mide y notifica la fuerza específica de un cuerpo, la velocidad angular y, en ocasiones, la orientación del cuerpo. Las IMU constan de tres [giróscopos](#) y tres [acelerómetros](#), y por lo general incluyen [magnetómetros](#) y determinan la orientación del cuerpo móvil en tres ejes. Para determinar la posición absoluta con respecto al marco de referencia, debe conocerse la posición de partida, la velocidad y la orientación del cuerpo. Si la precisión del giróscopo está muy por debajo de la rotación de la Tierra (15°/h), la actitud puede estimarse sobre la base de la gravedad y la rotación terrestre.

El coste del *hardware* varía en función de la calidad de los componentes, tal como se observa en el [Cuadro 17](#). Normalmente no es posible utilizar un sistema microelectromecánico de bajo coste (MEMS) utilizado en dispositivos móviles y requiere fusión de sensores (que suelen ser de GNSS, Bluetooth y conexión inalámbrica), mientras que el giroscopio láser de anillo (medición de la diferencia de frecuencia de la luz en dos direcciones) es el más eficaz y costoso.

*Cuadro 17. Visión general de los sistemas de navegación a estima*

Tipo	<a href="#">Giróscopo de anillo láser</a>	<a href="#">Giróscopo de fibra óptica</a>	<a href="#">MEMS</a>	MEMS de bajo coste
Coste (EUR)	100 000	20 000	< 2 000	< 1 000
Deriva del giróscopo	0,003°/h	1°/h	360°/h	3 600°/h
Deriva de 1 m	~ 2 min	~ 30 s	~ 5 s	< 5 s

Nótese que los valores consignados en el cuadro siguen la dinámica de velocidad constante.

#### 5.3.8.1 Características principales

La navegación inercial funciona **integrando las mediciones de sensores** a lo largo del tiempo en un proceso conocido como deriva. Las unidades de gama alta pueden determinar la rotación de la Tierra y trabajar de forma independiente, pero la mayoría de ellas se utilizan en combinación con receptores de GNSS.

Puesto que los errores aumentan con el tiempo, el enfoque ideal es la combinación de las mediciones del sensor IMU con las fijaciones de posición de GNSS en un filtro de Kalman que oriente la posición del cuerpo hacia las fijaciones de posición de GNSS de buena calidad, al tiempo que se consigue una tasa de actualización elevada entre ellas. Un ejemplo es el [sistema de navegación inercial \(INS\)](#), que obtiene la posición, orientación y velocidad del cuerpo sin necesidad de referencias externas. Este sistema puede cubrir cortes cortos del GNSS, ayudar a la resolución de ambigüedad RTK y ayudar a la detección y mitigación de errores de ciclo. En caso de una solución estrechamente acoplada, esto significa también que la posición puede obtenerse con menos de tres satélites visibles.

Los detalles técnicos sobre la IMU, la mecanización y la fusión de sensores también pueden consultarse en [Principles of GNSS, inertial, and multisensor integrated navigation systems](#) [«Principios de los sistemas integrados de navegación de GNSS, inercial y multisensor», publicación en inglés], P. Groves, Artech House, 2013.

#### 5.3.8.2 Situación y planes de optimización

Desde la primera IMU utilizable fabricada en la década de 1950 y la madurez alcanzada por la tecnología en torno a la década de 1980, el desarrollo se ha centrado desde entonces en la miniaturización y el desarrollo de IMS, tanto escasa y fuertemente acoplados, como basados en el filtro de Kalman. **Las IMU están muy extendidas en la actualidad, hasta el punto de que los móviles están alimentados con unidades de bajo coste**. La evolución actual es reducir el tamaño y el coste y aumentar el rendimiento utilizando nuevos materiales. La sección dedicada a la tecnología cuántica describe el desarrollo de un nuevo enfoque de *hardware* muy prometedor.

### 5.3.9 Navegación magnética

El uso de mapas magnéticos para la navegación se remonta a la navegación de misiles en los años 1960, cuando **se utilizaban los cambios en el terreno para determinar la posición del usuario**, comparando las lecturas continuas con el mapa morfológico registrado. Para que sean útiles para la navegación, estas observaciones deben ser estables a lo largo del tiempo y ofrecer diferencias suficientes para distinguir una zona de la otra.

#### 5.3.9.1 Características principales

La **navegación magnética** es una de las formas de navegación más antiguas. El núcleo magnético de la Tierra se utilizó para determinar el Norte y mantener el azimut constante. En cambio, el enfoque moderno se centra en las anomalías, ya que estas permanecen estables a lo largo del tiempo. La lectura magnética es la superposición de todas las fuentes magnéticas, es decir, el núcleo de la Tierra, su corteza y los efectos meteorológicos causados por el hombre y el espacio.

El **núcleo de la Tierra** (entre el 95 y el 99 % de toda la fuerza magnética), aunque está convenientemente descrito por los modelos existentes y es medible desde el espacio, tiene grandes longitudes de onda espaciales y una naturaleza variable en el tiempo, lo que hace que no sea adecuado para la navegación basada en mapas. El **campo magnético de la corteza de la Tierra** (entre el 1 y el 5 % del efecto magnético total) es muy estable y presenta diferencias locales. Este campo magnético difiere en todo el mundo y se extiende por debajo de los océanos, cubriendo toda la superficie terrestre. Los **efectos causados por el hombre** pueden dividirse en estáticos y variables en el tiempo. Solo los primeros son útiles para la navegación, y numerosas características duraderas de origen humano pueden ser útiles para determinar la ubicación. En este contexto, los **efectos meteorológicos espaciales** introducen el equivalente del ruido de medición.

Las **anomalías magnéticas** (es decir, la variación local en el campo magnético terrestre) son difíciles de medir. Además, las mediciones magnéticas deben propagarse al alza para altitudes superiores, ya que la potencia del campo magnético se rige por la ley de la inversa de los cuadrados de la distancia.

La fuerza magnética se mide mediante dos tipos de **instrumentos**. El de tipo escalar mide la intensidad del campo y el vectorial, como el magnetómetro «fluxgate», mide tres componentes ortogonales. Aunque este último es menos preciso, puede eliminar errores comunes (debido a efectos de origen humano o espacial) y proporcionar información espacial adicional. Lamentablemente, los mapas de gradientes son menos frecuentes que los mapas de anomalías.

Dado que los mapas no son exactos, la posición es la estimación probabilística (la función de probabilidad), lo que requiere información inicial previa. Con este enfoque, una única posición estática crea múltiples posiciones posibles. Cuando el usuario se mueve, la estimación se actualiza utilizando el filtro de partículas (PF) para converger, con el tiempo, en una única posición correcta.

#### 5.3.9.2 Situación y planes de optimización

Los resultados prácticos referentes a la navegación magnética indican que, si bien la **precisión en interiores es inferior al metro** y puede ser incluso decimétrica, el **rendimiento en exteriores varía de metros a cientos de metros**, lo que requiere una fusión con otros sensores. Del mismo modo, se constató que la demostración de vuelo con lectura magnética e IMU es eficiente y que la principal limitación es la elevación del vuelo (una precisión de unos pocos metros a diez metros por debajo de 1 km de altitud, pero a una altitud de 10 km la precisión se deteriora a cientos de metros). Es esencial contar con mapas de anomalías precisos y exactos a la altitud de vuelo o por debajo de ella.

La tecnología magnética está **madurando rápidamente**. Las empresas comerciales ofrecen servicios de localización y navegación, limitados a zonas específicas, utilizando datos magnéticos con otros sensores (conexión inalámbrica y Bluetooth, y ubicaciones precartografiadas). Otras empresas proponen estos servicios para que las aplicaciones ferroviarias determinen la vía y la ubicación actual del tren, mientras que otros usos incluyen el transporte marítimo con un posicionamiento absoluto por radar, que utiliza los rasgos extraídos de la lectura por radar y los coteja con gráficos de radar para identificar la posición del usuario. Todas **estas tecnologías requieren la fusión de sensores**.

### 5.3.10 Órbita terrestre baja (LEO)

Los sistemas de órbita terrestre baja (LEO) están constituidos por cientos o posiblemente miles de satélites que transmiten desde una altitud operacional de entre 400 y 1 500 km (evitando la reflexión debida a las discontinuidades atmosféricas y los efectos solares). Hasta hace poco, esta altitud era utilizada predominantemente por los satélites de telecomunicaciones (SatCom) de observación de la Tierra (EO) con una constelación no superior a 100 satélites. La LEO ofrece **baja latencia** y alta intensidad de la señal recibida (30 dB superior a la MEO) con una baja potencia de transmisión. Estas características hacen que este tipo de órbita sea interesante para las megaconstelaciones destinadas a ofrecer internet de banda ancha. El objetivo de los proveedores de banda ancha es utilizar la banda Ku de alta frecuencia, que debería poder ofrecer una velocidad de datos de entre 8 y 20 Gbps.

Un posicionamiento orbital tan próximo a la superficie terrestre **también presenta desventajas**, ya que la huella típica de un satélite (que es la zona terrestre que puede cubrir la antena transmisora) es mucho menor (se necesitan 9 LEO para cubrir la huella de un MEO). Además, la velocidad relativa del satélite con respecto al suelo es mucho mayor. El período orbital LEO es de unos 100 minutos, frente a las 12 horas en caso del tipo MEO. Esto significa que la cobertura terrestre completa requiere constelaciones mucho mayores.

El cuadro que figura a continuación es una selección no exhaustiva de los servicios LEO. Dado el relativamente modesto coste de notificación a la UIT y la ventaja prioritaria (sobre las notificaciones registradas más tarde), existe una tendencia a notificar sistemas aun cuando sus planes operativos aún no estén plenamente desarrollados, por lo que la lista que figura a continuación se basa en la percepción de proximidad de las constelaciones al mercado y a las megaconstelaciones de comunicación. Una omisión significativa en este cuadro es la de los satélites EO.

*Cuadro 18. Visión general de las constelaciones LEO*

Sistema	Número de satélites	Satélites en servicio (Agosto de 2022)	Altitud (km)
<a href="#">Iridium</a>	66	66	780
<a href="#">Kuiper</a>	3 236	0	590-630
<a href="#">Starlink</a>	4 409	2 268	540-570
<a href="#">OneWeb</a>	4 000	354	1 200
<a href="#">Kepler</a>	6 LEO + 24 MEO	0	7 600 + 29 600
<a href="#">Centispace</a>	120	2	975
<a href="#">XonaSpace</a>	300	1	975

Téngase en cuenta que los valores del cuadro pueden cambiar rápidamente.

#### 5.3.10.1 Características principales

Las constelaciones LEO prestan múltiples servicios; en particular, comunicación segura y conectividad de banda ancha para dispositivos inteligentes y vehículos conectados. **No incluyen una carga útil de navegación específica (excepto Iridium)** y, por lo tanto, hoy en día solo pueden proporcionar datos de aumentación a las señales de GNSS o es posible utilizar sus señales indirectamente para la navegación utilizando el enfoque de señales de oportunidad (SoO) y la navegación Doppler.

Actualmente, el único medio disponible para proporcionar posición y navegación desde una constelación LEO es utilizar la **navegación Doppler**, cuyo principal punto débil es la detección orbital y la sincronización temporal de las fijaciones (que se compensa parcialmente con el método de cálculo). El aumento del número de satélites LEO puede mejorar la precisión posicional (utilizando el enfoque SoO Doppler), pero no el suministro de tiempo.

**Iridium proporciona una señal de navegación específica que también proporciona sincronización temporal.** En 2016, [Satelles Time and Location \(STL\)](#) se constituyó como un consorcio formado por Iridium, Satelles Inc y

Boeing para prestar servicios de navegación global. La infraestructura del sistema es principalmente un segmento espacial, con un segmento terrestre limitado a una única estación de control (con un sistema de respaldo en caliente activo en un plazo de diez minutos) situada en los Estados Unidos y varias estaciones terrestres pasivas de vigilancia. Las señales de STL en el espacio se emiten en la frecuencia L1 (1 616-1 626 MHz).

Iridium está diseñado para que solo haya un solo satélite a la vista del usuario. Cada uno de los 66 satélites de Iridium tiene 48 haces puntuales. Para proporcionar capacidades de seguridad y resistencia al *spoofing*, cada haz transmite el mensaje de navegación con un código individual que cambia cada segundo. Puesto que existe un control total sobre los haces de STL, el mensaje de navegación puede limitarse a zonas específicas (lo que impide que no abonados reciban la señal en sus zonas). La complejidad y solapamiento de los patrones de los haces de los satélites, junto con técnicas de autenticación de señales, permiten a STL proporcionar una **capacidad de temporización** (en sincronía con UTC) **y localización de confianza, segura e independiente del GNSS**.

Las señales de STL se reciben en la superficie terrestre con una intensidad unas 1 000 veces (30 dB) superior a la del GNSS, lo que permite la recepción en **interiores**. Los satélites no llevan relojes atómicos a bordo. En su lugar, se calibran constantemente utilizando una estación terrestre y las capacidades intersatelitales de la constelación Iridium. Los abonados deben pagar una cuota de servicio.

### 5.3.10.2 Situación y planes de optimización

**STL** es la única tecnología madura y desplegada para prestar servicios de PNT. Puede proporcionar una hora fiable, con una precisión de 100-150 ns, regida por UTC(k). La **posición** es más difícil de obtener, y la solución actual es utilizar el efecto Doppler, que proporciona una precisión de unos 10 m a los usuarios estáticos. Una vez que se obtiene un punto fijo (que requiere hasta 20 minutos de convergencia si comienza en una posición desconocida), la posición puede obtenerse incluso con un solo satélite, pero con una precisión muy reducida de hasta decenas de metros. STL también puede incluir datos de asistencia en tiempo real para los relojes, órbitas y cargas útiles de mensajes de los satélites. Se prevé que los rápidos cambios de geometría mejoren la mitigación del multitrayecto, ya que su efecto medio será de unos minutos.

Para superar las principales limitaciones de la utilización de LEO para servicios de PNT completos (en contraposición a la provisión de temporización únicamente), es decir, para la determinación de las órbitas y la sincronización del tiempo, es deseable el uso de receptores de GNSS a bordo para estimar tanto la posición como el tiempo de la transmisión (pero, en ese caso, el servicio ya no es independiente del GNSS). Este enfoque, conocido como de **fusión LEO-PNT**, constituye el núcleo de **Xona Space**, cuyo servicio de PNT Pulsar presume de una precisión de metros. El primer satélite se lanzó como parte de la misión compartida de SpaceX en 2022 y se espera que el servicio esté operativo a finales de 2023. Todavía no se conoce el rendimiento real.

**Kepler** es un concepto para un sistema de PNT totalmente adaptado que utilice una combinación de satélites LEO y MEO. Como tal, este es completamente diferente de otros sistemas LEO analizados anteriormente, ya que se trata de un sistema adaptado a los servicios de PNT en lugar de una optimización o reutilización parcial de una infraestructura LEO diseñada originalmente para un ámbito diferente, por ejemplo, comunicaciones o acceso a internet de banda ancha. Kepler establece la sincronización mediante mediciones directas con enlaces ópticos y puede funcionar con total independencia de Galileo o en cooperación con él.

Por último, una opción alternativa consiste en aplicar un sistema de medición Doppler para cualquier señal transmitida por los satélites LEO o utilizar dichas señales como señales de oportunidad. Ambos enfoques son independientes del propietario del sistema, ya que cualquier persona puede utilizar estas observaciones. Sin embargo, existen limitaciones, ya que la técnica Doppler depende de un gran número de satélites visibles, mientras que la SoO del segmento terrestre específico (estación base).

### 5.3.11 Tecnologías cuánticas

Entre las tecnologías nuevas y emergentes que pueden ofrecer ventajas sustanciales a las aplicaciones de PNT, las que aprovechan los **efectos de la física cuántica son especialmente prometedoras**. No obstante, en la

mayoría de los casos siguen siendo necesarios varios años de desarrollo para que las nuevas tecnologías cuánticas tengan realmente el impacto esperado en las aplicaciones de PNT.

### 5.3.11.1 Relojes cuánticos

#### 5.3.11.1.1 Características principales

Se espera que los continuos avances en los relojes atómicos beneficien en gran medida a los sistemas de posicionamiento por satélite:

- Para la **infraestructura terrestre**, los relojes basados en la interferometría de átomos fríos pueden tenerse en cuenta para sustituir los conjuntos existentes de relojes de cesio y máseres de hidrógeno activo que se utilizan universalmente para generar el tiempo del sistema. Aunque los relojes de átomo frío han alcanzado una fase de desarrollo bastante madura y algunos productos comerciales empiezan a estar disponibles, su uso sigue estando limitado en gran medida a la comunidad científica.
- En el caso de la **infraestructura espacial**, la mejora de los relojes de los satélites mejorará el error en distancia al usuario de la señal en el espacio, pero en la actualidad las limitaciones relacionadas con su uso en el espacio restringen los posibles candidatos a relojes basados en iones, relojes de bombeo óptico por impulsos y, a más largo plazo, relojes atómicos ópticos basados en efectos no lineales como la absorción de dos fotones y la espectroscopia de transferencia de modulación.

Los relojes atómicos ópticos a escala de laboratorio ya se utilizan y contribuirán sin duda a la aplicación de una escala de tiempo metrológica: aunque los GNSS no necesitan una realización autónoma de esta escala de tiempo, es probable que se aprovechen de ella a través de protocolos de transferencia de tiempo basados en la transferencia bidireccional por satélite del tiempo y la frecuencia en fase portadora o en enlaces ópticos coherentes en el espacio libre o a través de fibra óptica.



Gráfico 61. Un reloj de átomo frío comercial (izquierda) y un prototipo de patrón óptico de frecuencia basado en la transición de dos fotones en el rubidio (derecha). Obsérvese que en este último no se incluye el peine de frecuencias necesario para traducir la frecuencia óptica estabilizada en una señal de microondas [Strangfeld 2021]

#### 5.3.11.1.2 Situación y planes de optimización

A más largo plazo, **pueden surgir nuevas arquitecturas de GNSS para la generación y distribución de tiempo a escala óptica** para aprovechar plenamente las propiedades de estabilidad de los relojes atómicos ópticos interconectados a través de enlaces ópticos entre satélites y de tierra a satélite.

Por ejemplo, un **futuro sistema podría basarse exclusivamente en infraestructuras espaciales**, sin necesidad de sensores o estaciones de carga distribuidas a escala mundial, necesarios para los GNSS actuales. La infraestructura espacial podría incluir satélites MEO y LEO, equipados, respectivamente, con láseres estabilizados con cavidades y relojes atómicos ópticos, adecuadamente interconectados con enlaces ópticos para proporcionar una sincronización mundial a nivel de picosegundos y mediciones de alcance con una precisión a nivel de  $\mu\text{m}$ . En principio, la única infraestructura terrestre necesaria es una estación óptica receptora para mantener el tiempo del sistema alineado con UTC. El proyecto [Kepler](#) muestra cómo los relojes atómicos ópticos pueden permitir futuras arquitecturas de GNSS con una **señal en el espacio aproximadamente 100 veces mejor**.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que, debido a la ionosfera, la troposfera y las perturbaciones de la interferencia multitrayecto, una señal en el espacio mejor no se traduce inmediatamente en una mejor precisión de posicionamiento para el usuario final. Es necesario mejorar sustancialmente técnicas complementarias, como el posicionamiento puntual preciso o la corrección diferencial en tiempo real, para que la generación y distribución de tiempo de GNSS a escala óptica redunden en beneficio de los usuarios finales. Además, se requerirá un proceso de miniaturización muy complejo para que los relojes atómicos ópticos alcancen las dimensiones de un chip y los requisitos de potencia compatibles con las pilas si se quiere utilizarlos en equipos portátiles de gama alta.

### 5.3.11.2 Sistemas cuánticos de navegación inercial

#### 5.3.11.2.1 Características principales

Los principios de la física cuántica también se están utilizando para la navegación, con el argumento de que el aprovechamiento de **propiedades atómicas fundamentalmente inalterables mejorará el rendimiento de deriva de las unidades inerciales**. La investigación se ha centrado en la siguiente tecnología:

- Los [giróscopos de resonancia magnética nuclear \(NMR\)](#), que explotan el espín y se desarrollaron por primera vez en la década de 1960, pero la competencia de los giróscopos de anillo láser y los giróscopos de fibra óptica dificultó su atractivo comercial. Solo recientemente se han divulgado nuevos dispositivos que aprovechan tecnologías de miniaturización para sistemas compactos aptos para la navegación a un coste competitivo.
- Los [giróscopos libres de relajación de intercambio de espín \(SERF\)](#), mucho menos investigados, basados en el espín electrónico de los metales alcalinos (cuya primera propuesta se remonta a 2005) y los que aprovechan el espín de las vacantes de nitrógeno en diamantes (en los últimos diez años). Ambos siguen siendo principalmente objeto de investigación académica.
- Los [giróscopos de interferencia de átomos fríos \(CAI\)](#), que hoy en día son los sistemas más prometedores para la navegación autónoma, explotan la estabilidad fundamental de la masa atómica para garantizar la inmunidad frente a las derivas, eliminando así cualquier necesidad de recalibraciones periódicas. Además, los sistemas basados en la CAI miden valores absolutos de la velocidad de aceleración y rotación y no variaciones con respecto a valores de referencia. A cambio de estas ventajas, el coste, el tamaño, el peso y la huella de potencia son elevados, ya que se requieren tecnologías facilitadoras complejas (sistemas de vacío, láseres y sistemas ópticos, electrónica de control, etc.) cuyo progreso constituye un factor clave para el desarrollo de sensores inerciales basados en CAI desplegables sobre el terreno.



Cuadro 19 ofrece una comparación entre estos giróscopos cuánticos y los MEMS y ESG convencionales. Los **giróscopos de microsistemas electromecánicos (MEMS)** se utilizan ampliamente en aplicaciones de consumo, pero es poco probable que alcancen los requisitos de deriva necesarios para la navegación autónoma. El rendimiento de los giróscopos mecánicos flotantes y de los giróscopos ópticos se acerca al límite determinado por los principios físicos subyacentes, y cualquier mejora supondrá un coste adicional elevado. Los **giróscopos suspendidos eléctricamente (ESG)** también se consideran un giróscopo de dos puntos de libertad en el que la bola del rotor se sostiene en un vacío mediante un campo eléctrico. Se prevé que los giróscopos atómicos (RMN, SERF y CAI) ganen competitividad con la categoría de navegación convencional para los sistemas de navegación inercial de próxima generación.

Cuadro 19. Comparaciones de giróscopos en función de los diferentes principios físicos [datos extraídos de Zhang 2016]

Categoría	Tipo	Deriva (°/h)	Tamaño (mm <sup>3</sup> )	Coste (USD)
Táctica	MEMS	1 000 – 0,1	< 100	< 100
Navegación	NMR	10 <sup>-2</sup>	10 - 10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup> - 10 <sup>4</sup>
	Láser de anillo	10 <sup>-2</sup> – 10 <sup>-3</sup>	~ 10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup> - 10 <sup>5</sup>
	Óptica de fibra	10 <sup>-2</sup> – 10 <sup>-3</sup>	10 <sup>5</sup> - 10 <sup>6</sup>	10 <sup>4</sup> - 10 <sup>5</sup>
Estratégica	Mecánico flotante	10 <sup>-3</sup> – 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>7</sup>	10 <sup>5</sup> - 10 <sup>6</sup>
	ESG	10 <sup>-4</sup> – 10 <sup>-5</sup>	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>8</sup>	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>7</sup>
	SERF	~ 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>7</sup>	< 10 <sup>5</sup>
	CAI	> 10 <sup>-5</sup>	~ 10 <sup>9</sup>	10 <sup>5</sup> - 10 <sup>6</sup>

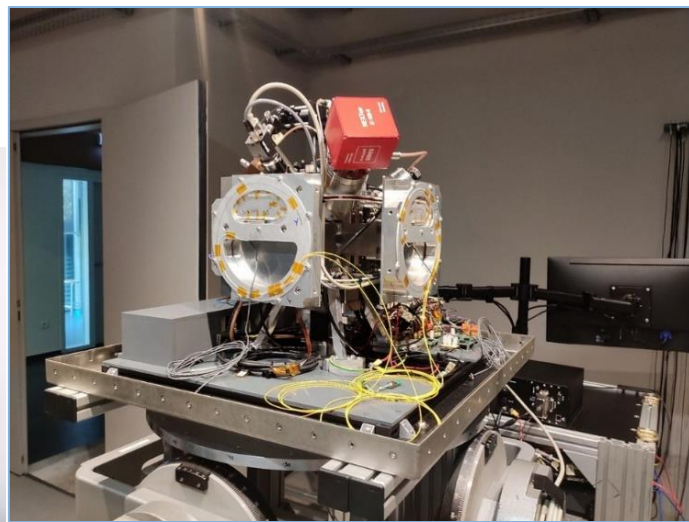


Gráfico 62. Prototipo de giróscopo RMN para aplicaciones tácticas fabricado por Northrop Grumman (izquierda) y una IMU de laboratorio basada en la hibridación de giróscopos de fibra óptica y acelerómetros CAI desarrollada por IXblue (derecha)

#### 5.3.11.2.2 Situación y planes de optimización

El camino hacia una IMU portátil basada en CAI de seis ejes lo suficientemente rápida, sólida y compacta como para ser utilizada para la **navegación inercial** requiere alcanzar un equilibrio entre las diferentes ventajas y desventajas y superar ciertos retos tecnológicos, para lo que probablemente sean necesarios **varios años de esfuerzos sostenidos**. Para aprovechar eficazmente la ausencia de deriva integrada en su principio de funcionamiento, deben desarrollarse y aplicarse tecnologías fiables y sólidas capaces de apoyar el funcionamiento autónomo a largo plazo en entornos difíciles.

Asimismo, cabe señalar que una IMU basada en CAI presenta inevitablemente intervalos de tiempo muerto durante los cuales tiene lugar el enfriamiento de los átomos y, por lo tanto, tendrá que funcionar de manera híbrida incorporando también dispositivos clásicos. Un enfoque alternativo podría ser el uso de sistemas CAI para proporcionar calibrado enchufable a acelerómetros y giróscopos rápidos y sensibles basados en otros principios de funcionamiento.

Los gravímetros de átomo frío de un solo eje utilizados para medir campos gravitacionales de variación lenta a lo largo de un solo eje ya están disponibles comercialmente (TRL = 9, es decir, sistema real probado en el entorno operativo), mientras que se han desarrollado varios prototipos de acelerómetros y giróscopos basados en CAI que han demostrado un TRL de entre 3 (prueba experimental de concepto) y 4 (tecnología validada en laboratorio).

Como última nota, cabe recordar que es probable que los sensores atómicos que se utilicen para la navegación inercial se consideren productos de doble uso y estén sujetos a restricciones a la exportación en virtud de la normativa ITAR estadounidense, como ya ocurre con los sistemas de alto rendimiento basados en efectos ópticos o mecánicos.

#### 5.3.11.3 Bibliografía

El lector interesado en un análisis más profundo puede consultar la siguiente bibliografía:

- G. Giorgi *et al.*, *Advanced technologies for satellite navigation and geodesy* [«Tecnologías avanzadas para la navegación por satélite y la geodesia», publicación en inglés], *Advances in Space Research* 64, 2019.
- W.R. Milner *et al.*, *Demonstration of a Timescale Based on a Stable Optical Carrier* [«Demostración de una escala temporal basada en una portadora óptica estable», publicación en inglés], *PRL* 123, 173201, 2019.
- B. Jadszliwer y J. Camparo, *Past, present and future of atomic clocks for GNSS* [«Pasado, presente y futuro de los relojes atómicos para GNSS», publicación en inglés], *GPS Solutions* 25:27, 2021.
- T. Schuldt *et al.*, *Optical clock technologies for global navigation satellite systems* [«Tecnologías de relojes ópticos para sistemas mundiales de navegación por satélite», publicación en inglés], *GPS Solutions*, vol. 25, n.º 83, 2021.
- Strangfeld *et al.*, *Prototype of a compact rubidium-based optical frequency reference for operation on nanosatellites* [«Prototipo de una referencia de frecuencia óptica compacta basada en el rubidio para su funcionamiento en nanosatélites», publicación en inglés], *Journal of the Optical Society of America B*, vol. 38, n.º 6, 2021.
- M. Schioppo *et al.*, *Comparing ultrastable lasers at  $7 \times 10^{-17}$  fractional frequency instability through a 2220 km optical fibre network* [«Comparación de láseres ultraestables a una inestabilidad de frecuencia fraccional de  $7 \times 10^{-17}$  a través de una red de fibra óptica de 2 220 km», publicación en inglés], *Nature Communications*, 13:212, 2022.
- Zhang *et al.*, *Inertial rotation measurement with atomic spins: From angular momentum conservation to quantum phase theory* [«Medición de la rotación inercial con espines atómicos: de la conservación del momento angular a la teoría de la fase cuántica», publicación en inglés], *Appl. Phys. Rev.* 3, 041305, 2016.
- M. Travagnin, *Cold atom interferometry for inertial navigation sensors - Technology assessment: space and defence applications* [«Interferometría de átomos fríos para sensores de navegación inercial. Evaluación tecnológica: aplicaciones espaciales y de defensa», publicación en inglés], JRC122785, EUR 30492 EN, 2020.
- M.J. Wright *et al.*, *Cold Atom Inertial Sensors for Navigation Applications*, *Frontiers in Physics* [«Sensores inerciales de átomos fríos para aplicaciones de navegación», publicación en inglés], presentada el 14 de julio de 2022.

### 5.3.12 Servicios de PNT mediante pulsares

Un **pulsar** (derivado de «radiofuente **pulsante**) es una **estrella de neutrones** con un intenso campo magnético que gira rápidamente y emite haces de radiación electromagnética desde sus polos magnéticos. La radiación electromagnética solo puede observarse cuando un cono de emisión apunta hacia la Tierra. Dado que las estrellas de neutrones son objetos muy compactos con períodos de rotación cortos y regulares, el **intervalo entre pulsos** es muy preciso y oscila entre milisegundos y segundos para un pulsar individual. La señal electromagnética (en particular en las bandas de radio, ópticas y X) emitida por los pulsares puede ser detectada por equipos especializados y cada pulsar puede identificarse a partir de la curva luminosa reconstruida a partir de la señal emitida. Por lo tanto, los pulsares no solo son una fuente de temporización precisa, sino que también pueden utilizarse para la navegación a escala galáctica. Esta idea fue propuesta por primera vez en el año 1974 por G. S. Downs.

#### 5.3.12.1 Características principales

Los pulsares fueron considerados en primer lugar para la **provisión de tiempo** (los pulsares de milisegundos ofrecen una estabilidad temporal comparable a la de los relojes atómicos). Esta idea ya se materializó con la instalación del primer reloj terrestre basado en pulsares en Gdansk (Polonia) en 2011 para conmemorar el cuarto centenario del nacimiento de [Johannes Hevelius](#). Desde entonces, se han instalado otros dispositivos, poniendo a prueba en la práctica el concepto de escala de tiempo basada en pulsares, concebidos como una combinación de observaciones de pulsares a largo plazo con los relojes locales ultraestables. De hecho, incluso la [simple combinación de un reloj atómico y las correcciones calculadas a partir de la observación de pulsares generan una escala de tiempo muy estable](#), independiente de otras entradas.

Aunque no todos los pulsares pueden utilizarse para obtener una temporización precisa, debido principalmente a la frecuencia, todos ellos son muy estables (algunos han sido objeto de seguimiento desde la década de 1970). Un aspecto interesante es que las **fuentes menos brillantes son más estables**. Cada pulsar tiene un perfil de transmisión único, en particular el período de repetición de los pulsos, que permite identificarlo. Esta característica llevó a que fuesen considerados candidatos para la navegación, en primer lugar por G. S. Downs.

El razonamiento principal fue que son visibles desde cualquier punto de la galaxia, y que varios pulsares (que pueden distinguirse en función de su frecuencia, al igual que los faros) pueden formar un conjunto de balizas cuya dirección de puntería es conocida.

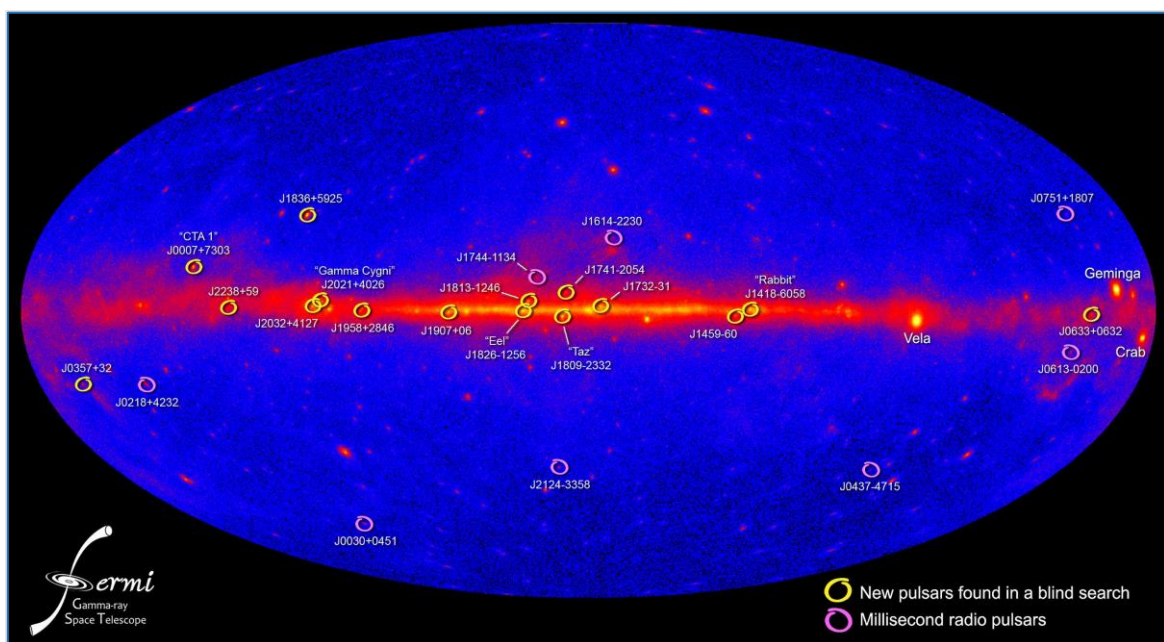


Gráfico 63. Pulsares conocidos, trazados a lo largo de la longitud y la latitud galácticas (fuente: dominio público de la NASA)

Desde entonces, varias misiones espaciales han observado e identificado miles de fuentes de rayos X, varias de las cuales han sido objeto de un seguimiento activo. Además, se identificaron otras señales de radio espaciales, como las explosiones de rayos gamma (GRB), que se recomiendan para la posición y la velocidad con fuentes de rayos X brillantes, y las ráfagas rápidas de radio (FRB), recomendadas para la navegación relativa. Los púlsares en la banda de radio también se utilizan activamente en estudios sobre las ondas gravitacionales.

### 5.3.12.2 Situación y planes de optimización

La mayor parte de los resultados relevantes fruto de la investigación proceden de la NASA y la ESA, que desarrollan capacidad y algoritmos. Se proponen dos **métodos de navegación** para vehículos espaciales:

- La navegación absoluta, que consiste en un solo satélite que intenta posicionarse con respecto a un punto de referencia inercial, como el baricentro del sistema solar (SSB). Esto requeriría una conexión esporádica entre el satélite y el control en tierra para actualizar la efemérides del pulsar, que podría cambiar ocasionalmente debido a las fallas en el púlsar (horizonte temporal de años) u otras irregularidades en la temporización.
- La navegación relativa, que implica que varios vehículos espaciales observen las mismas fuentes utilizando únicamente observaciones sobre el vehículo espacial implicado. También se propusieron observaciones diferenciales entre dos vehículos espaciales que vuelan en formación, con una distancia conocida.

La **navegación basada en púlsares beneficiaría principalmente a los sistemas destinados al espacio lejano** y a los desplazamientos interplanetarios. La mayoría de los sistemas de navegación espacial existentes funcionan utilizando la telemetría y la temporización y navegación basadas en púlsares por rayos X (XNAV) podría reducir significativamente los costes y ofrecer flexibilidad debido a una mayor precisión. El aspecto más atractivo es la amplia disponibilidad de las señales y la falta de mantenimiento (la navegación solo requiere actualizaciones ocasionales de las efemérides de cada púlsar identificado). Los sensores de rayos X son muy resistentes al ruido en otras frecuencias, lo que resulta muy útil para las aplicaciones espaciales. Solo se tienen en cuenta para la navegación los púlsares que transmiten en esas frecuencias, aunque se están estudiando otras gamas de frecuencias.

Un estudio realizado por la ESA en 2004 constató que la observación de un único púlsar, estimando la distancia, requiere un tamaño de antena moderado (10 m<sup>2</sup>) y un tiempo de integración de la señal de una hora aproximadamente. También llegó a la conclusión de que la navegación y la temporización basadas en púlsares por rayos X (XNAV) podrían ofrecer una precisión de 1 000 km para las misiones espaciales. Dado que el sistema completo requeriría varias antenas para las observaciones síncronas de múltiples púlsares, el peso total del sistema se consideró excesivo para el vehículo espacial.

Desde entonces, se han completado varios ensayos y demostraciones de *hardware*. En 2016, China puso en marcha una misión experimental de demostración sobre la navegación basada en púlsares por rayos X que reveló una medición y resolución de temporización a nivel de microsegundos con respecto a un único púlsar. Aún falta por miniaturizar el *hardware* y los cálculos para el procesamiento de señales siguen siendo intensivos desde el punto de vista informático. Un estudio reciente de la ESA junto con la Universidad de Padua aumenta la precisión calculada hasta un nivel por debajo del kilómetro, reduciendo asimismo el tamaño de la carga útil, el peso y la potencia (SWAP, que se estima en 10 kg de masa sobre un volumen de 30x30x30 cm y un consumo de 10 W).

La ESA está llevando a cabo otros estudios enfocados a la navegación interplanetaria en los que se busca reducir el número de antenas a una sola a expensas de operaciones de vehículos espaciales más complicadas para adquirir secuencialmente las señales púlsar. Los investigadores también prevén que las mediciones de púlsares en el rango de RF podrían utilizarse en el futuro para la navegación en la Tierra, especialmente en determinados casos de uso en los que el tamaño de la antena podría no ser un problema. Puede obtener más información en el artículo [Use of pulsars for ship navigation: an alternative to the sextant](#) [«Utilización de púlsares para la navegación de buques: una alternativa al sextante», publicación en inglés].

## 5.4 Resumen de las fortalezas, las debilidades, las oportunidades y las amenazas

		FORTALEZAS	DEBILIDADES	OPORTUNIDADES	AMENAZAS
TECNOLOGÍAS EMERGENTES	White Rabbit	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Tecnología probada y acreditada, fácil de aplicar y gestionar.</li> <li>— Suministrada tanto por pequeñas empresas como por grandes empresas de la UE.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Requiere una infraestructura troncal y una fibra ininterrumpida de extremo a extremo.</li> <li>— Es posible que sea necesario modernizar la infraestructura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Innovación respecto de la tecnología existente.</li> <li>— La UE es el principal proveedor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Aún no se ha acordado el uso comercial de la red científica existente.</li> </ul>
	Distribución de tiempo a través de redes informáticas	<ul style="list-style-type: none"> <li>— No es necesario que la red sea homogénea y la infraestructura existente puede utilizarse la mayor parte del tiempo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— El presupuesto de error de los enlaces troncales exigirá que internet comercial (cantidad garantizada de ancho de banda) no sea el mejor esfuerzo.</li> <li>— Los enlaces de microondas podrían ser objeto de <i>jamming</i>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— El número de conexiones aumenta naturalmente con los mercados emergentes, como el internet de las cosas, las ciudades inteligentes o el transporte.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— La red no debe extrapolarse, sino interpolarse (diseñada para apoyar la expansión).</li> <li>— El presupuesto de error de la red podría tener que ser excesivamente conservador.</li> </ul>
	Pseudolitos	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Señales específicas y cifradas diseñadas para posicionamiento de alta precisión en interiores y exteriores utilizando niveles de potencia bajos.</li> <li>— Algunas tecnologías son resistentes al multitrayecto con antenas Vray con formación de haces específicas.</li> <li>— El sistema de radiodifusión no tiene limitaciones de capacidad.</li> <li>— Resistente a los fallos locales y del sistema, algunas tecnologías están certificadas para aplicaciones de seguridad de la vida humana.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— La precisión se basa en la geometría, en función de la colocación de los transeptores, por lo que la estimación de la altura es menos fiable.</li> <li>— El número de unidades no se escala bien con la zona y la red debe desplegarse alrededor de la zona de servicio deseada.</li> <li>— El tiempo UTC requiere una sincronización externa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— El despliegue es fácil y el coste de mantenimiento bajo.</li> <li>— Uso comercial establecido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— La frecuencia utilizada puede ser utilizada por cualquier persona sin restricciones (inalámbrica) o requiere permisos específicos.</li> <li>— Los componentes terrestres pueden ser atacados físicamente y necesitan energía.</li> </ul>
	5G y redes celulares	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Sobre la base de la infraestructura existente, proporcionando servicios de PNT completos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— En la actualidad, toda la información sobre la posición se basa en la fusión de sensores con GNSS.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Mercado de masas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— El aspecto PNT no está bien desarrollado en la propuesta de plataforma.</li> </ul>
	Modo R	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Utiliza la infraestructura radioeléctrica existente.</li> <li>— Permite el posicionamiento, la temporización y los controles de integridad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— La cobertura se limita a las aguas costeras y el hecho de que la geometría se vea forzada por el litoral puede ser un reto.</li> <li>— No soporta aplicaciones de alta precisión.</li> <li>— El sistema y el servicio están en fase de desarrollo y la sincronización independiente del GNSS es difícil.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Puede colmar la laguna del componente terrestre del sistema marítimo PNT.</li> <li>— Basado en radioservicios comunes mundiales marítimos y costeros; también puede ser escalable en todo el mundo a lo largo de las principales rutas de transporte marítimo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Depende de la disponibilidad de la infraestructura radioeléctrica existente.</li> <li>— La normalización debe finalizarse en los próximos 5 a 10 años.</li> </ul>

Gráfico 64. Resumen de las fortalezas, las debilidades, las oportunidades y las amenazas de las tecnologías emergentes



		FORTALEZAS	DEBILIDADES	OPORTUNIDADES	THREATS
		EMERGING TECHNOLOGIES (cont.)	Navegación basada en imágenes	— Tecnología probada.	— Se requiere una calibración específica del <i>hardware</i> .
	Navegación basada en dispositivos móviles	— Se trata de un servicio ubicuo ya disponible en los dispositivos móviles.	— El rendimiento no es homogéneo y depende del terminal. — La tecnología la desarrolla una empresa distinta de la del fabricante de terminales.	— Se destina al mercado de masas y se ha sometido a ensayo bajo diversas condiciones comerciales.	— Desarrollada por una sociedad mercantil (Google, Apple) como oferta de valor añadido.
	Navegación a estima e IMU	— Navegación pasiva a escala mundial, todas las actitudes y cualquier meteorología. — Fiable y fácil de manejar; con una reacción rápida.	— El ruido mecánico y los errores aumentan exponencialmente. — Soluciones de menor coste en función de la disponibilidad y la calidad de la información adicional.	— Algunas de las aplicaciones pueden abordarse mediante <i>hardware</i> de bajo coste. — Inmune al <i>spoofing</i> . — Coste relacionado con el rendimiento de la unidad.	— Coste de las unidades de gama alta. — GNSS requerido en la fusión de sensores para la posición global.
	Mapas medioambientales	— No requiere infraestructura.	— Calidad de los mapas subyacentes. — Algunas tecnologías requieren visibilidad del cielo.	— Difícil de atacar mediante <i>spoofing</i> . — Equipos informáticos comercialmente disponibles.	— La calidad de los mapas subyacentes no es coherente. — La localización y mapeo simultáneos (SLAM) no son eficientes a la hora de actualizar los datos / los usuarios no quieren compartir datos.
	Órbita terrestre baja (LEO)	— No requiere infraestructura. — Señal 30 dB superior a MEO, el retraso temporal es comparable al de la infraestructura terrestre.	— Se necesita un gran número de satélites y un gran Doppler de constelación. — Aparte de Iridium, no se utiliza ninguna señal PNT específica.	— Despliegue rápido de las actualizaciones, ya que los satélites tienen una vida útil limitada para las nuevas LEO. — Con tantas señales podrían desarrollarse otros enfoques de «señal de oportunidad».	— Podría resultar demasiado caro desplegar el servicio de PNT además del servicio de comunicaciones. — El número propuesto de satélites podría crear problemas en el futuro. — Las estimaciones orbitales no son suficientemente precisas.
	Tecnologías cuánticas	— Basadas en propiedades físicas fundamentales inalterables.	— Se requieren tecnologías facilitadoras complejas.	— Mejora de una amplia gama de prestaciones.	— Coste elevado, aceptación por parte de los usuarios finales.
	Servicios de PNT mediante pulsares	— Pueden utilizarse en cualquier punto del espacio y solo requieren almanaque actualizados periódicamente.	— Requieren un reloj <i>holdover</i> y antenas alineadas con precisión para cada pulsar objeto de seguimiento (en cada dirección).	— Servicios PNT completos para las misiones espaciales. — Operaciones de Tiempo para la Tierra.	— Coste y tamaño del <i>hardware</i> . — No se han realizado ensayos de demostración.

Gráfico 65. (Cont.) Resumen de las fortalezas, las debilidades, las oportunidades y las amenazas de las tecnologías emergentes



## 6 APÉNDICE B: servicios de PNT resilientes

Como se muestra en la sección 4, los servicios de posicionamiento, navegación y temporización (PNT) son vitales para la sociedad y la economía de la UE, ya que permiten disponer de información precisa sobre el tiempo y la ubicación para las infraestructuras críticas, el mercado profesional y de masas, así como las aplicaciones de seguridad de la vida humana y críticas desde el punto de vista de la responsabilidad.

Las perturbaciones o fallos en los servicios de PNT pueden tener graves consecuencias, en particular pérdidas financieras y riesgos para la seguridad, lo que pone de relieve la importancia de contar con servicios de PNT resilientes. La información temporal inexacta puede causar perturbaciones en las redes eléctricas, los mercados financieros y las redes de comunicaciones; del mismo modo, la información incorrecta sobre la ubicación puede dar lugar a accidentes en los sistemas de transporte y logística.

Teniendo en cuenta que el nivel de protección debe variar en función del carácter crítico de la aplicación, unos servicios de **PNT resilientes** requieren detección de amenazas, mecanismos de respuesta adecuados y una rápida recuperación del servicio. Exigen el desarrollo de nuevos equipos (por ejemplo, antenas), programas informáticos (nuevos algoritmos) y sistemas alternativos.

La visión de la UE aboga por un sistema de sistemas de PNT para lograr servicios de PNT resilientes, lo que pasa por los siguientes elementos:

- **Redundancia:** los servicios de PNT deben contar con sistemas redundantes y mecanismos de respaldo para garantizar la continuidad en caso de fallos o perturbaciones.
- **Diversidad:** los servicios de PNT deben utilizar múltiples fuentes de datos y señales para aumentar la fiabilidad.
- **Seguimiento, pruebas y mantenimiento:** El seguimiento, las pruebas y el mantenimiento periódicos de los sistemas de PNT son cruciales para detectar, determinar y abordar cualquier problema antes de que dé lugar a un fallo.
- **Seguridad/ciberseguridad:** los sistemas de PNT deben diseñarse con medidas sólidas de seguridad y ciberseguridad que ofrezcan protección contra ataques deliberados y aseguren la integridad de la información.
- **Marco de referencia común respecto de la posición y el tiempo:** para evitar la acumulación de errores al combinar servicios de PNT, ya que los distintos servicios de PNT proporcionan el tiempo y la posición en marcos de referencia y sistemas de tiempo potencialmente diferentes.
- **Normas y reglamentos:** La normalización y la regulación de los servicios de PNT pueden contribuir a garantizar que se diseñen, desplieguen y utilicen de manera que cumplan requisitos específicos de rendimiento y fiabilidad, a saber:
  - Normas/directrices **para evaluar el rendimiento de los servicios de PNT**, incluidos los casos y procedimientos de ensayo.
  - Normas/directrices con **requisitos mínimos de rendimiento** para los ámbitos de aplicación (por ejemplo, aviación, transporte marítimo, aplicaciones de temporización, etc.).
  - Normas/directrices (ensayos y rendimiento mínimo) **para técnicas de detección y mitigación de interferencias y spoofing**.
- **Educación y sensibilización** de los usuarios y diseñadores sobre la importancia de los servicios de PNT, junto con sus riesgos y amenazas potenciales.

Si se tienen en cuenta todos los elementos descritos anteriormente, los servicios de PNT serán más resilientes y sus usuarios mitigarán los riesgos de perturbaciones y fallos y garantizarán la continuidad de sus operaciones.

## 7 APÉNDICE C: Reglamentos y normas

En el siguiente cuadro se resume la lista de actividades señaladas en la sección 3.4 para facilitar la adopción de los EGNSS en los distintos segmentos del mercado:

*Cuadro 20. Resumen de las actividades para la adopción de los EGNSS (principalmente reglamentos y normas)*

Segmento de mercado	Sistema	Elemento	Organización	Título	Plazo	Observaciones
Todos	GNSS	Norma		Técnicas de detección y mitigación de interferencias y <i>spoofing</i>	Lo antes posible	Amenaza creciente de interferencias y <i>spoofing</i>
Aviación tripulada	EGNOS	Norma	EUROCAE	Norma de rendimiento operativo mínimo para equipos embarcados en sistemas de aumentación basados en satélites	2023	ED-259A, incluidos los procedimientos de ensayo
Aviación tripulada	EGNOS	Norma	EUROCAE	Norma de rendimiento operativo mínimo para equipos embarcados en sistemas de aumentación basados en satélites	2024	ED-259B, incluidos H-ARAIM y escenarios institucionales
Aviación tripulada	Galileo/EGNOS	Norma	OACI	Normas y métodos recomendados (SARP) de la OACI, anexo 10 del Convenio de Chicago, volumen 1, enmienda 93.	2023	Modificación del anexo 10 de la OACI, incluidos SARP sobre DFMC SBAS y Galileo.
Aviación tripulada	Galileo/EGNOS	Norma	OACI	Normas y métodos recomendados (SARP) de la OACI, anexo 10 del Convenio de Chicago, volumen 1, versión actualizada.	2024	Modificación del anexo 10 de la OACI, incluido ARAIM.
Aviación tripulada	Galileo/EGNOS	Norma	OACI	Normas y métodos recomendados (SARP) de la OACI, anexo 10 del Convenio de Chicago, volumen 1, versión actualizada.	2026	Modificación del anexo 10 de la OACI, incluida la autenticación.

Segmento de mercado	Sistema	Elemento	Organización	Título	Plazo	Observaciones
Aviación tripulada	Galileo	Norma	OACI	Normas y métodos recomendados (SARP) de la OACI, anexo 10 del Convenio de Chicago, volumen 1, versión revisada.	2029	Modificación del anexo 10 de la OACI para introducir DFMC GBAS con capacidad de multiconstelación y posiblemente multifrecuencia.
Aviación tripulada	DME (para servicios de PNT resilientes)	Norma	EUROCAE	Especificación de performance mínima de los sistemas de aeronave para la performance de navegación requerida para la navegación de área	Junio de 2022	ED-75E
Aviación tripulada	DME (para servicios de PNT resilientes)	Norma	EUROCAE	Norma de rendimiento operativo mínimo para equipos de medición de distancia (DME/N y DME/P) (equipos de tierra)	2023	ED-57A
Aviación tripulada	DME (para servicios de PNT resilientes)	Norma	EUROCAE	Especificación de performance mínima de los sistemas de aeronave (MASPS) para la infraestructura DME de apoyo al posicionamiento PBN	2023	Nuevo documento
Aviación no tripulada	Galileo/EGN OS	Directrices	EUROCAE	ED-301 Directrices para el uso de soluciones multi-GNSS para la categoría específica de UAS: operaciones de bajo riesgo SAIL I y II	Agosto de 2022	Cubre el uso de GNSS para operaciones con drones de bajo riesgo
Aviación no tripulada	Galileo/EGN OS	Directrices	EUROCAE	Directrices para el uso de soluciones multi-GNSS para UAS: riesgo medio	2024	Cubre el uso de GNSS para operaciones con drones de riesgo medio

Segmento de mercado	Sistema	Elemento	Organización	Título	Plazo	Observaciones
Marítimo	EGNOS	Norma	CEI	Norma de ensayo equipos receptores (L1) SBAS a bordo	2023	<a href="#">IEC 61108-7</a>
Marítimo	EGNOS	Reglamento	UE	Actualización del <a href="#">Reglamento (UE) 2022/1157, relativo a los requisitos de diseño, construcción y rendimiento y a las normas de ensayo para los equipos marinos</a> , para incluir SBAS (L1)	2023-2024	Un año después de la norma de ensayo SBAS  La actualización del Reglamento debe incluir la mención a IEC 61108-7, IEC 61108-1, IMO MSC 401 e IMO MSC 112.
Marítimo	Galileo	Norma	OMI	Actualización de la norma de rendimiento para los equipos receptores Galileo a bordo de buques	2023-2024	Actualización del proyecto de propuesta IMO MSC 233 presentado para información al NCSR 10 de la OMI
Marítimo	Galileo	Norma	CEI	Actualización de la norma de ensayo para los equipos receptores Galileo a bordo de buques	2025-2026	Actualización de IEC 61108-3
Marítimo	Galileo	Reglamento	UE	Actualización del <a href="#">Reglamento (UE) 2022/1157, relativo a los requisitos de diseño, construcción y rendimiento y a las normas de ensayo para los equipos marinos</a> , para incluir Galileo	2025-2026	Actualización de la Resolución MSC de la OMI e IEC 61108-3, versión 2.0
Marítimo	EGNOS	Norma	OMI	Norma de rendimiento para equipos receptores DFMC SBAS + ARAIM a bordo de buques	2025	Propuesta que se presentará en el MSC 107 en mayo de 2023
Marítimo	EGNOS	Norma	CEI	Norma de ensayo para equipos receptores DFMC SBAS + ARAIM a bordo de buques	2027	Dos años después de la norma de rendimiento DFMC SBAS + ARAIM
Marítimo	EGNOS	Reglamento	UE	Actualización del <a href="#">Reglamento (UE) 2022/1157, relativo a los requisitos de diseño, construcción y rendimiento y a las</a>	2027-2028	Un año después de la norma de ensayo DFMC SBAS + ARAIM

Segmento de mercado	Sistema	Elemento	Organización	Título	Plazo	Observaciones
				<a href="#">normas de ensayo para los equipos marinos</a> , para incluir DFMC SBAS + ARAIM		
Vías navegables interiores	Galileo/EGNOS	Reglamento	UE	Actualización de la <a href="#">norma europea para los servicios de información fluvial, ES-RIS 2021/1</a>	Cada dos años	Podrán incluirse disposiciones específicas sobre PNT y GNSS.
Vías navegables interiores	Galileo/EGNOS	Acción preparatoria	UE	Datos espaciales de la UE para buques autónomos en vías navegables interiores	2023-2025	Evaluará cómo los datos espaciales de la UE procedentes de Galileo, EGNOS y Copernicus pueden ser facilitadores clave de la transformación digital.
Ferrocarril	Galileo/EGNOS	Norma	AFE	Especificación técnica de interoperabilidad	2022-2028/2029	Norma para cumplir los requisitos esenciales y garantizar la interoperabilidad del sistema ferroviario de la UE.
Transporte por carretera	EGNOS	Norma	ETSI 3GPP	Actualización de la norma 3GPP	2024	Desarrollar las normas 3GPP para que sean compatibles con los mensajes MOPS para la difusión de señales de GNSS DFMC a través de la red móvil.
Transporte por carretera	Galileo	Norma	ETSI/CEN	Norma de ensayo para GNSS + HAIS	2024	Conjunto de ensayos y bases de datos normalizados (e idealmente certificados) relacionados con IGNSS + HAIS que se utilizarían para la certificación de servicios.

Segmento de mercado	Sistema	Elemento	Organización	Título	Plazo	Observaciones
Transporte por carretera	Galileo/EGNOS	Norma	ISO	Sistemas de transporte inteligentes. Servicio de sistemas de conducción automática de baja velocidad (LSADS). Parte 2: Análisis de carencias	2023-2024	
Transporte por carretera	Galileo/EGNOS	Norma	ISO	Sistemas de transporte inteligentes. Posicionamiento fluido para el transporte multimodal en estaciones ITS. Parte 1: Información general y definición de casos de uso	2024-2025	
Transporte por carretera	Galileo/EGNOS	Norma	ISO	Peaje electrónico. Comunicaciones de aumento de localización para sistemas autónomos.	2024-2025	
Temporización	Galileo	Norma	CEN/CENELEC JTC5	Normas para el receptor de tiempo de Galileo	2024-2025	



## 8 APÉNDICE D: Principales partes interesadas de la UE en el ámbito de los servicios de PNT

### *Comisión Europea*

La Comisión Europea representa el interés general de la Unión Europea y es la fuerza motriz a la hora de proponer legislación al Parlamento Europeo y al Consejo, gestionar y aplicar las políticas de la UE, hacer cumplir el Derecho de la UE conjuntamente con el Tribunal de Justicia y negociar en la escena internacional. En el marco de los programas de los GNSS europeos, la [Comisión Europea](#) tiene la **responsabilidad general** de la ejecución del [Programa Espacial de la UE](#), también en el ámbito de la seguridad. La Comisión Europea **determinará las prioridades y la evolución a largo plazo** del Programa, en consonancia con las demandas de los usuarios, y **supervisará** su ejecución.

La [Dirección General de Industria de Defensa y Espacio](#) dirige las actividades de la Comisión Europea en estos sectores. La Comisión Europea garantizará un claro reparto de tareas y responsabilidades entre las diferentes entidades que participan en el Programa y coordinará las actividades de estas entidades. La Comisión velará asimismo por que todas las entidades a las que se les hayan confiado tareas y que participen en la ejecución del Programa protejan los intereses de la Unión Europea, garanticen la buena gestión de los fondos de la Unión Europea y cumplan el [Reglamento Financiero](#).

Los servicios de la Comisión Europea y las agencias ejecutivas tienen su sede en Bruselas (Bélgica) y Luxemburgo.

### *Agencia de la Unión Europea para el Programa Espacial (EUSPA)*

La EUSPA es la [Agencia operativa de la Unión Europea para el Programa Espacial](#), con sede en Praga. Su misión principal es ejecutar el Programa Espacial de la Unión y prestar servicios espaciales fiables, seguros y protegidos, maximizando sus beneficios socioeconómicos para la sociedad y las empresas europeas.

En cuanto a las actividades de Galileo y EGNOS, las tareas principales de la EUSPA consisten en garantizar la **acreditación de seguridad** de dichos sistemas y llevar a cabo actividades de **comunicación, desarrollo del mercado y promoción** en lo que respecta a sus servicios. Las tareas encomendadas a la EUSPA consisten en **gestionar el funcionamiento de EGNOS y Galileo** y llevar a cabo actividades relacionadas con el **desarrollo de aplicaciones y servicios del segmento de usuario** basados en los datos y servicios proporcionados por Galileo y EGNOS.

La EUSPA tiene su sede en Praga (Chequia).

### *Agencia Espacial Europea (ESA)*

La [Agencia Espacial Europea \(ESA\)](#) es una organización internacional con veintidós Estados miembros y acuerdos formales de cooperación con todos los Estados miembros de la Unión Europea que no son miembros de la ESA. El objetivo de la AEE es asegurar y desarrollar, con fines exclusivamente pacíficos, la cooperación entre Estados europeos en los campos de la investigación y de la tecnología espaciales y de sus aplicaciones espaciales, con vistas a su utilización con fines científicos y para sistemas espaciales operacionales de aplicaciones.

En lo tocante a Galileo y EGNOS, se han encomendado a la ESA las tareas relacionadas con la **evolución de los sistemas, el diseño y el desarrollo** de partes del segmento terrestre y de satélites, incluidas las pruebas y la validación, y las actividades de investigación y desarrollo del segmento de vuelo en los ámbitos de especialización de la ESA.

En paralelo a la labor referente a Galileo y EGNOS, la ESA está llevando a cabo varios programas de I+D destinados a preparar la tecnología de los principales sistemas y sus aplicaciones. Los dos principales programas de la ESA en este ámbito relacionados con los sistemas y servicios de PNT son el [Programa de Evolución de los GNSS Europeos \(EGEP\)](#) y el [Programa de Innovación y Apoyo a la Navegación \(NAVISP\)](#).

La ESA tiene su sede en París (Francia).

## Agencia Europea de Seguridad Aérea (AESA)

Integrada por 31 Estados miembros (los 27 Estados miembros de la Unión Europea más Suiza, Noruega, Islandia y Liechtenstein), la [Agencia Europea de Seguridad Aérea \(AESA\)](#) es una **agencia de la Unión Europea** a la que se han encomendado **tareas específicas de reglamentación y ejecución** en el ámbito de la **seguridad aérea**.

La **misión** de la AESA consiste en promover las **normas comunes más estrictas de seguridad y protección del medio ambiente** en la aviación civil. La AESA elabora normas comunes en materia de seguridad y medio ambiente a escala europea y asiste a la Comisión Europea con medidas para la aplicación de dichas normas y proporcionando el apoyo técnico, científico y administrativo necesario para llevar a cabo sus tareas. La AESA supervisa asimismo la aplicación de las normas mediante inspecciones en los Estados miembros y proporciona los conocimientos técnicos, la formación y la investigación necesarios.

La AESA tiene su sede en Colonia (Alemania).

## Eurocontrol

[Eurocontrol](#) es una organización internacional civil y militar paneuropea dedicada a **apoyar la aviación europea**, que trabaja en pro de una gestión del tránsito aéreo paneuropea sin fisuras. Cuenta con 41 Estados miembros con una **experiencia europea vital en gestión del tránsito aéreo (ATM)** que lideran y promueven las mejoras de la gestión del tránsito aéreo en toda Europa. Entre sus actividades, Eurocontrol apoya a la Comisión Europea, la AESA y las autoridades nacionales de supervisión en sus actividades reguladoras, incluida la aplicación de las tecnologías de GNSS.

Eurocontrol tiene su sede en Bruselas (Bélgica).

## Empresa Común SESAR

La [Empresa Común SESAR](#) se creó como asociación público-privada en virtud del [Reglamento \(CE\) n.º 219/2007 del Consejo](#). El [Reglamento \(UE\) 2021/2085 del Consejo](#) marcó la puesta en marcha oficial de la Empresa Común SESAR 3, que reúne a la **UE, Eurocontrol y a más de cincuenta organizaciones de aviación** (civiles y militares, proveedores de servicios de navegación aérea, aeropuertos, fabricantes de equipos, autoridades y la comunidad científica).

La **Empresa Común SESAR es responsable de la modernización del sistema europeo de gestión del tránsito aéreo** mediante la coordinación de todos los esfuerzos de investigación e innovación pertinentes en materia de ATM en la UE. Es responsable asimismo de la ejecución del [Plan Maestro de Gestión del Tránsito Aéreo Europeo](#) y de llevar a cabo actividades específicas destinadas a desarrollar un sistema ATM de nueva generación capaz de garantizar un transporte aéreo europeo seguro, ecológico y fluido durante los próximos treinta años. La Empresa Común SESAR 3 invertirá más de 1 600 millones EUR entre 2022 y 2030 para acelerar, a través de la investigación y la innovación, la consecución de un Cielo Digital Europeo inclusivo, resiliente y sostenible.

La Empresa Común SESAR tiene su sede en Bruselas (Bélgica).

## Agencia Europea de Seguridad Marítima (AESM)

La [Agencia Europea de Seguridad Marítima \(AESM\)](#) proporciona respaldo técnico y apoyo a la Comisión Europea y a los Estados miembros, Islandia y Noruega en **el desarrollo y la aplicación de la legislación de la UE en materia de seguridad marítima**, contaminación por buques, instalaciones de petróleo y gas, lucha contra la contaminación por hidrocarburos, protección de buques y puertos, vigilancia de buques e identificación y seguimiento a gran distancia de buques.

La AESM **garantiza la verificación y el seguimiento de la aplicación de la legislación y las normas de la UE**. La Agencia proporciona respaldo técnico y asesoramiento científico sobre cuestiones relativas a las normas de seguridad de los buques, y apoya el desarrollo de capacidades proporcionando conocimientos especializados, formación e investigación, cooperación y herramientas. La AESM también participa en la difusión de las mejores prácticas y en la promoción del transporte marítimo sostenible, incluida la aplicación y el cumplimiento de la

legislación internacional y de la UE vigente o propuesta, y **colabora con numerosas partes interesadas del sector y organismos públicos**, en estrecha cooperación con la Comisión Europea y los Estados miembros.

La AESM tiene su sede en Lisboa (Portugal).

### **Agencia Ferroviaria de la Unión Europea (AFE)**

La misión de la [Agencia Ferroviaria de la Unión Europea \(AFE\)](#) es hacer que Europa avance hacia un sistema ferroviario sostenible y seguro sin fronteras. Para ello, la **AFE contribuye en el aspecto técnico a la aplicación de la legislación de la Unión Europea** que persigue mejorar la posición competitiva del sector ferroviario **aumentando el grado de interoperabilidad de los sistemas ferroviarios**, desarrollar una estrategia común en materia de seguridad del sistema ferroviario europeo y contribuir a la creación de un espacio ferroviario europeo único sin fronteras en el que esté **garantizado un nivel elevado de seguridad**.

**Los sistemas de navegación y posicionamiento de trenes basados en aplicaciones por satélite son componentes futuros del subsistema ferroviario de control-mando y señalización.** En consecuencia, la AFE establece las normas para su aprobación, en cooperación con ensayos realizados por los operadores ferroviarios, y el desarrollo del sistema, que tiene lugar bajo los auspicios de la Empresa Común [Shift2Rail](#), a la que está asociada la AFE, como primera iniciativa ferroviaria europea para buscar tanto la investigación e innovación como soluciones impulsadas por el mercado, acelerando la integración de tecnologías nuevas y avanzadas en soluciones innovadoras de productos ferroviarios.

La AFE tiene su sede en Valenciennes y Lille (ambas en Francia).

### **Foro Europeo de Radionavegación Marítima (FERM)**

El Foro Europeo de Radionavegación Marítima (FERM) **representa los intereses marítimos en Europa y aporta el punto de vista de expertos a la política europea** en materia de seguridad de la navegación y cuestiones conexas.

El FERM reúne a diferentes organismos, desde administraciones marítimas hasta organizaciones de armadores, para centrarse en la coordinación de los **intereses marítimos europeos en el ámbito de los sistemas de radionavegación** para su desarrollo en Europa. En particular, en el caso de los sistemas mundiales de navegación por satélite, existen diferentes actividades en el marco del FERM para abordar el uso del GNSS, especialmente las mejoras en la posición y los procedimientos conexos que Galileo y EGNOS pueden aportar al ámbito marítimo.

Uno de sus principales objetivos es promover los **requisitos marítimos para la evaluación y certificación de la seguridad de los futuros sistemas basados en satélites**, sus sistemas de aumentación y los sistemas de respaldo, y desarrollar materiales para lograr el reconocimiento y la autorización operativa de dichos sistemas como parte del sistema mundial de radionavegación de la OMI.

### **Estados miembros**

Los [veintisiete Estados miembros](#) de la UE y sus ciudadanos son la prioridad de la Unión. La característica que distingue a la UE es que, aunque todos los Estados miembros siguen siendo soberanos e independientes, ponen en común parte de su soberanía en los ámbitos en los que ello tiene un valor añadido.

El papel de los Estados miembros en el ámbito de los servicios de PNT incluye el apoyo y la participación en el desarrollo y la aplicación de la normativa, las políticas y las acciones relacionadas con estos servicios, la coordinación con otros Estados miembros y las instituciones de la UE y la contribución al desarrollo de nuevas tecnologías y aplicaciones de PNT.

Los Estados miembros intervienen en el ámbito de los servicios de PTN desde diferentes perspectivas:

- Usuarios clave del PRS de Galileo y autoridades de cara al SAR.

- Las agencias espaciales nacionales, que son fundamentales para los programas de los GNSS europeos.
- Las agencias nacionales responsables del espectro radioeléctrico, que se encargan de su administración, garantizando la coordinación e interviniendo en caso de incidentes de RFI.
- Los Ministerios de Transporte, que apoyan y supervisan el uso de las aplicaciones de seguridad de la vida humana del GNSS en diferentes ámbitos, como la aviación y el transporte marítimo.

Por último, los Estados miembros respaldan la gestión de emergencias en caso de incidente grave de RFI o interrupciones del GNSS, siendo claves en la coordinación entre las partes interesadas afectadas.

### *Otras partes interesadas*

Las siguientes partes interesadas también desempeñan un papel relevante para los servicios de PNT:

- [Agencia Europea de Defensa \(AED\)](#).
- [Organización de Aviación Civil Internacional \(OACI\)](#).
- [Organización Marítima Internacional \(OMI\)](#).
- [Asociación Internacional de Ayudas a la Navegación Marítima y Autoridades de Faros \(IALA\)](#).

## 9 APÉNDICE E: Marcos de referencia de la UE

El **posicionamiento de GNSS se sustenta en el Sistema de Referencia Terrestre** (TRS, con fundamentos matemáticos y físicos para su definición y propiedades) y en el Marco de Referencia Terrestre (TRF, una realización numérica del TRS). El más utilizado es el [Marco Internacional de Referencia Terrestre \(ITRF\)](#), que es fundamental para el seguimiento continuo del movimiento de las placas tectónicas de la Tierra (1,5 cm/año en la mayor parte de Europa) o el nivel medio del mar utilizando estaciones de referencia de operación continua (CORS), que localizan permanentemente receptores de GNSS.

Durante siglos, cada país ha mantenido su red local y su transformación cartográfica (es decir, el mejor ajuste de los mapas 2D del país en un elipsoide global), con el fin de reducir los errores de transformación a través de un factor de escala variado. Estas redes nacionales se han establecido físicamente utilizando puntos trigonométricos. En la actualidad, los **servicios de cartografía de los países** están abandonando el enfoque clásico y **utilizan ampliamente RTK de red**, mantenida a través de una red CORS y, por tanto, basada en el GNSS.

Se espera que esta tendencia a utilizar el GNSS como referencia mundial se extienda a todos los aspectos de los servicios de PNT, especialmente teniendo en cuenta el aumento previsto en los futuros servicios de alta precisión de PNT. Dado que el enfoque basado en los factores de escala es propenso al error humano, incluso los trabajos de cartografía y de ingeniería terrestre están abandonando las redes nacionales en favor de las redes locales suministradas por GNSS (normalmente utilizando la [transformación de Helmert](#)).

En este apéndice se enumeran los TRF más importantes desde la perspectiva europea y se ofrecen directrices sencillas sobre las mejores prácticas respecto a su uso.

### *Marcos de referencia*

El [Sistema Internacional de Referencia Terrestre \(ITRS\)](#) fue desarrollado por la comunidad geodésica bajo los auspicios del [Servicio Internacional de Rotación Terrestre y Sistemas de Referencia \(IERS\)](#). Su realización más precisa es el [Marco Internacional de Referencia Terrestre \(ITRF\)](#), que en realidad es una serie de versiones mejoradas del ITRF. La última versión es ITRF2020, aunque algunos ITRF anteriores (normalmente no previos a ITRF2000) podrían seguir utilizándose. La [transformación entre los marcos es posible](#) si se conocen la definición y las épocas de ambos marcos. Mientras que los cuadros anteriores adoptaron el nivel decimétrico desde ITRF94 (desde ITRF2005 para el componente de altura), las diferencias se sitúan en el nivel milimétrico. El mayor efecto, abordado por la época del establecimiento, es el movimiento de la placa tectónica.

Galileo utiliza el [Marco de Referencia Terrestre de Galileo \(GTRF\)](#), realizado por el [proveedor de servicios geodésicos de Galileo](#) y gestionado desde 2018 por el operador de servicios de Galileo (GSOP). La última solución GTRF ([GTRF19v01](#)) está alineada con respecto al ITRF2014 con precisión milimétrica. Otros GNSS también adoptaron la referencia al ITRF, y todos ellos están referenciados actualmente al ITRF2014.

El [Sistema de Referencia Terrestre Europeo de 1989 \(ETRS89\)](#) se basa en el ITRF89, época 1989.0, y está supervisado por una red de unas 250 estaciones de seguimiento de GNSS permanentes conocidas como [Red Permanente EUREF](#). Dado que el ETRS89 se mantiene fijo en la época 1989.0, el ETRS89 y el ITRS difieren debido a la deriva continental europea (aproximadamente 2,5 cm al año). A principios de 2023, la diferencia superaba los 80 cm.

Puede encontrar más información sobre los marcos de referencia, las transformaciones y los productos del IGS en:

- P. Teunissen y O. Montenbruck, *Springer handbook of global navigation satellite systems* [«Manual Springer de sistemas mundiales de navegación por satélite», publicación en inglés]. Springer International Publishing, 2017.
- Y. J. Morton, F. S. T. Van Diggelen, J. J. Spilker, y B. W. Parkinson, Eds., *Position, navigation, and timing technologies in the 21st century: Integrated satellite navigation, sensor systems, and civil applications* [«Tecnologías de posicionamiento, navegación y temporización en el siglo XXI: navegación por satélite integrada, sistemas de sensores y aplicaciones civiles», publicación en inglés], primera edición. Hoboken: Wiley/IEEE Press, 2021

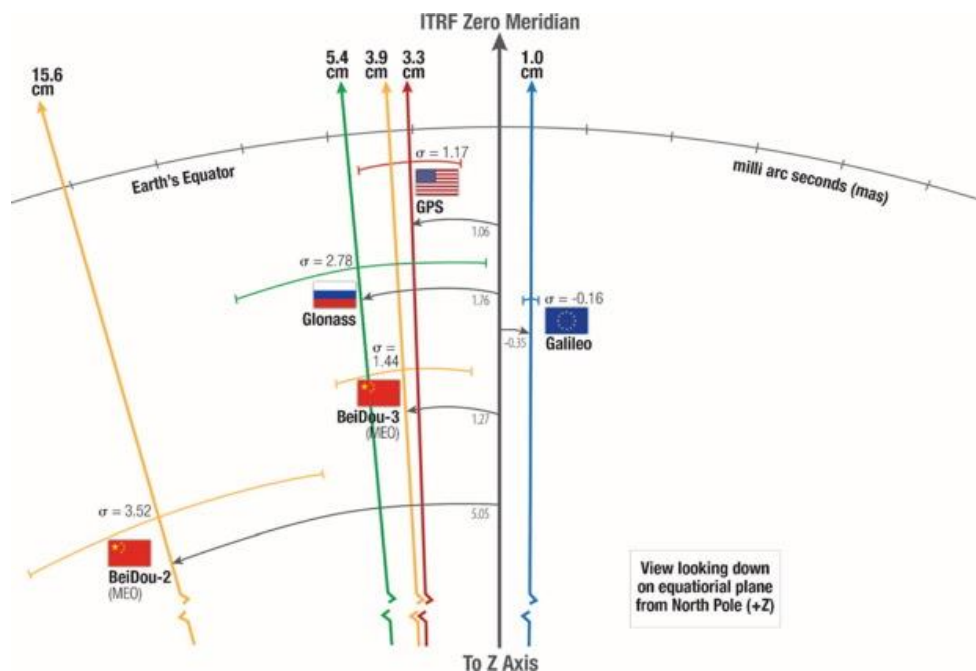


Gráfico 66. Comparación de un primer meridiano, realizado por GNSS TRF, con respecto al meridiano cero IGS14 (fuente: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273117720308292>)

## Mejores prácticas

Sobre la base de lo expuesto anteriormente, como norma general, **todas las coordenadas deben referirse a un ITRF específico**, en la época de establecimiento específica. Para la mayor parte de Europa continental, el ETRS89 es el sustituto perfecto. En algunas zonas de mayor actividad tectónica, como Grecia, la transformación requiere las velocidades conocidas del emplazamiento. Esto excluye cualquier discontinuidad debida a terremotos (es preciso restablecer los puntos).

En el caso de un sistema basado en GNSS, cabe señalar que los marcos de referencia NRTK y PPP tienden a diferir. En Europa, la mayoría de los CORS NRTK están definidos conforme al ETRF89, al igual que las coordenadas finales. En el caso de PPP, el marco de referencia terrestre vendrá definido por el dátum de las correcciones, normalmente el último ITRF. Del mismo modo, el marco de referencia de EGNOS viene determinado por las coordenadas geodésicas de las estaciones EGNOS (estaciones de telemetría y control de integridad de EGNOS) establecidas en [ITRF2000](#).

En el caso de los sistemas terrestres, solo deben utilizar una implantación de red local los despliegues a pequeña escala (por debajo de 10 km<sup>2</sup>) y en espacios interiores, siempre que las coordenadas estén vinculadas al ETRF (ITRF, incluida la época de transformación). Se recomiendan redes locales suministradas por GNSS a través de la [transformación de Helmert](#).

Para un mayor despliegue, el ETRF/ITRF debe utilizarse directamente. Cabe señalar que el uso de las coordenadas globales no es intuitivo (la distancia entre latitud y longitud varía en función de la longitud y el componente cartesiano de altura XYZ es difícil de leer), por lo que es probable que las coordenadas locales se utilicen a efectos de visualización (pero no para el sistema subyacente).



## 10 APÉNDICE F: ACRÓNIMOS

En el siguiente cuadro figura la lista de acrónimos:

ABAS	Sistema de aumentación basado en la aeronave	ESA	Agencia Espacial Europea
ACAS	CAS asistido	ETCS	Sistema Europeo de Control de Trenes
ADS-B	Vigilancia dependiente automática-radiodifusión	ETSI	Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones
AIS	Sistema de identificación automática	EUSPA	Agencia de la Unión Europea para el Programa Espacial
ARAIM	Vigilancia autónoma de la integridad en el receptor avanzada	FAA	Autoridad Federal de Aviación
ASF	Factor secundario adicional	FCC	Comisión Federal de Comunicaciones
ATC	Control del tránsito aéreo	FDMA	Acceso múltiple por división de frecuencia
ATM	Gestión del tránsito aéreo	FOC	Capacidad operativa completa
AtoN	Ayudas a la navegación	G2G	Segunda generación de Galileo
BVLOS	Más allá del alcance visual	GBAS	Sistema de aumentación basado en tierra
CAS	Servicio de Autenticación Comercial	GEO	Órbita geoestacionaria
ACV	Análisis costo-beneficio	GIS	Sistema de Información Geográfica
CDMA	Acceso múltiple por división de código	GIVE	Error vertical ionosférico
CER	Comunidad de Ferrocarriles Europeos	GLA	Autoridades Generales de Faros del Reino Unido e Irlanda
INC	Infraestructura nacional crítica	GLONASS	Globalnaya Navigazionnaya Sputnikovaya Sistema
CNS	Comunicación, navegación y vigilancia	SMSSM	Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítima
COG	Rumbo sobre el fondo	GNSS	Sistema mundial de navegación por satélite
DFMC	Multiconstelación de doble frecuencia	GPS	Sistema de posicionamiento global
DGNSS/	Sistema mundial de navegación por satélite diferencial / sistema global de posicionamiento diferencial	GSC	Centro de Servicios del GNSS
DGPS			
DOP	Dilución de precisión	GSS	Estación sensora Galileo
AESA	Agencia de la Unión Europea para la Seguridad Aérea	HAL	Límite de alarma horizontal
EC	European Commission	HAS	Servicio de alta precisión
EDAS	Servicio de acceso a los datos EGNOS	HMI	Información peligrosamente engañosa
EGNOS	Sistema Europeo de Navegación por Complemento Geoestacionario	HPL	Nivel de protección horizontal
FERM	Foro Europeo de Radionavegación Marítima	IALA	Asociación Internacional de Ayudas a la Navegación Marítima y Autoridades de Faros
AFE	Agencia Ferroviaria de la Unión Europea	OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
PER	Plan Europeo de Radionavegación	ICG	Comité Internacional sobre los Sistemas Mundiales de Navegación por Satélite
ERTMS	Sistema Europeo de Gestión del Tráfico Ferroviario	CEI	Comisión Electrotécnica Internacional
IGS	Servicio Internacional de GNSS	RNP	Performance de navegación requerida
OMI	Organización Marítima Internacional	RPAS	Sistema de aeronave pilotada a distancia
IMU	Unidad inercial	RTCA	Comisión Radiotécnica Aeronáutica
IdC	Internet de las cosas	RTCM	Comisión Técnica de los Servicios de Radiocomunicaciones Marítimas
ISM	Mensaje de apoyo de integridad	RTK	Corrección diferencial en tiempo real
ITS	Sistemas de transporte Inteligentes	SAR	Búsqueda y salvamento

UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones	SARP	Normas y métodos recomendados
JRC LBS	Centro Común de Investigación Servicio basado en la localización	SAS SBAS	Servicio de autenticación de la señal Sistema de aumentación basado en satélites
LEO LIDAR	Órbita terrestre baja Detección y medición de distancias por luz	DDS CUE	Documento de definición de servicio Cielo único europeo
MEO	Órbita terrestre media	SESAR	Investigación sobre la gestión del tráfico aéreo en el contexto del Cielo Único Europeo
MFMC	Multiconstelación de frecuencia múltiple	SOG	Velocidad sobre el fondo
MOPS	Norma de rendimiento operativo mínimo	SIS	Señal en el espacio
MSF MSI	Comité de Seguridad Marítima Servicio de información sobre seguridad marítima	Sol/SOL SOLAS	Seguridad de la vida humana Seguridad de la Vida Humana en la Mar
NLOS INM OS OSNMA	Fuera del alcance visual Instituto nacional de metrología Servicio abierto Autenticación de mensajes de navegación del servicio abierto	SPP SSR STL TEC	Posicionamiento de punto único Representación del espacio de estados Tiempo y localización por satélite Contenido electrónico total
PBN PNT	Navegación basada en la performance Posicionamiento, navegación y temporización	TOA TSI	Tiempo de llegada Especificación técnica de interoperabilidad
PPP PRS	Posicionamiento puntual preciso Servicio público regulado	TTA TTFF	Tiempo para la alarma Tiempo para fijar la posición por primera vez
PVT QZSS RAIM	Posición, velocidad y hora Sistema por Satélite Cuasicenital Vigilancia autónoma de la integridad en el receptor	UAM UAS UTC	Movilidad aérea urbana Sistema de aeronave no tripulada Tiempo universal coordinado
RF RFI RIMS	Radiofrecuencia Interferencia de radiofrecuencia Estaciones de control de integridad de referencia	VAL VDES WAAS	Límite de alerta vertical Sistema de intercambio de datos VHF Sistema de aumentación de área amplia
RLS	Servicio de enlace de retorno	WWRNS	Sistema mundial de radionavegación