

El **Global Positioning System (GPS)** o **Sistema de Posicionamiento Global** (más conocido con las siglas *GPS* aunque su nombre correcto es **NAVSTAR-GPS**<sup>[1]</sup>) es un [Sistema Global de Navegación por Satélite](#) (GNSS) el cual permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave, con una precisión hasta de centímetros usando GPS diferencial, aunque lo habitual son unos pocos metros. Aunque su invención se le atribuye a los gobiernos franceses y belga, el sistema fue desarrollado e instalado, y actualmente es operado, por el [Departamento de Defensa de los Estados Unidos](#).

El GPS funciona mediante una red de 27 [satélites](#) (24 operativos y 3 de respaldo) en órbita sobre el globo a 20.200 km con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la [Tierra](#). Cuando se desea determinar la posición, el aparato que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo cuatro satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la posición y el reloj de cada uno de ellos. Con base en estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el retraso de las señales, es decir, la distancia al satélite. Por "[triangulación](#)" calcula la posición en que éste se encuentra. La triangulación en el caso del GPS, a diferencia del caso 2-D que consiste en averiguar el ángulo respecto de puntos conocidos, se basa en determinar la distancia de cada satélite respecto al punto de medición. Conocidas las distancias, se determina fácilmente la propia posición relativa respecto a los tres satélites. Conociendo además las coordenadas o posición de cada uno de ellos por la señal que emiten, se obtiene la posición absoluta o coordenadas reales del punto de medición. También se consigue una exactitud extrema en el reloj del GPS, similar a la de los relojes atómicos que llevan a bordo cada uno de los satélites.

La antigua [Unión Soviética](#) tenía un sistema similar llamado [GLONASS](#), ahora gestionado por la [Federación Rusa](#).

Actualmente la [Unión Europea](#) intenta lanzar su propio sistema de posicionamiento por satélite, denominado '[Galileo](#)'.

## *Historia*

En [1957](#), la [Unión Soviética](#) lanzó al espacio el satélite [Sputnik I](#), el cual era monitorizado mediante la observación del [Efecto Doppler](#) de la señal que este transmitía. Debido a este hecho, se comenzó a pensar que, de igual modo, la posición de un observador podría ser establecida mediante el estudio de la frecuencia doppler de una señal transmitida por un satélite cuya órbita estuviera precisamente determinada.

La [marina estadounidense](#) rápidamente aplicó esta tecnología para proveer a los sistemas de navegación de sus flotas de observaciones de posición actualizadas y precisas. Así surgió el sistema [TRANSIT](#), que quedó operativo en [1964](#) y hacia [1967](#) estuvo disponible, además, para el uso comercial.

Las actualizaciones de posición, en ese entonces, se encontraban disponibles cada 40 minutos y el observador debía permanecer casi estático para poder obtener información adecuada.

Posteriormente en esa misma década y gracias al desarrollo de los relojes atómicos, se diseñó una constelación de satélites, portando cada uno de ellos uno de estos relojes y estando todos sincronizados en base a una referencia de tiempo determinada.

En [1973](#), se combinaron los programas de la Marina de EE.UU. y el de la [USAF](#) (este último consistente en una técnica de transmisión codificada que proveía data precisa usando una señal modulada con un código de sonidos pseudo-random (PRN = Pseudo-Random Noise), en lo que se conoció como Navigation Technology Program, posteriormente devenido en el NAVSTAR GPS.

Entre [1978](#) y [1985](#) se desarrollaron y lanzaron once satélites prototipo experimentales NAVSTAR, a los que siguieron otras generaciones de satélites, hasta completar la constelación actual, a la que se declaró con «capacidad operacional inicial» en diciembre de [1993](#) y con «capacidad operacional total» en abril de [1995](#).

En 1994, este país ofreció el servicio normalizado de determinación de la posición para apoyar las necesidades de la [OACI](#), y ésta aceptó el ofrecimiento.

Características técnicas y prestaciones.

Este [Sistema Global de Navegación por Satélite](#) lo componen:

1. *Sistema de satélites*. Está formado por 24 unidades con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie del globo terráqueo. Más concretamente, repartidos en 6 planos orbitales de 4 satélites cada uno. La energía eléctrica que requieren para su funcionamiento la adquieren a partir de dos paneles compuestos de celdas solares adosadas a sus costados.
2. *Estaciones terrestres*. Envían información de control a los satélites para controlar las órbitas y realizar el mantenimiento de toda la constelación.
3. *Terminales receptores*: Indica la posición en la que estamos, conocidas también como Unidades GPS, son las que podemos adquirir en las tiendas especializadas.

## Segmento Espacial

- ~~EEEEEEEE~~ Satélites en la constelación: 24 (4 X 6 órbitas)
  - Altitud: 20.200 km
  - Período: 11 h 56 min
  - Inclinación: 55 grados (respecto al ecuador terrestre).
  - Vida útil: 7,5 años
- ~~EEEEEEEE~~ Segmento de Control (estaciones terrestres)
  - Estación principal: 1
  - Antena de tierra: 4
  - Estación monitora (de seguimiento): 5
- ~~EEEEEEEE~~ Señal RF
  - Frecuencia portadora:  
Civil - 1 575.42 MHz (L1). Utiliza el Código de Adquisición Aproximativa (C/A)  
Militar – 1227.60 MHz (L2). Utiliza el Código de Precisión (P), cifrado.  
- Nivel de potencia de la señal: -160 dBW (en superficie tierra)  
- Polarización: circular dextrógira
- ~~EEEEEEEE~~ Exactitud
  - Posición: aproximadamente 15 m (el 95%)
  - Hora: 1 ns
- ~~EEEEEEEE~~ Cobertura: mundial
- ~~EEEEEEEE~~ Capacidad de usuarios: ilimitada
- ~~EEEEEEEE~~ Sistema de coordenadas:
  - Sistema Geodésico Mundial 1984 ([WGS84](#))
  - Centrado en la Tierra, fijo.
- ~~EEEEEEEE~~ Integridad: tiempo de notificación 15 minutos o mayor. **NO ES SUFICIENTE PARA LA AVIACIÓN CIVIL**
- ~~EEEEEEEE~~ Disponibilidad: 24 satélites - 70 % y 21 satélites - 98 % **NO ES SUFICIENTE COMO MEDIO PRIMARIO DE NAVEGACIÓN**

## *Evolución del sistema GPS*

El GPS está evolucionando hacia un sistema más sólido (GPS III), con una mayor disponibilidad y que reduzca la complejidad de las aumentaciones GPS. Algunas de las mejoras previstas comprenden:

- ~~EEEEEEEE~~ Incorporación de una nueva señal en L2 para uso civil.

- Adición de una tercera señal civil (L5): 1176.45 MHz
- Protección y disponibilidad de una de las dos nuevas señales para servicios de Seguridad Para la Vida (SOL).
- Mejora en la estructura de señales.
- Incremento en la potencia de señal (L5 tendrá un nivel de potencia de -154 dB).
- Mejora en la precisión (1 – 5 m).
- Aumento en el número de estaciones monitorizadas: 12 (el doble)
- Permitir mejor interoperabilidad con la frecuencia L1 de [Galileo](#)

El programa GPS III persigue el objetivo de garantizar que el GPS satisfará requisitos militares y civiles previstos para los próximos 30 años. Este programa se está desarrollando para utilizar un enfoque en 3 etapas (una de las etapas de transición es el GPS II) muy flexible, permite cambios futuros y reduce riesgos. El desarrollo de satélites GPS II comenzó en 2005, y el primero de ellos estará disponible para su lanzamiento en 2012, con el objetivo de lograr la transición completa de GPS III en 2017. Los desafíos son los siguientes:

1. Representar los requisitos de usuarios tanto civiles como militares en cuanto a GPS.
2. Limitar los requisitos GPS III dentro de los objetivos operacionales.
3. Proporcionar flexibilidad que permita cambios futuros para satisfacer requisitos de los usuarios hasta 2030.
4. Proporcionar solidez para la creciente dependencia en la determinación de posición y de hora precisa como servicio internacional.

## ***Funcionamiento***

1. La situación de los satélites es conocida por el receptor con base en las efemérides (5 parámetros orbitales [Keplerianos](#)), parámetros que son transmitidos por los propios satélites. La colección de efemérides de toda la constelación se completa cada 12 [min](#) y se guarda en el receptor GPS.
2. El receptor GPS funciona midiendo su distancia de los satélites, y usa esa información para calcular su posición. Esta distancia se mide calculando el tiempo que la señal tarda en llegar al receptor. Conocido ese tiempo y basándose en el hecho de que la señal viaja a la velocidad de la luz (salvo algunas correcciones que se aplican), se puede calcular la distancia entre el receptor y el satélite.
3. Cada satélite indica que el receptor se encuentra en un punto en la superficie de la esfera con centro en el propio satélite y de radio la distancia total hasta el receptor.
4. Obteniendo información de dos satélites se nos indica que el receptor se encuentra sobre la circunferencia que resulta cuando se intersectan las dos esferas.
5. Si adquirimos la misma información de un tercer satélite notamos que la nueva esfera solo corta la circunferencia anterior en dos puntos. Uno de ellos se puede descartar porque ofrece una posición absurda. De esta manera ya tendríamos la posición en 3-D. Sin embargo, dado que el reloj que incorporan los receptores GPS no está sincronizado con los relojes atómicos de los satélites GPS, los dos puntos determinados no son precisos.
6. Teniendo información de un cuarto satélite, eliminamos el inconveniente de la falta de sincronización entre los relojes de los receptores GPS y los relojes de los satélites. Y es en este momento cuando el receptor GPS puede determinar una posición 3-D exacta ([latitud](#), [longitud](#) y [altitud](#)). Al no estar sincronizados los relojes entre el receptor y los satélites, la intersección de las cuatro esferas con centro en estos satélites es un pequeño volumen en vez de ser un punto. La corrección consiste en ajustar la hora del receptor de tal forma que este volumen se transforme en un punto.

## *Fiabilidad de los datos*

Debido al carácter militar del sistema GPS, el Departamento de Defensa de los EE.UU. se reservaba la posibilidad de incluir un cierto grado de error aleatorio que puede variar de los 15 a los 100 m. La llamada [disponibilidad selectiva](#) (S/A) fue eliminada el [2 de mayo](#) de [2000](#). Aunque actualmente no aplique tal error inducido, la precisión intrínseca del sistema GPS depende del número de satélites visibles en un momento y posición determinados.

Con un elevado número de satélites siendo captados (7, 8 o 9 satélites), y si éstos tienen una geometría adecuada (están dispersos), pueden obtenerse precisiones inferiores a 2,5 metros en el 95% del tiempo. Si se activa el sistema DGPS llamado SBS (WAAS-EGNOS-MSAS), la precisión mejora siendo inferior a un metro en el 97% de los casos

## *Fuentes de error*

Fuentes de error	
Fuente	Efecto
Ionósfera	$\pm 5$ m
Efemérides	$\pm 2,5$ m
Reloj satelital	$\pm 2$ m
Distorsión multibandas	$\pm 1$ m
Tropósfera	$\pm 0,5$ m
Errores numéricos	$\pm 1$ m o menos

1. Retraso de la señal en la [ionosfera](#) y [troposfera](#).
2. Señal multirruta, producida por el rebote de la señal en edificios y montañas cercanos.
3. Errores de orbitales, donde los datos de la órbita del satélite no son completamente precisos.
4. Número de satélites visibles.
5. Geometría de los satélites visibles.
6. Errores locales en el reloj del GPS.

# GPS Diferencial

El [DGPS](#) (Differential GPS) o GPS diferencial es un sistema que proporciona a los receptores de GPS correcciones a los datos recibidos de los satélites GPS con el fin de proporcionar una mayor precisión en la posición calculada. Se concibió fundamentalmente debido a la introducción de la [disponibilidad selectiva](#) (SA).

El fundamento radica en el hecho de que los errores producidos por el sistema GPS afectan por igual (o de forma muy similar) a los receptores situados próximos entre sí. Los errores están fuertemente correlacionados en los receptores próximos.

Un receptor GPS fijo en tierra (referencia) que conoce exactamente su posición basándose en otras técnicas, recibe la posición dada por el sistema GPS, y puede calcular los errores producidos por el sistema GPS, comparándola con la suya conocida de antemano. Este receptor transmite la corrección de errores a los receptores próximos a él, y así estos pueden a su vez corregir también los errores producidos por el sistema dentro del área de cobertura de transmisión de señales del equipo GPS de referencia.

En suma la estructura DGPS quedaría de la siguiente manera:

- **Estación monitorizada (referencia)** que conoce su posición con una precisión muy alta. Esta estación está compuesta por:
  - Un receptor GPS
  - Un microprocesador para calcular los errores del sistema GPS y para generar la estructura del mensaje que se envía a los receptores.
  - Transmisor para establecer un enlace de datos unidireccional hacia los receptores de los usuarios finales.
- **Equipo de usuario**, compuesto por un receptor DGPS (GPS + receptor del enlace de datos desde la estación monitorizada)

Existen varias formas de obtener las correcciones DGPS. Las más usadas son:

1. Recibidas por [radio](#) a través de algún canal preparado para ello, como el [RDS](#) en una emisora de [FM](#).
2. Descargadas de [Internet](#) con una [conexión inalámbrica](#).
3. Proporcionadas por algún sistema de satélites diseñado para tal efecto. En [Estados Unidos](#) existe el [WAAS](#), en [Europa](#) el [EGNOS](#) y en [Japón](#) el [MSAS](#), todos compatibles entre sí.

En los mensajes que se envían a los receptores próximos se pueden incluir dos tipos de correcciones:

- **Una corrección directamente aplicada a la posición.** Esto tiene el inconveniente de que tanto el usuario como la estación monitorea deberán emplear los mismos satélites, pues las correcciones se basan en esos mismos satélites.
- **Una corrección aplicada a las pseudodistancias de cada uno de los satélites visibles.** En este caso el usuario podrá hacer la corrección con los 4 satélites de mejor relación señal-a-ruido (S/N). Esta corrección es más flexible.

El error producido por la disponibilidad selectiva (SA) varía incluso más rápido que la velocidad de transmisión de los datos. Por ello, junto con el mensaje que se envía de correcciones también se envía el tiempo de validez de las correcciones y sus tendencias. Por tanto el receptor deberá hacer algún tipo de interpolación para corregir los errores producidos.

Si se deseara incrementar el área de cobertura de correcciones DGPS y, al mismo tiempo, minimizar el número de receptores de referencia fijos, será necesario modelar las variaciones espaciales y temporales de

los errores. En tal caso estaríamos hablando del GPS diferencial de área amplia.

Con el DGPS se pueden corregir en parte los errores debidos a:

- [Disponibilidad selectiva](#) (eliminada a partir del año [2000](#)).
- Propagación por la [ionosfera](#) - [troposfera](#).
- Errores en la posición del satélite ([efemérides](#)).
- Errores producidos por problemas en el reloj del satélite.

Para que las correcciones DGPS sean válidas, el receptor tiene que estar relativamente cerca de alguna estación DGPS, generalmente, a menos de 1.000 km. La precisión lograda puede ser de unos dos metros en latitud y longitud, y unos 3 m en altitud.

## Vocabulario básico en GPS

- [BRG](#) (*Bearing*): el rumbo entre dos puntos de pasos intermedios (*waypoints*)
- [CMG](#) (*Course Made Good*): rumbo entre el punto de partida y la posición actual
- [EPE](#) (*Estimated Postion Error*): margen de error estimado por el receptor
- [ETE](#) (*Estimated Time Enroute*): tiempo estimado entre dos *waypoints*
- [DOP](#) (*Dilution Of Precision*): medida de la precisión de las coordenadas obtenidas por GPS, según la distribución de los satélites, disponibilidad de ellos...
- [ETA](#) (*Estimated Time to Arrival*): tiempo estimado de llegada al destino

## Integración con telefonía móvil

Algunos teléfonos móviles pueden vincularse a un receptor GPS diseñado a tal efecto. Suelen ser módulos independientes del teléfono que se comunican inalámbricamente vía [bluetooth](#) y que le proporcionan los datos de posicionamiento, los cuales son interpretados por un programa de navegación. Esta aplicación del GPS está particularmente extendida en los teléfonos móviles que operan con el sistema operativo [Symbian](#) y [PDA](#) con el sistema operativo [Windows Mobile](#) aunque [Nokia](#) lanzó el [N95](#) con un modulo gps integrado

## Aplicaciones

1. Navegación terrestre, marítima y aérea. Bastantes [coches](#) lo incorporan en la actualidad, siendo de especial utilidad para encontrar direcciones o indicar la situación a la [grúa](#).
2. [Topografía](#) y [geodesia](#). Localización agrícola ([agricultura de precisión](#)).
3. [Salvamento](#).
4. Deporte, [acampada](#) y ocio.
5. Para enfermos y discapacitados.
6. Aplicaciones científicas en trabajos de campo (ver [geomática](#)).
7. [Geocaching](#), actividad consistente en buscar "tesoros" escondidos por otros usuarios.
8. Se lo utiliza para el rastreo y recuperación de vehículos.
9. Navegación Deportiva
10. Deportes Aéreos: [Parapente](#), [Ala delta](#), [Planeadores](#), etc.
11. Existe quien dibuja usando tracks o juega utilizando el movimiento como cursor (común en los gps garmin)