

Geotelemática

Posicionamiento y navegación

Albert Botella Plana
Joan Carles Olmedillas

PID_00171805

Material docente de la UOC



Universitat Oberta
de Catalunya

www.uoc.edu

Primera edición: noviembre 2010
© Albert Botella Plana, Joan Carles Olmedillas
Todos los derechos reservados
© de esta edición, FUOC, 2010
Av. Tibidabo, 39-43, 08035 Barcelona
Realización editorial: Eureka Media, SL
Diseño: Manel Andreu
Depósito legal: B-44.549-2010

Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño general y de la cubierta, puede ser copiada, reproducida, almacenada o transmitido de ninguna manera ni por ningún medio, tanto eléctrico como químico, mecánico, óptico, de grabación, de fotocopia, o por otros métodos, sin la autorización previa por escrito de los titulares del copyright.

Índice

Introducción	5
Objetivos	6
1. Introducción a la geotelemática	7
1.1. Concepto de geotelemática	7
1.2. Elementos de un sistema de geotelemática	8
1.3. Posicionamiento, localización y navegación	10
1.3.1. Posicionamiento	10
1.3.2. Localización	11
1.3.3. Navegación	12
2. Sistemas de posicionamiento	13
2.1. Sistemas de posicionamiento por satélite, GNSS	15
2.1.1. Funcionamiento de los sistemas de posicionamiento por satélite	16
2.1.2. GPS	20
2.1.3. Galileo	22
2.1.4. GLONASS	25
2.1.5. Comparación de los sistemas de posicionamiento por satélite	26
2.2. Sistemas de aumentación	26
2.2.1. SBAS	27
2.2.2. GBAS	28
2.3. Sistemas de posicionamiento terrestres	29
2.3.1. Funcionamiento de los sistemas de posicionamiento terrestres	30
2.3.2. Sistemas de posicionamiento terrestres para la navegación	33
2.3.3. Sistemas de posicionamiento terrestres basados en redes de telecomunicaciones	35
2.4. Sistemas de posicionamiento inerciales	39
2.5. Sistemas de posicionamiento híbridos	40
2.5.1. A-GNSS (assisted GNSS, 'GNSS asistido')	40
2.5.2. GNSS + LORAN-C	41
2.5.3. GPS + GLONASS + Galileo	41
2.5.4. GNSS + INS	42
3. Elementos de una aplicación geotelemática	43
3.1. Terminales geotelemáticos	44
3.1.1. Criterios para la selección de un TG	49

3.2. Centro de control	51
3.2.1. Núcleo principal	52
3.2.2. Módulo de servicios SIG	54
3.2.3. Módulo de BBDD y <i>data log</i>	55
3.2.4. Servidor web	55
3.3. Infraestructuras y proveedores de servicios	56
3.3.1. Infraestructuras de comunicación	56
3.3.2. Proveedores de servicios	57
3.4. Criterios para el diseño de un CC	58
4. Aplicaciones de los sistemas de posicionamiento	61
4.1. Aplicaciones en el sector aeronáutico y espacial	61
4.1.1. Aplicación en el sector aeronáutico	63
4.1.2. Aplicaciones espaciales	66
4.2. Aplicaciones en el sector marítimo	66
4.2.1. Seguimiento del tráfico y la navegación marítima	67
4.2.2. Maniobras en el puerto	67
4.2.3. Seguimiento de flotas de barcos y de contenedores	67
4.2.4. Navegación de precisión en canales y ríos	68
4.2.5. Oceanografía y topografía hidrográfica	68
4.2.6. Aplicaciones pesqueras	68
4.2.7. Búsqueda y rescate en alta mar	68
4.3. Aplicaciones en el sector terrestre	69
4.3.1. Sistemas inteligentes de transporte (ITS)	70
4.3.2. Servicios basados en la localización (LBS)	72
4.4. Aplicaciones de carácter científico	74
4.5. Aplicaciones creativas	76
4.6. Aplicaciones de carácter militar	78
Resumen	81
Ejercicios de autoevaluación	83
Solucionario	84
Glosario	84
Bibliografía	87

Introducción

Ya habéis visto como las diferentes disciplinas de las ciencias cartográficas, que nos facilitan la medición y la representación de la Tierra, y las nuevas herramientas SIG con sus sistemas de almacenamiento de datos espaciales, nos permiten realizar cálculos y gestionar la información espacial-geográfica que obtenemos del territorio. En esta asignatura vais a ver los diferentes sistemas y herramientas de los que disponemos actualmente para conocer nuestra posición sobre el territorio en tiempo real, también conocidos como sistemas de posicionamiento.

Estos sistemas son la base tecnológica para instrumentos y equipos que han conseguido penetrar en los hábitos de cientos de miles de personas y empresas y a los que denominamos navegadores personales GPS. Estos equipos forman parte de lo que se conoce como equipos de geomovilidad o de geotelemática, ambos términos los consideramos sinónimos, aunque en esta asignatura nos referiremos mayormente al término geotelemática. El objetivo de esta asignatura es, precisamente, mostraros una visión de conjunto del concepto, las técnicas, los sistemas y las aplicaciones que rodean a esta disciplina.

Primero veremos los sistemas de posicionamiento y navegación, centrándonos en los sistemas de posicionamiento por satélite (más conocidos por sus siglas inglesas, GNSS, *global navigation satellite systems*). Conoceréis cómo funcionan y cuáles son los diferentes sistemas que permiten este tipo de posicionamiento.

A continuación nos dedicaremos a describir cada uno de los elementos que componen una aplicación geotelemática. Veremos qué módulos componen un terminal geotelemático genérico, un centro de control y sobre qué infraestructuras se basan estas aplicaciones para poder ser operativas. Al final de cada apartado encontraréis una recopilación de criterios orientativos que os ayudarán a seleccionar el tipo de terminal y de centro de control más adecuado para cada aplicación.

Por último, nos dedicaremos a describir algunas de las aplicaciones geotelemáticas que se han desarrollado hasta el momento. Hemos clasificado las aplicaciones según el sector donde se aplican. Así empezaremos por las aplicaciones en el sector aeronáutico y espacial, continuaremos por el sector marítimo y terrestre y finalizaremos con las aplicaciones de carácter científico y gubernamental. El número de aplicaciones crece día a día y nuestra selección es sólo un subconjunto pequeño de todas las posibles. Sin duda, a lo largo de esta asignatura vais a descubrir e incluso, ¿por qué no?, crear unas cuantas más por vuestra cuenta.

Objetivos

En los materiales didácticos de este módulo encontraréis los elementos imprescindibles para alcanzar los siguientes objetivos:

1. Conocer los conceptos de *posición, localización y navegación*.
2. Conocer el funcionamiento general de los sistemas de posicionamiento por satélite.
3. Conocer las características de los sistemas GPS y Galileo.
4. Conocer el funcionamiento y características de sistemas de posicionamiento terrestres, como el posicionamiento por telefonía móvil.
5. Tener la capacidad de diseñar y usar herramientas de navegación y entender sus capacidades y limitaciones.

1. Introducción a la geotelemática

En este primer apartado vais a ver los conceptos que rodean la geotelemática. De esta manera, adquiriréis el vocabulario para poder entrar de lleno en el estudio de las tecnologías que le dan soporte.

Con respecto al concepto de *geotelemática*, éste agrupa una gran variedad de tecnologías y aplicaciones de forma ambigua. En particular, se refiere al conjunto de disciplinas científicas y tecnológicas (física, matemáticas, geodesia, informática, electrónica, telecomunicaciones, etc.) que permiten adquirir, transmitir, gestionar, modelizar, procesar, simular y visualizar información relacionada con el territorio y su entorno, que genera un nuevo tipo de información útil para analizarlos. Por lo tanto, podéis entender la geotelemática como el conjunto de ciencias, tecnologías y sistemas necesarios para aplicaciones de movilidad y navegación.

Ya habéis visto la mayor parte de las ciencias y tecnologías que forman parte de la geotelemática en asignaturas anteriores:

- Cartografía
- Geodesia
- Almacenamiento de datos geográficos
- Sistemas de información geográfica

En esta asignatura veremos algunas de las partes que nos faltan y para hacerlo nos centraremos en los sistemas de posicionamiento basados en satélites (GNSS). Posteriormente, describiremos los elementos que componen una aplicación geotelemática y un breve panorama de las aplicaciones que se han desarrollado en diferentes sectores de actividad industrial. Al acabar estos apartados, ya tendréis una visión de conjunto de los diferentes aspectos que acompañan a la tecnología geotelemática.

Comenzaremos este apartado explicando el concepto de *geotelemática* para, a continuación, describir brevemente los elementos que componen un sistema de geotelemática. Finalmente, en el apartado 1.3, veremos una introducción a los sistemas de posicionamiento, localización y navegación.

1.1. Concepto de geotelemática

Aunque el concepto de *geotelemática* no tiene todavía una definición oficial, lo podemos definir de la siguiente manera:

La *geotelemática* es el conjunto de recursos técnicos que permiten el desarrollo de actividades sobre el territorio con conocimiento previo de la posición en la que nos encontramos, con acceso a servicios de telecomunicaciones y con disponibilidad de información geográfica del territorio donde estamos ubicados.

La geotelemática amplía el concepto de *geomática*. Este último término se definió en los años ochenta para reunir el conjunto de disciplinas que aparecían con la rápida tecnificación que tenía lugar en el sector de la gestión de la información del territorio. Recoge términos como los siguientes:

- Medición
- Cartografía
- Geodesia
- Adquisición, gestión, procesado y visualización de datos
- Posicionamiento por satélite
- Fotogrametría
- Teledetección

Podríamos definir la *geomática* de la siguiente manera:

La *geomática* es un término científico que resulta de la unión de las ciencias de la Tierra y la informática para expresar una integración sistemática de técnicas y metodologías de adquisición, almacenamiento, procesamiento, análisis, presentación y distribución de información geográficamente referenciada.

La geotelemática es una evolución natural de la geomática cuando añadimos la integración de las nuevas tecnologías de la telecomunicación y de los dispositivos móviles. Por lo tanto, la geotelemática es sólo una actualización del concepto de geomática con las nuevas tendencias en sistemas de información y telecomunicaciones.

1.2. Elementos de un sistema de geotelemática

Tal como habéis visto en el subapartado anterior, la geotelemática integra multitud de tecnologías y métodos. Por eso, un sistema que dé herramientas y funcionalidad geotelemáticas debe estar formado por distintos elementos conectados mediante las telecomunicaciones. Podéis ver representados en la figura 1 todos estos elementos, que son el centro de control, los terminales móviles y la red de telecomunicaciones para el posicionamiento.

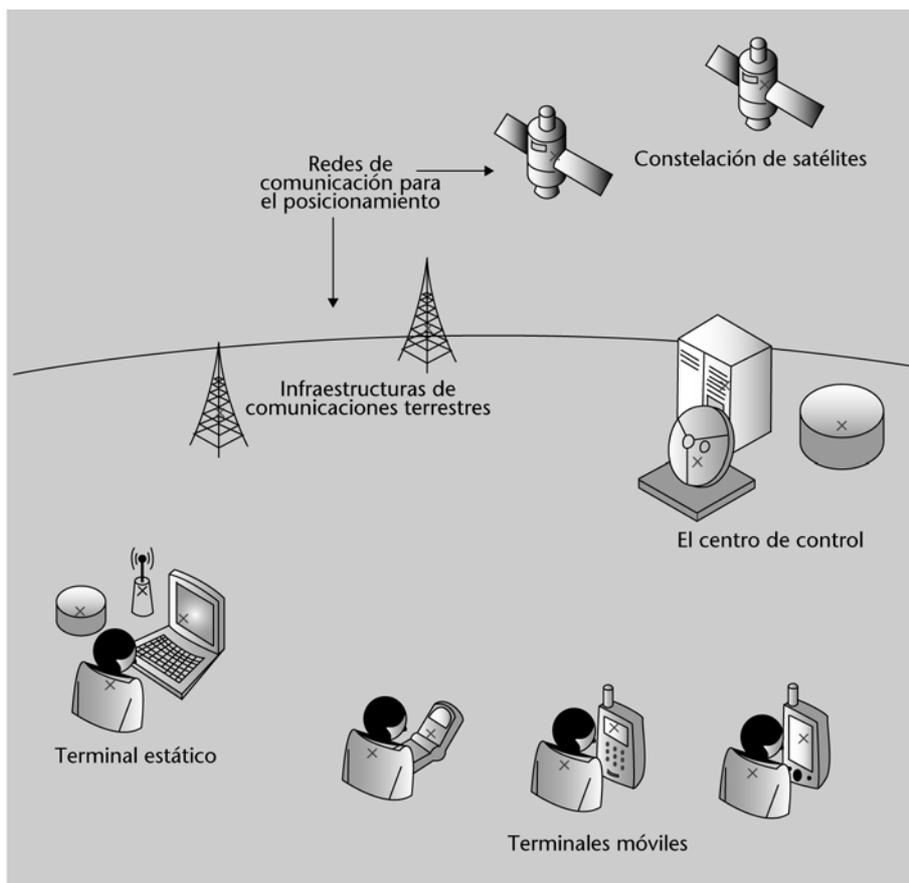


Figura 1. Representación de los elementos de un sistema de geotelemática

- **El centro de control.** El centro de control es un conjunto de sistemas informáticos, bases de datos y sistemas de telecomunicaciones que ofrecen servicios a los terminales móviles que se encuentran desplegados por el territorio. Normalmente provistos por un operador de telecomunicaciones o una gran compañía, estos centros disponen de mucho hardware y tecnologías de comunicación.
- **Los terminales móviles.** Los terminales móviles ofrecen las funcionalidades finales al usuario y pueden ser desde ordenadores portátiles a dispositivos electrónicos especializados –también llamados cajas negras–, pasando por teléfonos móviles o agendas personales. Los terminales móviles incluyen elementos de hardware, algunos de ellos opcionales, que permiten su funcionalidad. Éstos son:
 - Procesador, memoria y dispositivos gráficos: componentes mínimos para ofrecer aplicaciones a un usuario.
 - Dispositivos de posicionamiento: antenas, sensores y otros dispositivos que permiten la comunicación con los sistemas de posicionamiento. En el caso del posicionamiento por satélite, nos referiríamos a la antena de recepción de las señales de los satélites.
 - Dispositivos de telecomunicación: antenas de comunicación móvil, WIFI, Bluetooth y cualquier otra tecnología que permita la comunicación de un terminal con otras terminales y con el centro de control.

También hay que disponer de software para el funcionamiento del terminal, aparte del sistema operativo que incluye cualquier dispositivo:

- Sistemas de información geográfica: sistemas que nos ofrezcan capacidades de procesamiento y visualización de los datos.
- Programas de control del posicionamiento: programas que gestionen los dispositivos de posicionamiento y permitan el uso por parte de los otros programas.
- Programas de gestión de telecomunicaciones: programas que gestionen las telecomunicaciones y permitan el uso por parte de otros.

Finalmente, pero no menos importante, el terminal también debe disponer de datos geográficos para ubicarnos en el territorio. Estos datos pueden ser suministrados por el centro de control mediante las telecomunicaciones o deben estar almacenados en el propio terminal.

- **La red de telecomunicaciones para el posicionamiento.** Tanto si es vía satélite, como telefonía móvil o cualquier otra técnica de posicionamiento, hay que disponer de una red de dispositivos que permita la ubicación de los terminales móviles. Nos referimos a todos los elementos necesarios para poder proveer de posicionamiento con cada una de estas tecnologías. La señal de posicionamiento puede proceder de sistemas espaciales (mediante, por ejemplo, una constelación de satélites) o de sistemas terrestres (por ejemplo, un sistema de radio).

Estudiaremos tanto los sistemas de posicionamiento espaciales como los sistemas terrestres en el apartado 2 de este módulo.

Cabe decir que un sistema geotelemático permite al usuario trabajar de forma autónoma del suministro eléctrico. Los terminales consumen energía para su funcionamiento, por lo que es necesario un suministro continuo de energía; mientras el equipo está desconectado de una fuente de energía se puede mantener éste con baterías. La autonomía de un terminal dependerá de la capacidad de sus baterías y del consumo de energía que su hardware requiera.

Observación

Aunque la autonomía de los terminales móviles es importante, no nos ocuparemos de ello en esta asignatura, ya que corresponde al ámbito más general del hardware y de los dispositivos móviles.

1.3. Posicionamiento, localización y navegación

Ahora que ya habéis visto el amplio concepto de geotelemática y los elementos necesarios para construir un sistema geotelemático, antes de profundizar más debemos aclarar las diferencias entre algunos conceptos que irán apareciendo durante el módulo y pueden llevar a confusión. En particular, aclaremos los conceptos de *posicionamiento*, *localización* y *navegación*.

1.3.1. Posicionamiento

Uno de los principales objetivos de un sistema geotelemático es el de ser capaz de conocer la posición donde se encuentra un objeto con la mayor exactitud

posible. Cuando conocemos la posición de un elemento móvil, se abren una infinidad de posibilidades con respecto al uso que hacemos de esta información. Podemos:

- Representar la posición del elemento móvil sobre un mapa de la zona.
- Enviar la posición al centro de control del que podemos recibir información o instrucciones.
- Desarrollar sistemas de navegación que nos permitan desplazarnos de una posición a otra.
- Recibir información asociada a nuestra posición.

Llamamos *posicionamiento* a la ubicación de un objeto entendida como una serie de coordenadas geográficas. Los sistemas de posicionamiento nos dan las coordenadas en las que se encuentra un dispositivo en un sistema de coordenadas establecido.

1.3.2. Localización

¿Por qué hablamos de sistemas de posicionamiento pero, en cambio, nos referimos a servicios basados en la localización (LBS)? La localización y el posicionamiento son conceptos próximos pero que no deben confundirse. La localización permite ubicarnos en el mundo, pero con respecto a otros elementos referenciados geográficamente.

Llamamos *localización* a conocer la ubicación de un objeto entendida como vínculo con elementos de referencia. La localización de un objeto nos da los elementos que tiene cerca, como pueden ser carreteras, términos municipales, lagos, accidentes orográficos, etc.

Podéis ver que la localización necesita de los sistemas de posicionamiento, pero también datos geográficos de referencia. Por eso nos referimos a los servicios basados en la localización, que tienen que ver con dónde estamos dentro del mundo real, no con dónde estamos dentro de un sistema de coordenadas.

Un sistema de posicionamiento (el conocido GPS es un sistema de posicionamiento) no nos localiza, sino que nos posiciona. No podéis saber si estáis en una carretera o en un país determinado sólo con el sistema de posicionamiento, sino que os hacen falta datos geográficos para localizaros, en este caso la red de carreteras y la capa de países. Cuanto más rica sea la

Estudiaremos el sistema GPS en el apartado 2 de este módulo.



base de datos geográfica, más rica será la información de localización que obtengamos.

1.3.3. Navegación

De forma muy simplificada, podemos decir que navegar es trasladarse de un punto a otro del territorio, sea por mar, tierra o aire. Entendemos por *herramientas de navegación* todas aquellas herramientas que ayudan a navegar planificando y guiando un vehículo por una ruta entre un punto de origen y un punto de destino conocidos.

Habitualmente, se confunden los sistemas de navegación con los de posicionamiento. Desde la óptica de la geotelemática, estos conceptos están muy próximos y a la vez son muy diferentes. Los sistemas de posicionamiento son imprescindibles para navegar, pero si sólo conocemos la posición no se puede navegar. Para ayudar a la navegación, hay que conocer también la ruta, la dirección y sentido del movimiento, la red de vías de transporte por la que nos podemos mover, etc.

Navegación quiere decir ofrecer ayuda al traslado de uno o varios objetos sobre el territorio basándose en su posición o localización.

2. Sistemas de posicionamiento

Después de que hayáis visto el amplio espectro de tecnologías y sistemas que pueden incluirse dentro del concepto de geotelemática, os falta estudiar los aspectos que todavía no habéis visto en ninguna asignatura anterior. En este apartado veremos el funcionamiento de los sistemas de posicionamiento como pieza clave para el posicionamiento, la localización y la navegación y todas las funcionalidades que de él se derivan.

Entendemos por *sistema de posicionamiento* el conjunto de tecnologías e infraestructuras que permiten determinar la ubicación de, por ejemplo, un objeto, una persona o un vehículo. Cuando este sistema nos permite determinar la ubicación en cualquier punto de la Tierra, lo llamamos “sistema de posicionamiento global”.

Aunque la mayoría de vosotros estaréis ya pensando en el GPS (*global positioning system* o sistema de posicionamiento global), hay muchos otros sistemas de posicionamiento con tecnologías y usos muy variados. Vista la relevancia y extensión en el uso del GPS, veremos con más detalle este sistema de posicionamiento. Debéis, sin embargo, conocer todos los tipos de sistemas de posicionamiento, que son:

- **Espaciales:** se conocen como GNSS (*global navigation satellite system*, ‘sistema de navegación global por satélite’). Son los sistemas que se basan en infraestructuras en el espacio como los satélites. Algunos ejemplos son el GPS, la alternativa rusa GLONASS (*global navigation satellite system*, ‘sistema de navegación global por satélite’), o el proyecto europeo Galileo.
- **Terrestres:** son los sistemas de posicionamiento que se basan en infraestructuras instaladas a la Tierra. Funcionan sobre sistemas de telecomunicaciones con redes de infraestructuras sobre la Tierra, como son la telefonía móvil, la radio o la televisión. Algunos ejemplos son el posicionamiento de teléfonos móviles sobre GSM-GPRS-UMTS o el sistema de posicionamiento por radio u otras tecnologías sin hilo.
- **Inerciales:** son sistemas que integran un conjunto de sensores para calcular la posición durante el movimiento de un vehículo. Los sensores pueden ser acelerómetros, giroscopios y odómetros, entre otros. Estos sistemas ofrecen la posición relativa al punto de origen. No se pueden considerar sistemas de posicionamiento global, pero permiten obtener posiciones allí donde los otros sistemas no llegan.
- **Híbridos:** son sistemas de posicionamiento que combinan los otros tres tipos para ofrecer un posicionamiento más completo y continuo tanto sobre

GSM: *global system for mobile communications*, ‘sistema global de comunicaciones móviles’.

GPRS: *general packet radio services*, ‘servicios generales de radio por paquetes’.

UMTS: *universal mobile telecommunications system*, ‘sistema de telecomunicaciones universal’.

Acelerómetro, giroscopio y odómetro

El acelerómetro es el aparato que sirve para medir la aceleración de los movimientos y estudiar las consecuencias y los efectos.

El giroscopio es un instrumento que consiste esencialmente en una rueda que gira a gran velocidad sobre un eje que descansa sobre dos soportes susceptibles de moverse en unas o más direcciones.

El odómetro es un aparato que se usa para contar el número de vueltas dadas por la rueda de un vehículo y medir así la distancia recorrida.

el movimiento del objeto como en la disponibilidad durante todo el tiempo de la posición.

Veréis en este apartado el funcionamiento de cada uno de los tipos de sistemas de posicionamiento y repasaréis también las características principales.

Antes de entrar en el estudio de cada uno de los sistemas de posicionamiento, es interesante que aclaremos dos términos que se usan frecuentemente en el cálculo de la posición y que llevan a menudo a errores de interpretación. Estos términos son **exactitud** (*accuracy* en inglés) y **precisión** (*precision* en inglés).

La exactitud es un parámetro que nos indica cuál es la proximidad del resultado de una medición con respecto al valor real. La exactitud, según su definición estricta, no es un valor cuantificable, sino una cualidad atribuible, ya que no se puede medir la exactitud: una cosa es exacta o no lo es. En un abuso del lenguaje, encontraréis en este módulo –y también en referencias que podéis hallar por Internet y en general en cualquier texto referido a la geotelemática– la exactitud medida como el margen de error del posicionamiento. Encontraréis, pues, la exactitud medida en metros, centímetros o cualquier otra unidad de medición lineal que indique el margen de error.

La precisión tiene que ver con el método usado para realizar la medición y es un indicador de la capacidad de reproducción de un resultado. La diferencia de la precisión con respecto a la exactitud es que la precisión no tiene en cuenta sólo una medición, sino el conjunto de todas las mediciones que se puedan realizar.

Podéis entender la exactitud como el margen de error en una medición y la precisión como el error mínimo que se puede producir (la mejor medición) según las características del sistema de posicionamiento. Conocer la precisión y la exactitud es importante para decidir si los datos de un sistema de posicionamiento son válidos o no.

Para entender mejor los conceptos que acabamos de explicar, observad la figura siguiente, donde se representan con unos puntos sobre diferentes dianas los valores obtenidos por un instrumento de medida durante medidas sucesivas. El dato real sería el centro de la diana.

- En la diana a) los valores están lejos del centro, por consiguiente, concluimos que son poco exactos. Además, los puntos también se encuentran alejados unos de otros, por tanto, concluimos que dicho instrumento de medida es poco preciso.
- En la diana b) el instrumento ha sido muy preciso, ya que ha dado siempre el mismo valor, pero ha sido inexacto, puesto que el valor que ha dado se aleja mucho del valor real.
- En la diana c) los valores son exactos y precisos.

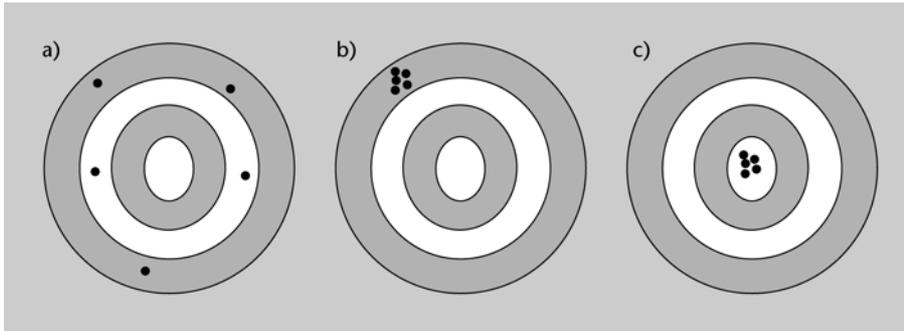


Figura 2. Representación gráfica del concepto de exactitud

2.1. Sistemas de posicionamiento por satélite, GNSS

Una vez que habéis visto que existen varios tipos de posicionamiento, abordaremos el primer grupo, que es el más importante por su popularidad y por su uso entre la población civil y su cobertura global: los sistemas de posicionamiento por satélite. Los sistemas de posicionamiento por satélite (ved figura 3) se conocen por las siglas en inglés GNSS (*global navigation satellite systems*) y engloban a todos aquellos sistemas que usen infraestructuras en el espacio. En la actualidad, aparte de la Estación Espacial Internacional, las únicas infraestructuras que hay en el espacio son satélites. Podemos afirmar, pues, que cuando hablamos de infraestructuras en el espacio hablamos de satélites.

Hay dos tipos de GNSS diferentes según cuáles sean sus funciones:

- **Los sistemas de posicionamiento básicos:** también conocidos como *constelaciones básicas de GNSS*, permiten el posicionamiento con más o menos precisión. Sólo hay dos sistemas dentro de este grupo en la actualidad: GPS (americano) y GLONASS (ruso). Sin embargo, hay proyectos de despliegue de más constelaciones, como el proyecto Galileo (europeo) o el proyecto COMPASS (chino). La India y el Japón también tienen proyectos abiertos en este sentido, pero sólo con voluntad de cubrir el posicionamiento en su propio territorio. Cada uno de estos proyectos tiene su propia constelación de satélites independiente.
- **Los sistemas de aumentación:** se basan en satélites geoestacionarios y cubren la región sobre la que se quiere mejorar la calidad del posicionamiento. Su misión es la de mejorar el posicionamiento de las constelaciones básicas, sin las cuales no se puede obtener la posición. Hay distintos sistemas de aumentación en funcionamiento como, son los WAAS (*wide area augmentation system*, 'sistema de aumentación de gran alcance') en América o el EGNOS (*European geostationary navigation overlay service*, 'servicio europeo de aumentación para la navegación basado en satélites geoestacionarios') en Europa.

ISS

La ISS (*International Space Station* o Estación Espacial Internacional) es una estación en órbita destinada a realizar experimentos en el espacio. Es un proyecto en cooperación internacional.

Satélites en órbita

¿Sabéis que hay más de 2.500 satélites en órbita en la Tierra? Además, hay más de 8.000 objetos en órbita: satélites inutilizados, paneles y restos de lanzamientos de antiguos satélites.

Dirección recomendada

Podéis ver por Internet la ubicación actual de todos los satélites con una aplicación de la NASA. La encontraréis en: <http://science.nasa.gov/Realtime/jtrack/3d/JTrack3d.html>

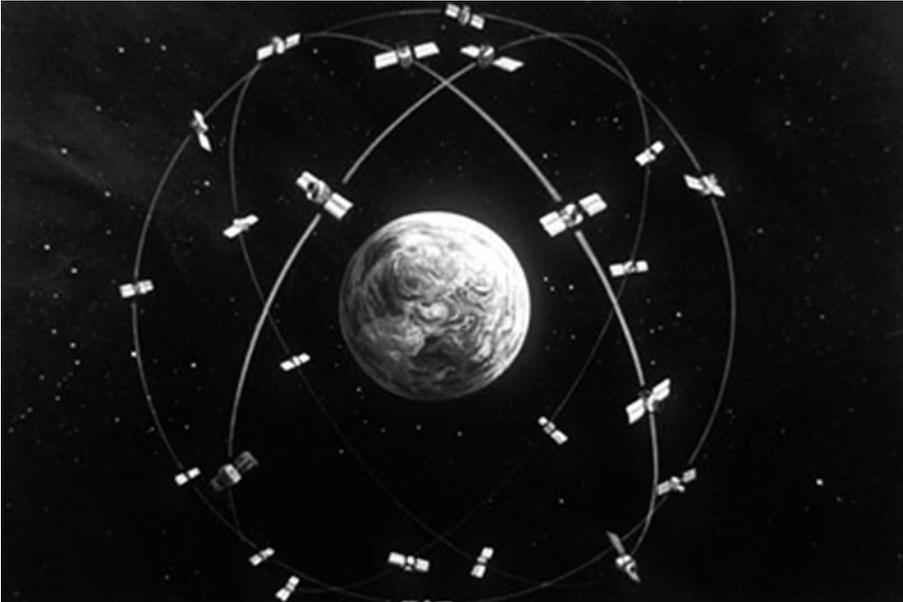


Figura 3. Imagen simulada de la constelación de satélites GPS

Primero vais a ver cómo funcionan los sistemas de posicionamiento por satélite, después las características de las diferentes constelaciones de satélites básicas y, finalmente, las características de los sistemas de aumentación.

2.1.1. Funcionamiento de los sistemas de posicionamiento por satélite

Todos los sistemas de posicionamiento por satélite calculan la posición de un receptor bajo el mismo principio. Para que un receptor de un GNSS (en particular un receptor GPS y en un futuro también un receptor Galileo) funcione, éste debe poder recibir la señal de al menos tres satélites. Al diseñar las órbitas de sus satélites, los diseñadores de sistemas de posicionamiento por satélite ya se encargan de que desde cualquier punto de la Tierra y en todo momento se puedan “ver” como mínimo cuatro satélites; así se aumenta la probabilidad de que haya al menos tres satélites en el campo de visión del receptor aunque haya obstáculos sólidos (como montañas, edificios altos...) en el camino de la señal de alguno de ellos.

Cada satélite transmite continuamente una señal que indica su posición y el tiempo actual. Todos los satélites de una misma constelación se sincronizan de manera que la señal se va repitiendo y se transmite exactamente en el mismo instante. Estas señales se desplazan a la velocidad de la luz y llegan al receptor que está sobre la Tierra. Fijaos en que son los satélites los que emiten continuamente sin que los receptores tengan que solicitarlo.

El receptor recibe las señales de los satélites en instantes de tiempo ligeramente diferentes, ya que los satélites están a distancias diferentes del receptor. Podemos calcular la distancia al satélite midiendo el tiempo que tarda en llegar la señal, ya que conocemos la velocidad con la que se desplaza la señal y la periodicidad de envío de la señal. Midiendo el tiempo podemos conocer, pues, la distancia que separa al satélite del receptor.

Satélite geoestacionario

Un satélite es geoestacionario cuando su órbita sigue el movimiento de la Tierra de manera que siempre se encuentra sobre la vertical del mismo punto de la superficie de la Tierra. Para que ocurra esto, el satélite se ha de encontrar a 30.000 km de altura sobre dicho punto.

Observación

Notad que no es posible garantizar que siempre se puedan ver tres satélites, ya que eso depende del entorno geográfico y/o urbano de la ubicación del receptor.

El receptor puede calcular su posición sólo con esta información y los datos incluidos dentro de la señal que envía el satélite. ¿Cómo? Con un poco de geometría, aplicando la intersección de esferas, tal como veremos a continuación.

Cálculo de la posición

Como habéis visto, el receptor dispone de los siguientes datos:

- Posición en tres dimensiones de cada satélite: cada satélite le envía su propia posición, que la conoce porque sigue una órbita conocida y tiene un reloj atómico que le indica, con precisión, el instante de tiempo en el que se encuentra.
- Distancia lineal hacia como mínimo tres satélites: obtenida midiendo el tiempo que tardan las señales en llegar.

Con estos datos podemos imaginarnos un espacio tridimensional donde la Tierra es una esfera, y añadimos una esfera por cada satélite cuyo centro es la posición del satélite y tiene por radio la distancia al receptor; por lo tanto, tenemos cuatro esferas. Podéis ver una representación en la figura 4.

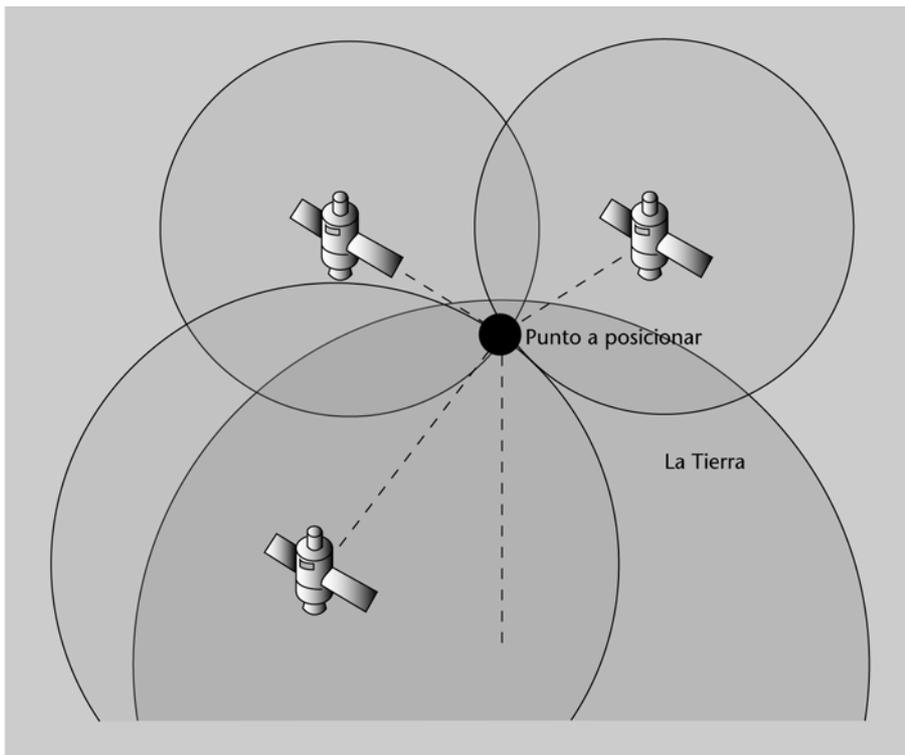


Figura 4. Representación del cálculo de posición en un GNSS

Reflexión

Las esferas definidas para calcular la posición en un sistema de posicionamiento por satélite siempre son secantes y dan por intersección un círculo. ¿Lo sabríais justificar?

Intersecando las cuatro esferas obtenemos el punto que buscábamos. La intersección de dos esferas secantes da por resultado una circunferencia. En casos extremos podría dar un punto si las esferas fueran tangentes, una esfera si fueran iguales o nada si fueran exteriores o interiores. Estos casos, sin embargo, no se pueden dar por la disposición de los satélites. Si añadimos otra esfera, la intersección entre tres esferas con nuestras características da dos puntos. Ya para acabar, la intersección con la cuarta esfera, la Tierra, da un solo punto.

Para que sea más inteligible, lo veremos en dos dimensiones y lo extrapolaremos a las tres dimensiones. Imaginad que os dicen que estáis a 700 km de Barcelona. En la figura 5 podéis ver una representación de todos los puntos que están a 700 km de Barcelona, que forman una circunferencia de 700 km de radio alrededor de la ciudad.

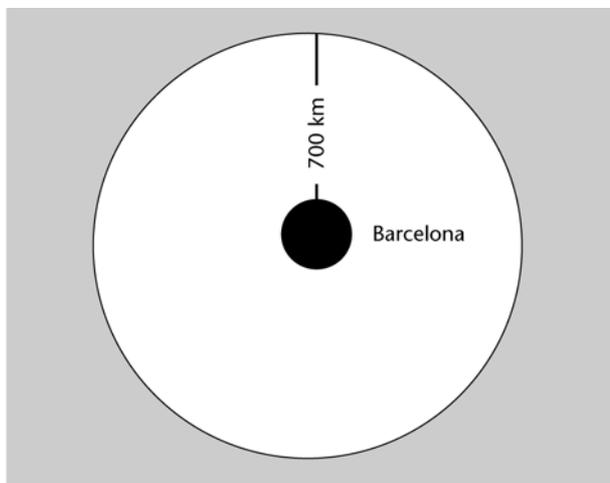


Figura 5. Circunferencia de todos los puntos a 700 km de Barcelona

Ahora os dicen, además, que estáis a 800 km de París. Eso añade una nueva circunferencia de 800 km de radio que se interseca con la anterior en dos puntos. Podéis ver en la figura 6 una representación de las dos circunferencias con los dos puntos de intersección. Por lo tanto, todavía no tenemos nuestra posición definida.

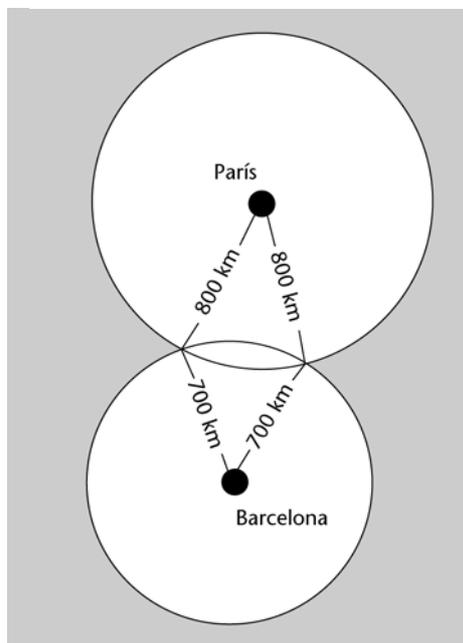


Figura 6. Dos puntos que están a 700 km de Barcelona y a 800 km de París

Necesitamos una tercera información: ahora os dicen que además estáis a 850 km de Roma. Esta nueva información os añade una nueva circunferencia centrada en Roma y de 850 km de radio que a la fuerza tiene que pasar por uno de los dos puntos de intersección anteriores por la manera en que están definidas, como podéis ver en la figura 7.

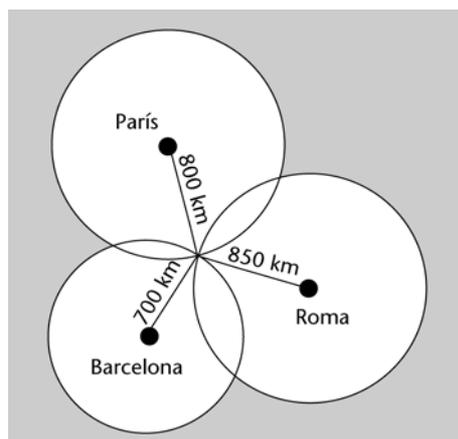


Figura 7. Punto posicionado con la intersección de tres circunferencias

Así pues, sólo hay un punto que cumpla todas las condiciones anteriores. Hemos necesitado tres circunferencias para encontrar un punto en dos dimensiones. Si lo extrapolamos para el posicionamiento por satélite en tres dimensiones, los puntos de referencia serán los satélites y el centro de la Tierra y nos hará falta un punto de referencia más, ya que tenemos una dimensión más. Intersecando las cuatro esferas encontraremos nuestro punto.

Comunicaciones e información que transmiten los satélites

Cada GNSS tiene sus características particulares y envía información diferente a los receptores. Hay, sin embargo, características y problemas comunes que comentaremos en este subapartado. Más adelante veréis las características de cada GNSS.

Los satélites envían señales de radio en la banda de las microondas y alrededor de 1,5 Ghz –cada GNSS a sus propias frecuencias– que desde el espacio atraviesan la ionosfera, las nubes, el cristal y el plástico; pero no pueden atravesar objetos sólidos como muros de hormigón o ladrillo, piedra y tierra. Por eso los aparatos de posicionamiento no funcionan dentro de edificios, en túneles, bajo tierra o en valles muy cerrados (lo que en telecomunicaciones se conoce como cobertura *indoor* o interior). Es necesario, pues, que el receptor tenga visibilidad en línea recta hasta los satélites.

Entre el receptor y el satélite están las distintas capas de atmósfera. Hay una que afecta a las señales: la ionosfera. Esta capa retrasa las señales de radio de forma variable. Cada sistema GNSS debe tratar de minimizar este retraso para ser más preciso en la medición, ya que ésta puede llegar a verse afectada entre 10 y 20 metros.

La información que envían los satélites dentro de la señal de radio se divide en tres partes:

- **El código pseudoaleatorio**, que es un identificador que nos indica qué satélite está enviando la señal.
- **Unas efemérides**, que contienen información sobre el estado del satélite (operativo o averiado), y la fecha y hora actuales. Esta información es vital para calcular la posición, tal como ya habéis visto.

- **Un almanaque**, que le dice al receptor dónde debería estar cada satélite en cualquier momento durante el día. Cada satélite envía esta información para su órbita y para la de los demás satélites de la constelación (de esta manera, si se localiza uno de ellos, puede saber dónde buscar los otros).

Veamos ahora las características propias de los principales proyectos de GNSS, tanto si están actualmente en funcionamiento –como el GPS o GLONASS– como si sólo están en proyecto –como el Galileo.

2.1.2. GPS

El término *GPS* es una abreviación de NAVSTAR GPS, que son las siglas en inglés de *navigation system with timing and ranging global positioning system*, ‘sistema de posicionamiento global y sistema de navegación con sincronización y medición de distancia’. Fue desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, pero puede ser usado tanto por militares como por civiles. Permite posicionar receptores situados entre el paralelo 70° N y el 70° S (desde el norte de Noruega hasta la Antártida).

El primer satélite GPS se puso en órbita el 22 de febrero de 1978. En 1994 se llegó a disponer de 24 satélites en la constelación de satélites GPS, que es el número mínimo para cubrir toda la Tierra en cualquier momento. Actualmente hay en torno a 30, entre los operativos y los de reserva. Cada satélite tiene una vida aproximada de diez años, por lo cual se van sustituyendo continuamente los satélites viejos para mantener la constelación.

Los satélites siguen una órbita no geoestacionaria casi circular con un radio de 26.560 km, es decir, a una altura aproximada de la Tierra de 20.200 km (por encima del nivel del mar). La velocidad de los satélites es de 3.218 km/h, cosa que les permite hacer dos veces la vuelta al mundo en 24 horas. Tardan 11 horas y 58 minutos en una vuelta completa a la Tierra. Las órbitas se desplazan sobre seis planos orbitales inclinados 55° respecto del ecuador terrestre. El diseño de estas órbitas asegura que desde cualquier punto de la Tierra y en cualquier momento (cualquier día del año a cualquier hora) un receptor pueda recibir la señal de como mínimo cuatro satélites.

GPS ofrece dos servicios mediante dos señales diferentes:

SPS (*Standard Positioning Service* o Servicio de posicionamiento estándar) es la señal de uso civil. Se emite en abierto y cualquier receptor GPS puede usarla. De hecho es la señal que usan los navegadores GPS, que tan populares se han hecho.

PPS (*Precise Positioning Service* o servicio de posicionamiento preciso) es la señal de uso militar. Está reservada a la administración y al ejército americanos.

A la señal civil también la afecta lo que se conoce como SA (*selective availability*, ‘disponibilidad selectiva’), que es una combinación de métodos para degradar la exactitud de la señal GPS. Aunque esta degradación se desactivó el año 2000, el gobierno americano todavía se reserva la opción de volver a activarla en periodos de tiempo en los que se vea amenazada la seguridad nacional de los Estados Unidos.

Señales de radio satelitales

Cada satélite transmite dos señales de radio portadoras en la banda L moduladas con la técnica del espectro ampliado (en inglés *Spread Spectrum*). Estas señales se conocen como L1 y L2:

- **L1:** señal a una frecuencia de 1.575,42 MHz codificada con la clave C/A (*course/acquisition*).
- **L2:** señal a una frecuencia de 1.227,6 MHz codificada con la clave P.

El motivo por el cual se usan dos señales portadoras es para compensar los retrasos de propagación causados por el paso por la ionosfera, que varían aproximadamente siguiendo el inverso de la frecuencia de la señal al cuadrado. Enviando dos señales con frecuencias diferentes, se consigue cuantificar el impacto de estos retrasos.

Cabe decir también que ambas señales están codificadas con claves diferentes y, por lo tanto, se necesitan las dos claves para poder usar las dos señales. Para uso civil (recordad que se llama SPS) sólo se puede usar la señal L1, ya que sólo se dispone de la clave C/A. Eso provoca, por una parte, que no se puedan corregir los errores provocados por la ionosfera usando la señal L2 y, por otra, menos precisión. El uso militar dispone de la clave P y puede usar la señal L2 para minimizar la imprecisión.

La exactitud de los servicios GPS es de 15 metros, a pesar de que con una disponibilidad de siete a nueve satélites se puede llegar a una precisión de 2,5 metros. Con el uso de la codificación P y la disponibilidad de la señal L2, que recordamos que sólo es de uso militar, se puede llegar a una precisión de 30 centímetros. Si la SA estuviera activada, la exactitud sería variable y la escogería el gobierno americano y podría ser, por ejemplo, de 100 metros en horizontal y 150 metros en vertical. Con la poca exactitud que da la SA, que era la exactitud que tenía el servicio civil antes del año 2000, no se podían desarrollar aplicaciones fiables basadas en las señales emitidas por los satélites GPS, ya que, con errores de más de 150 metros, el posicionamiento tiene muy poca exactitud. Por poner un ejemplo de lo que podría significar esta baja exactitud, un vehículo circulando en un sentido de una autopista podría asociarse al otro carril de marcha o incluso a otra carretera cercana.

En la tabla 1 tenéis la exactitud del sistema GPS para cada servicio:

Tabla 1. Tabla comparativa de la exactitud que ofrece GPS en sus tres tipos de servicios

Servicio	Exactitud
SPS civil	15 metros por término medio, 2,5 como máximo
PPS militar	30 centímetros como máximo
SPS con SA activado	125 metros por término medio

El futuro del GPS

No podemos predecir del todo la evolución que seguirá el GPS en los próximos treinta años. Aun así, sí que podemos decir que el sistema GPS seguirá teniendo un papel relevante como soporte de servicios comerciales, civiles y militares, sobre todo en el ámbito de la navegación. El actual GPS no es lo bastante fiable para la navegación aérea ni marina y la evolución del GPS se dirigirá a mejorar las prestaciones de fiabilidad e integridad de las que adolece actualmente.

El sistema GPS está evolucionando hacia un sistema más sólido llamado GPS III, que permita más exactitud sin necesidad de sistemas de aumentación. Algunas de las mejoras que está previsto incorporar son:

- Inclusión de una nueva señal L2 para el uso civil.
- Ampliación de las señales de navegación con una nueva señal llamada L5 a la frecuencia 1.176,45 MHz.
- Incremento de la potencia de la señal.
- Mejora de la exactitud hasta un margen de 1 a 5 metros.
- Interoperabilidad con el futuro sistema europeo Galileo.

Se prevé una transición completa al sistema GPS III para el año 2017. El primer satélite preparado por esta transición estará listo para ser lanzado en el 2012.

2.1.3. Galileo

El sistema de posicionamiento Galileo (*Galileo positioning system*) es un proyecto europeo para el despliegue de un GNSS. Los impulsores del proyecto son la Unión Europea y la Agencia Espacial Europea (ESA, *European Space Agency*), aunque en los últimos años se han adherido otros países como China, Israel, Ucrania, India, Arabia Saudí, Marruecos y Corea del Sur, como colaboradores. El nombre del proyecto se debe al astrónomo italiano Galileo Galilei.

Los objetivos principales del proyecto Galileo son:

- Ofrecer un sistema de posicionamiento más preciso que el disponible hoy en día con los sistemas GPS y GLONASS.
- Ofrecer mejor posicionamiento a latitudes superiores a 70° N y S (al norte de Noruega, por ejemplo).
- Principalmente, disponer en Europa de un sistema independiente en el que se pueda confiar en tiempo de guerra o desacuerdos políticos. De esta manera, se quiere huir de la dependencia actual del sistema de posicionamiento GPS de los Estados Unidos, en el cual no se puede basar la aviación o la navegación marítima europeas. Aunque los EE.UU. desactivaron la SA del servicio GPS y se han comprometido a no volver a activarla, el servicio de

defensa de los EE.UU. sigue disponiendo de los medios para activarla y, en caso de guerra o desacuerdos políticos, se podría romper el acuerdo.

Galileo ofrecerá cinco servicios:

- **Open service u OS ('servicio abierto')**: servicio abierto (el resto de servicios están encriptados) a todos los usuarios con prestaciones similares al GPS actual, pero sin las limitaciones del GPS. Tendrá dos señales, con lo cual podrá tener una exactitud de 4 metros en horizontal y 8 metros en vertical cuando se reciban las dos señales. Los usuarios que sólo puedan recibir una señal tendrán una exactitud de 15 metros en horizontal y 35 en vertical, igual que el actual GPS con una sola señal.
- **Safety of life o SoL ('seguridad de vida')**: servicio orientado a usuarios que pueden poner en peligro vidas humanas si la precisión del sistema de navegación se puede degradar sin aviso previo en tiempo real. El servicio SoL suministra información sobre la calidad de la señal para que se pueda determinar la fiabilidad de la posición. Los usuarios principales serán aplicaciones críticas de seguridad en el sector marítimo, aéreo y ferroviario.
- **Comercial service o CS ('servicio comercial')**: servicio orientado al desarrollo de aplicaciones comerciales para distribuir informaciones de alto valor añadido y de pago.
- **Public regulated service o PRS ('servicio público regulado')**: servicio orientado a las administraciones públicas que añade tecnologías de reducción de interferencias en torno al receptor para mejorar la calidad de la señal y, por lo tanto, la exactitud.
- **Search and rescue service o SAR ('servicio de búsqueda y rescate')**: con este servicio, el proyecto Galileo contribuye a la organización internacional COSPAS-SARSAT en la mejora del servicio global de búsqueda y rescate que permite localizar en cuestión de minutos un avión o barco que envíe una señal de emergencia. Para hacerlo posible, los satélites Galileo llevarán integrados un equipo receptor-transmisor, independiente del sistema de posicionamiento, que permitirá retransmitir señales de emergencia enviadas desde tierra por balizas de emergencia. Estas señales se enviarán por la frecuencia 450 MHz hasta el centro de control, desde donde se atenderá la petición. La novedad del sistema Galileo es la capacidad de comunicar al emisor de la emergencia con un mensaje corto que la señal ha sido recibida y que en breve recibirá ayuda. Este servicio se llama *return link service* ('servicio de respuesta').

COSPAS-SARSAT

COSPAS-SARSAT es un sistema internacional basado en satélites para dar servicio a la búsqueda y rescate en caso de alertas de desastres naturales puesto en marcha por los EE.UU., Canadá, Francia y Rusia.

Por lo tanto, cada satélite del sistema Galileo emite cuatro señales para ofrecer estos servicios: una señal a 1.164-1.214 MHz y otra a 1.563-1.591 MHz para el servicio abierto y también como base para el resto de servicios; una señal extra para los servicios comerciales por la frecuencia 1.260-1.300 MHz, que se añade

a las dos del servicio abierto, y finalmente Galileo es capaz de recibir y retransmitir una señal de 450 MHz para el servicio de búsqueda y rescate.

En la tabla 2 tenéis la exactitud del sistema Galileo para cada uno de los servicios mencionados. Para cada servicio se especifica la cobertura de territorio con la que contará, la precisión en horizontal y en vertical, la disponibilidad de la señal y si el servicio dispondrá de información de integridad, servicio llamado *safety of life* (SoL):

Tabla 2. Tabla comparativa de los servicios que ofrece Galileo

	Open service (OS)	Commercial service (CS)		Public regulated service (PRS)		Safety of life service (SoL)
Cobertura	Global	Global	Local	Global	Local	Global
Precisión - horizontal (h) - vertical (v)	h = 4 m v = 8 m (frecuencia dual) h = 15 m v = 35 m (frecuencia individual)	< 1 m (frecuencia dual)	< 10 cm (señales aumentadas localmente)	h = 6,5 m v = 12 m	1 m (señales aumentadas localmente)	4-6 m (frecuencia dual)
Disponibilidad	99,8%	99,8%		99-99,9%		99,8%
Integridad	No	Servicio de valor añadido		Sí		Sí

Fuente: ESA

Aunque el programa de desarrollo del sistema Galileo sufre continuos ajustes, en el momento de escribir estos materiales, estaba previsto que Galileo fuese operativo a finales del año 2013 o principios del 2014. Cuando esté totalmente desplegado, estará dividido en tres elementos, como cualquier sistema de posicionamiento:

- **El centro de control:** estará formado por dos estaciones de tierra: una en Munich (Alemania) y la otra en Roma (Italia). Una de las estaciones estará activa y la otra estará en reserva por si la activa padece alguna incidencia o funciona mal. El centro de control recibirá datos de 40 estaciones con sensores distribuidos estratégicamente por toda la Tierra. Estas estaciones enviarán señales de telemetría y navegación que permitirán controlar la calidad de la señal que los satélites estén transmitiendo a los usuarios.
- **La red de telecomunicaciones para el posicionamiento:** estará compuesta por 30 satélites de órbita media alrededor de la Tierra, de los que 27 están activos y 3 en reserva. Los satélites se dispondrán en tres planos orbitales de 56° de inclinación sobre el ecuador y seguirán una órbita casi circular con un radio aproximado de 23.222 km. Cada satélite emitirá cuatro tipos de señales para dar soporte a los diferentes servicios que ya hemos mencionado.
- **Los terminales móviles:** habrá equipos capaces de recibir las señales del sistema Galileo. Estos equipos podrán determinar la posición, de la misma manera que lo hacen los otros GNSS, con una exactitud de 4 metros en la coordenada horizontal y en el servicio abierto y una exactitud mayor para los otros servicios.

 Sobre los tres elementos de un sistema de posicionamiento repasad el apartado 1.

2.1.4. GLONASS

GLONASS (*global'naya navigatsionnaya sputnikovaya sistema*, 'sistema global de navegación por satélite') es un GNSS desplegado y operado por Rusia. Es la única alternativa operativa actual al GPS, pero los problemas económicos y políticos de la antigua URSS han provocado la interrupción del proyecto y algunas dificultades en su puesta en marcha. Actualmente, la República Rusa está retomando el proyecto para hacerlo completamente operativo y poder competir con el GPS y con el futuro Galileo.

GLONASS consta de 24 satélites (21 activos y 3 en reserva) orbitando sobre tres planos inclinados $64,8^\circ$ sobre el ecuador. Cada plano orbital consta de 8 satélites. El radio de las órbitas es de 25.510 km y el periodo de revolución de cada satélite es de 11 horas y 15 minutos. Cada 8 días completan 17 vueltas.

GLONASS no ha supuesto competencia ni alternativa para el sistema GPS a causa de la falta de operación de los satélites durante los años noventa. Los primeros satélites se pusieron en órbita en 1982, pero el sistema no empezó a ser operativo hasta 1996. Sin embargo, en el 2002 sólo había 8 satélites operativos. En el 2007 había 21 satélites operativos y se sigue trabajando desde la República Rusa para disponer de los 24 satélites necesarios para dar cobertura global.

Los planes de despliegue incluyen:

- Modernizar los satélites para que puedan emitir tres señales con vistas a ofrecer diferentes servicios y completar la constelación hacia el año 2012.
- Ofrecer servicios de búsqueda y rescate (SAR) para contribuir a la organización internacional COSPAR-SARSAT.

GLONASS utiliza dos señales portadoras diferentes para cada uno de sus satélites. Las señales emitidas tienen frecuencia distinta, según el satélite, y siguen la siguiente fórmula:

$$\text{Señal L1} = 1.602 + 9 k / 16 \text{ GHz}$$

$$\text{Señal L2} = 1.246 + 7 k / 16 \text{ GHz}$$

Donde k es el número del satélite entre 0 y 23.

Igual que el GPS, GLONASS tenía un dispositivo que controlaban los militares con la intención de hacer menos preciso el posicionamiento en el uso civil. Sin embargo, en el 2007 ya se retiró esta disponibilidad selectiva para fomentar el uso del sistema y ya han salido al mercado algunos dispositivos que permiten escoger o bien las señales GPS o bien GLONASS, o incluso utilizar ambos combinados. Aun así, todavía no es un sistema que disponga de muchas aplicaciones ni dispositivos para el uso civil.

Cobertura global de la Tierra

Pensad que la Tierra es como una esfera. Para que desde toda la superficie de la esfera se tenga cobertura, deberían poderse ver tres satélites. Si dividimos la esfera en cuadrantes y ponemos tres satélites en cada cuadrante, deberíamos tener $8 \times 3 = 24$. Es el mínimo necesario para dar cobertura global.

2.1.5. Comparación de los sistemas de posicionamiento por satélite

Aunque ya habéis visto detalladamente los GNSS operativos y el proyecto de despliegue más relevante, ahora conviene dar una visión resumida que os ayude a comparar los datos que habéis ido viendo. En la tabla 3 tenéis una recopilación de las características principales de los tres GNSS que hemos visto:

Tabla 3. Tabla resumen de las características de los sistemas GNSS “actuales” y en desarrollo cuando se encuentren en fase operativa

	GPS	Galileo	GLONASS
Número de satélites	27	30	24
Satélites operativos	24	27	21
Satélites en reserva	3	3	3
Altura de la órbita (km)	20.182	23.222	19.140
Periodo de órbita (minutos)	718	845	676
Planos orbitales	6	3	3
Satélites por plano	4	9	8
Inclinación del plano orbital	55	56	64,8
Frecuencia señal L1	1.575,42 MHz	1.164-1240 MHz	$1.602 + 9 k / 16$ GHz (*)
Frecuencia señal L2	1.227,6 MHz	1.563-1.591 MHz	$1.246 + 9 k / 16$ GHz (*)
Frecuencia señal 3 (**)	1.176,4 MHz	1.260-1.300 MHz	?

* k indica el número de satélite.

** L5 para el GPS, señal del servicio CS para Galileo y señal L3 para GLONASS. En todos los casos, planes de futuro.

Los datos referentes al GPS y al GLONASS son los correspondientes al año 2007. Los datos referentes al proyecto Galileo son los planificados para su entrada en funcionamiento en el 2013.

2.2. Sistemas de aumentación

Los sistemas de aumentación son sistemas de corrección de las señales de los GNSS con el fin de mejorar la calidad del posicionamiento. Estos sistemas mejoran el posicionamiento en horizontal y en vertical y, además, ofrecen información de la calidad de las señales. Aunque en principio se desarrollaron para la navegación aérea, cada vez se está generalizando más su uso para cualquier aplicación que necesite un posicionamiento preciso y fiable.

El funcionamiento de los sistemas de aumentación se basa en la corrección de las señales del GNSS mediante estaciones terrestres de referencia que conocen su posición con precisión y miden el error al obtener su posición mediante las señales provenientes de los satélites GNSS. Estos errores, principalmente debidos a los retrasos provocados al atravesar la ionosfera, se calculan y se transmiten al resto de receptores GPS para que corrijan su posición teniendo en cuenta dicho error.

Hay dos tipos de sistemas de aumentación según la infraestructura en la que se basan para mejorar la calidad del posicionamiento:

- **SBAS (satellite based augmentation system, 'sistema de aumentación basado en satélites')**: son sistemas de aumentación que usan satélites geoestacionarios para mejorar la calidad del posicionamiento en un área muy extensa.
- **GBAS (ground based augmentation system, 'sistema de aumentación basado en tierra')**: son sistemas de aumentación que usan un conjunto de infraestructuras terrestres comunicadas con señales VHF o UHF. Cubren sólo un área pequeña pero son más precisos que los SBAS.

Los mostramos con detalle a continuación.

2.2.1. SBAS

En los sistemas SBAS los errores se distribuyen a los receptores mediante los satélites geoestacionarios. Las estaciones terrestres transmiten los errores obtenidos al satélite que, a su vez, los transmite a los receptores finales. Este método cubre una zona mucho más amplia pero, por las propias características de comunicación, puede tardar en llegar la información (hasta 6 segundos), lo que provoca que ya no sea fiable. La distancia entre el receptor final y la estación terrestre también puede provocar que el error calculado en el posicionamiento por la estación terrestre no sea el mismo que el provocado por el receptor, ya que la ionosfera no provoca los mismos retrasos en todas partes.

Algunos de los sistemas SBAS disponibles actualmente son:

- **WAAS (wide area augmentation system, 'sistema de aumentación de gran alcance')**. Lo opera el Departamento de Defensa de los EE.UU. y cubre principalmente América de Norte. El sistema consta de 24 estaciones de vigilancia, 2 estaciones maestras, 6 antenas de retransmisión de datos a los satélites y 3 satélites geoestacionarios (figura 8).

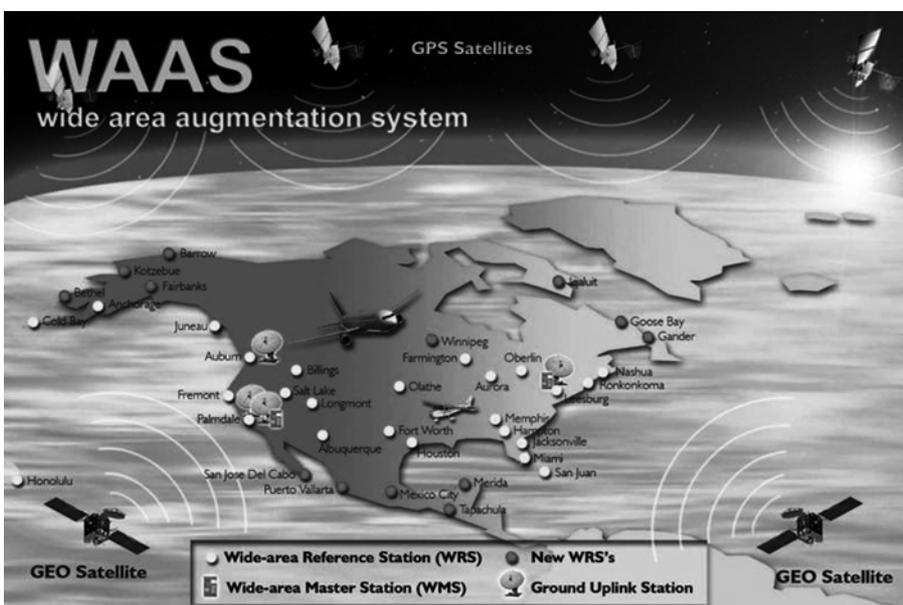


Figura 8. Disposición de las infraestructuras del sistema SBAS WAAS

- **EGNOS** (*European geostationary navigation overlay service*, 'servicio europeo de aumentación para la navegación basado en satélites geoestacionarios'): está desarrollado por la ESA y la Comisión Europea y está en fase de despliegue desde el 2005 y accesible para todo el mundo desde 2009. Se compone de 34 estaciones de referencia llamadas RIMS, 4 estaciones de control llamadas MCC, 3 antenas de retransmisión de datos a los satélites llamadas NLES y 3 satélites geoestacionarios. En la figura 9 podéis ver una distribución de estos elementos sobre el territorio:

RIMS: *ranging and integrity monitoring station* o *remote integrity monitoring station* ('estación de medición de distancias y de monitorización de la integridad' o 'estación remota para la monitorización de la integridad').

NLES: *navigation land earth station* ('estación terrestre para navegación terrestre').

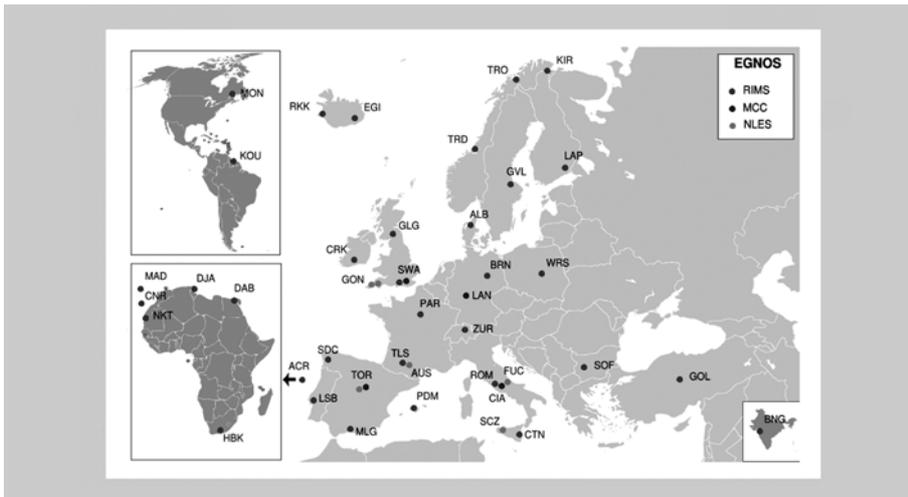


Figura 9. Disposición de las infraestructuras del sistema SBAS EGNOS

Nota

El 1 de octubre del 2009 entró en fase operativa el sistema EGNOS. El sistema comprende 3 satélites geoestacionarios, 40 estaciones de referencia y 4 centros de control.

Para más información, visitad la url:
<http://www.egnos-pro.esa.int/index.html>

Hay otros sistemas, como el MSAS (*multi functional satellite augmentation system*, 'sistema de aumentación por satélite multifuncional') en el Japón, o el GAGAN (*GPS and GEO augmented navigation*, 'GPS y GEO navegación aumentada'), planificado por la India.

Con sistemas SBAS se puede llegar a una precisión inferior a 1 metro tanto en vertical como en horizontal. Eso permite la navegación aérea asistida usando esta posición como referencia. El hecho de conocer la posición con certeza en la aviación es muy importante con vistas al control aéreo, la reducción de costes en carburante y la reducción de aparatos de posicionamiento menos precisos, más antiguos y más costosos de desplegar y de mantener. Sin embargo, esta precisión no es suficiente para las operaciones de aterrizaje y para eso están los sistemas GBAS.

2.2.2. GBAS

Los sistemas GBAS pueden operar en los aeropuertos y aeródromos y ofrecen una precisión suficiente incluso para hacer aterrizajes guiados en situaciones de visibilidad nula. En los sistemas GBAS la información del error se envía directamente al receptor mediante VHF. Eso requiere que el receptor esté muy cerca de la estación terrestre, pero da una posición muy exacta.

Los sistemas GBAS son mucho más locales que los SBAS y sólo dependen de disponer de las tecnologías de comunicación adecuadas, por lo que podemos hablar de sistemas desplegados en grandes ámbitos.

2.3. Sistemas de posicionamiento terrestres

Ya habéis visto el primer y más importante tipo de sistema de posicionamiento, ahora veremos los sistemas de posicionamiento terrestres, que son aquellos que se basan en infraestructuras instaladas en la tierra.

Ya sabéis que hay sistemas de aumentación que disponen sólo de infraestructuras en la Tierra, conocidos como GBAS, pero éstos no se consideran sistemas de posicionamiento terrestres sino sistemas de posicionamiento GNSS, ya que sin la constelación básica no serían operativos. Los sistemas de posicionamiento terrestre son, pues, los capaces de posicionar un receptor sin ninguna infraestructura en el espacio.

En general, los sistemas de posicionamiento terrestres por sí solos no pueden competir con los GNSS, ni por precisión ni por globalidad, pero es importante que los veáis, ya que los sistemas de posicionamiento híbridos, que estudiaréis más adelante en el apartado 2.5, usan combinaciones de los sistemas de posicionamiento terrestres y los GNSS para ir más allá de lo que se puede llegar con sólo los GNSS. Además, pueden dar más precisión en un ámbito de territorio determinado o para una aplicación concreta.

Podemos clasificar los sistemas de posicionamiento terrestre en los siguientes tipos:

- **Sistemas de posicionamiento para la navegación:** son aquellos que usan infraestructuras concebidas especialmente para ayudar a la navegación. Los hay tanto para la navegación marítima como para la navegación aérea. Actualmente son representativos de ellos el sistema LORAN (*long range navigation*, 'navegación de largo alcance'), usado principalmente para la navegación marítima, y el ILS (*instrument landing system*, 'sistema instrumental para el aterrizaje'), usado para los aterrizajes en la aviación civil.
- **Sistemas de posicionamiento basados en redes de telecomunicaciones:** son aquellos que utilizan redes de telecomunicaciones ya desplegadas para un uso diferente con vistas a obtener el posicionamiento. Es un claro ejemplo el posicionamiento de teléfonos móviles usando la red de repetidores de telefonía móvil.

A continuación vais a ver las características de cada uno de estos tipos de posicionamiento, pero antes os mostraremos el conjunto de métodos que usan estos sistemas para obtener la posición. De la misma manera que habéis visto cómo encuentran la posición los GNSS, ahora sabréis cómo la encuentran los sistemas de posicionamiento terrestres, aunque aquí existe más variedad de técnicas.

2.3.1. Funcionamiento de los sistemas de posicionamiento terrestres

Hay muchos métodos de funcionamiento diferente para obtener la posición dentro de los sistemas de posicionamiento terrestres y cada uno se basa en datos diferentes. Aunque después explicaremos qué método usa cada sistema, primero debéis verlos en general para conocer los conceptos en los que se basan. Estos métodos son:

- **CID (CELL ID, 'identificación de celda') o COO (cell of origin, 'celda de origen')**: es un método de posicionamiento muy simple que consiste en identificar la estación base que está más cerca o que se comunica con el dispositivo. Entendemos que el CID es el identificador de la estación base que nos da la posición más próxima al dispositivo.
- **AOA (angle of arrival, 'ángulo de llegada')**: es un método de posicionamiento que obtiene la posición según el ángulo de llegada de la señal proveniente de dos estaciones base. Deben tenerse, pues, herramientas para poder medir el ángulo de llegada de la señal. Una vez que disponemos de los dos ángulos de llegada, sólo es preciso que intersecten las rectas que se forman con la posición de las estaciones base y los ángulos para encontrar la posición, como podéis ver en la figura 10.

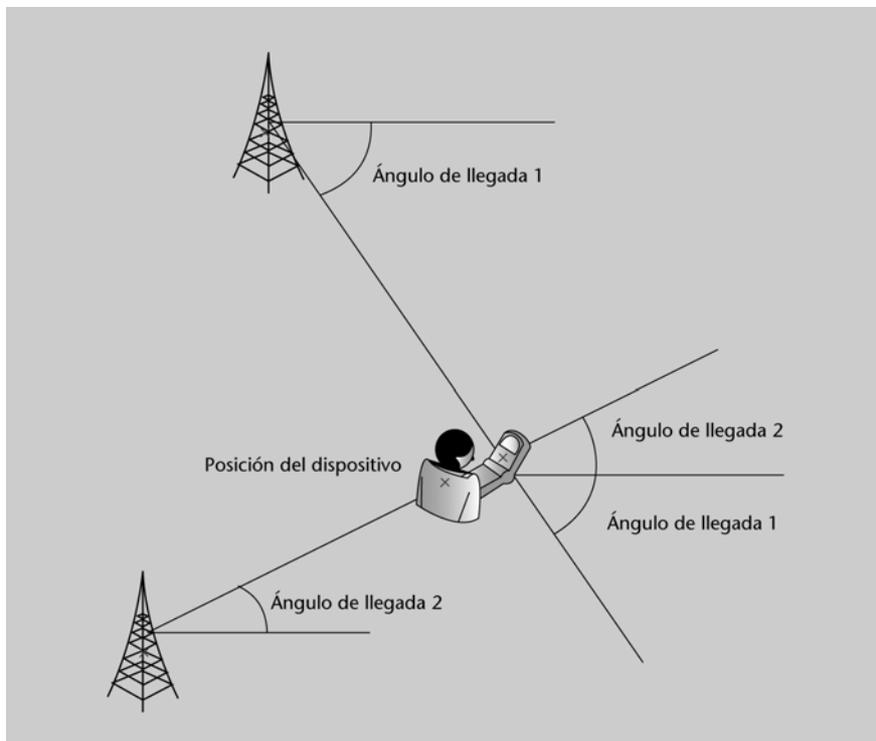


Figura 10. Cálculo de posición con el ángulo de llegada (AOA)

- **TDOA (time difference of arrival, 'diferencia en el tiempo de llegada')**: es un método de posicionamiento que obtiene la posición según la diferencia en los tiempos de llegada de las señales provenientes de tres o más estacio-

nes. En la figura 11 tenéis la representación gráfica de cómo se analiza el cálculo. El método que usa para encontrar la posición con estos datos se llama “multilateralización” y, vista su complejidad y relevancia, se explicará con detalle en el siguiente subapartado. Con este método, el cálculo de la posición lo realizan las infraestructuras de comunicación y no el terminal móvil.

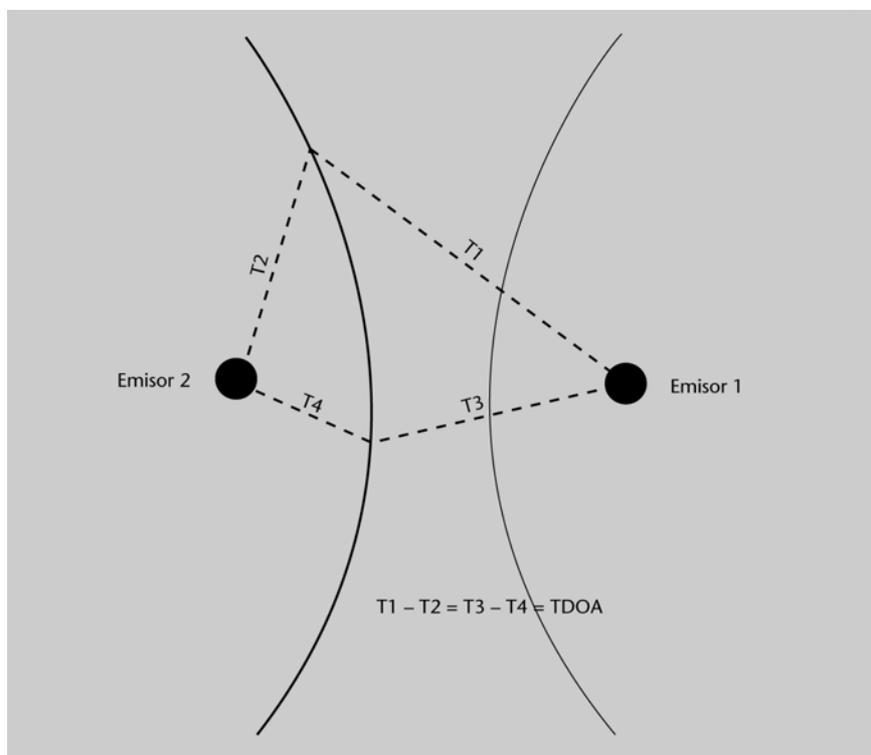


Figura 11. Rama de hipérbola con TDOA

- **E-OTD (*enhanced-observed timed difference*, ‘observación de la diferencia de tiempo mejorada’)**: es un método de posicionamiento similar al TDOA, con la diferencia de que la posición la calcula el mismo terminal móvil en vez de las infraestructuras de base.

Haremos referencia a estos métodos en la explicación de cada uno de los sistemas que los utilizan. A continuación, veremos con más detalle como funciona la multilateralización de que se ha hablado en TDOA.

Multilateralización

Uno de los métodos más usados por los sistemas de posicionamiento terrestres es la multilateralización basada en la diferencia en los tiempos de llegada de las señales (TDOA). Si una señal de telecomunicaciones se envía desde diferentes emisores de forma sincronizada, estas señales llegarán a un receptor en tiempos ligeramente diferentes, ya que los emisores están situados a distancias diferentes del receptor.

Veremos el método en dos dimensiones para que sea más fácil de entender, pero se puede extrapolar a tres dimensiones, como habéis visto que se hacía en el posicionamiento de GNSS.

El método de posicionamiento se basa en localizar en el espacio todos los puntos que recibirían las señales con la misma diferencia de tiempo. A una velocidad de transmisión fija, el tiempo que tarde la señal en llegar es directamente proporcional a la distancia (recordad que espacio es igual a velocidad por tiempo). Si representamos en el espacio todos aquellos puntos que recibirían dos señales de dos emisores con la misma diferencia de tiempo (ved figura 12), obtenemos una rama de una hipérbola donde los focos son los dos emisores.

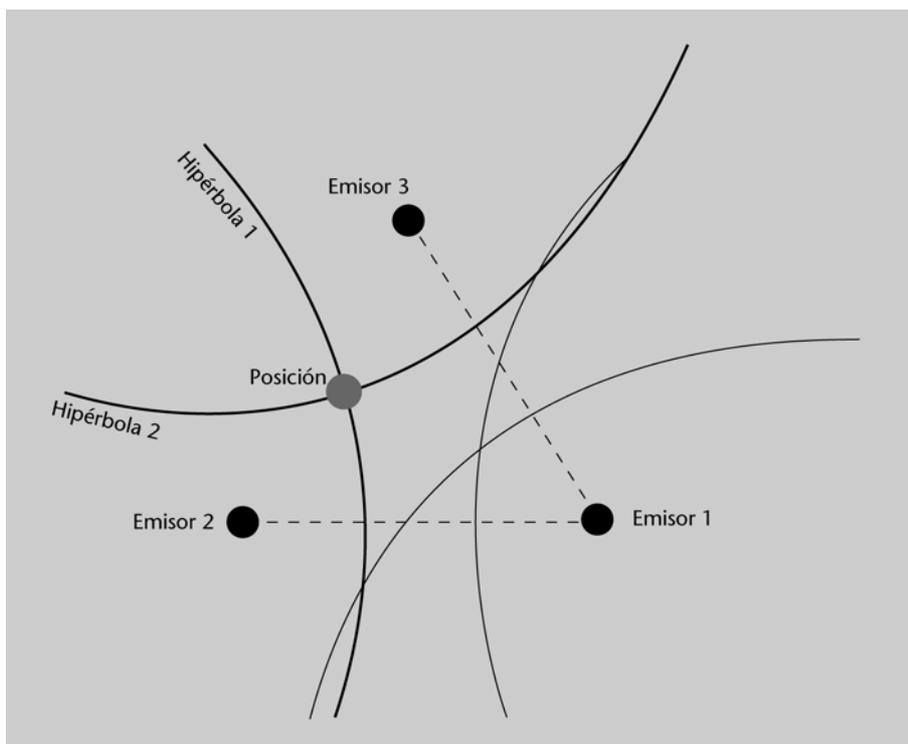


Figura 12. Cálculo de posición con multilateración

Recordad que una hipérbola está definida por todos los puntos tales que el valor absoluto de la diferencia de las distancias a los dos focos es constante. Si sólo queremos los valores que dan la diferencia positiva, entonces nos queda sólo una de las ramas de la hipérbola.

Con dos emisores no podemos conocer la posición, pero podemos añadir otro emisor y construir una nueva rama de hipérbola basada en la diferencia de tiempo de llegada de las señales del nuevo emisor y uno de los que ya teníamos. De esta manera, obtenemos dos ramas de hipérbolas. Si intersecamos estas dos ramas de hipérbolas, obtenemos la posición del punto que buscábamos. Podéis ver una representación de ello en la figura 12: la rama 1 es la rama de hipérbola de diferencia positiva, donde los focos son el emisor 1 y el emisor 2. La rama 2 es la rama de hipérbola de diferencia positiva, donde los focos son el emisor 1 y el emisor 3. La posición es el resultado de la intersección de estas dos ramas.

Observación

El método también se puede usar teniendo un solo emisor de señal y tres o más sensores que lo reciban. Así, se invierte el sentido de la señal de comunicaciones pero se mantiene el proceso de cálculo de posición.

¿Por qué usar este método mucho más complejo que la intersección de esferas que usaban los GNSS? Fijaos en que la multilateración no requiere conocer el tiempo de llegada, sólo la diferencia de tiempo de llegada entre dos señales.

Eso permite que no viaje información en la señal y ésta sea sólo una pulsación, lo cual permite simplificar los emisores. Con emisores de señales simples se puede disponer de manera más económica de una red de emisores de pulsaciones muy extensa que permita un posicionamiento mejor.

2.3.2. Sistemas de posicionamiento terrestres para la navegación

Entendemos por *sistemas de posicionamiento terrestres para la navegación* aquellos que basan el posicionamiento en infraestructuras terrestres instaladas expresamente con el objetivo de ofrecer posicionamiento para la navegación en un medio de transporte determinado, principalmente navegación marítima y aérea.

Navegación marítima

El sistema principal de posicionamiento terrestre para la navegación marítima es el LORAN (*long range navigation*, 'navegación de largo alcance'), que actualmente se encuentra en la versión LORAN-C. Este sistema lo operan los guardacostas de los Estados Unidos desde 1979 y es descendiente del sistema LORAN-A, creado en 1942, durante la Segunda Guerra Mundial.

LORAN dispone de varias antenas de comunicaciones desplegadas por todo el mundo que transmiten señales por la frecuencia de 90 a 110 kHz y con una potencia de entre 100 y 4.000 kW. El sistema de posicionamiento usado por LORAN-C es la multilateralización que habéis visto en el subapartado 2.4.2. Para decidir qué infraestructuras seleccionar para calcular las hipérbolas, LORAN-C agrupa las infraestructuras en tríadas con una estación maestra y dos secundarias. Actualmente, hay operativas unas 70 estaciones de LORAN-C con un alcance medio de unos 2.000 km cada uno. LORAN-C no cubre todo el mundo, pero la cobertura es bastante buena en los EE.UU., en Europa y en la costa del Pacífico. El uso del LORAN-C no es exclusivo de la navegación marítima, pero su uso y su cobertura están orientados principalmente a este sector.

En la comunidad internacional se han levantado algunas voces a favor de la eliminación del sistema LORAN-C. Argumentan que el coste que representa mantenerlo operativo no justifica los pocos usuarios del sistema y que los sistemas GNSS son una buena alternativa a su funcionalidad. Los defensores de LORAN-C argumentan en respuesta que:

- 1) Utiliza una señal muy potente y difícil de interferir (más potente que los GNSS).
- 2) Es un sistema independiente que puede usarse como reserva en caso de que no haya ningún GNSS operativo o disponible.

3) Las señales de LORAN-C pueden combinarse con las señales de GNSS para crear sistemas de posicionamiento híbridos.

El sistema LORAN-C está siendo objeto de estudio para evaluar la posibilidad de realizar mejoras en la señal transmitida y en los receptores. Estas mejoras llevarán al E-LORAN (*enhanced LORAN*, 'LORAN mejorado'). Este nuevo sistema incluirá pulsaciones de señal adicionales que podrán transmitir datos que contengan correcciones diferenciales de señales GPS y así funcionarán como un sistema de aumentación.

Con el actual sistema LORAN-C, el error medio en el posicionamiento es de 450 m, mientras que, con el nuevo sistema E-LORAN, el error puede ser de sólo 8 metros. Eso hace que el sistema E-LORAN pueda ser una alternativa allí donde los GNSS no estén disponibles o donde la funcionalidad de éstos esté degradada.

Hay otros sistemas de posicionamiento para la navegación marítima que deben mencionarse:

- CHAYCA es la alternativa rusa al sistema LORAN-C y también está operativo actualmente.
- DECCA fue un sistema usado por los británicos en la Segunda Guerra Mundial y también se utilizó para las explotaciones petrolíferas, como las del Mar del Norte, hasta el año 2000. Actualmente ya no está operativo.
- OMEGA fue el primer sistema de posicionamiento realmente global para aplicaciones aeronáuticas militares. El sistema fue operativo entre 1971 y 1997 y servía principalmente para guiar bombarderos nucleares a través del Polo Norte hasta Rusia y para el posicionamiento de submarinos.

Navegación aérea

Actualmente, para la aviación civil –es decir, los aviones que todos conocemos y cogemos para movernos de un lugar a otro del planeta– se usan mayoritariamente dos sistemas de posicionamiento terrestres:

- VOR/DME (*very high frequency, omnidirectional ranging / distance measuring equipment*, 'equipo de medida de distancias de alcance omnidireccional de muy alta frecuencia').
- ILS (*instrumento landing system*, 'sistema instrumental de aterrizaje').

Estos sistemas usan la banda VHF (*very high frequency*, 'muy alta frecuencia') entre 108 y 118 MHz. La precisión es mucho mejor que en los sistemas de posicionamiento que usan la multilateralización como el LORAN-C, ya que las ondas son de frecuencia más elevada, pero por otra parte, tienen mucho menos alcance. Además, requieren visión directa entre el emisor y el receptor

para operar. La precisión de los sistemas VOR/DME es de entre 60 y 80 m, mientras que con ILS es de 10 m.

El sistema ILS se usa para ayudar a aterrizajes con visión reducida o nula. Los emisores de señales se sitúan a ambos lados de la pista de aterrizaje y emiten desde cada lado una frecuencia portadora. La de la izquierda está modulada en amplitud a 90 Hz y la de la derecha a 150 Hz. Los sensores del avión reciben estas señales, calculan la diferencia entre las señales de la izquierda y de la derecha y, cuando la diferencia es cero, eso implica que están centrados en la pista de aterrizaje.

Estos sistemas son muy caros de instalar y por eso se está esperando a las mejoras de los sistemas de posicionamiento GNSS y a los sistemas de aumentación para ahorrarse el coste.

Nota

No confundáis la frecuencia de modulación con la frecuencia de la portadora. Así, los ILS trabajan en el rango de los 108 a 112 MHz y las portadoras de esta señal están a unas frecuencias de 90 y 150 Hz, según provengan de la izquierda o de la derecha.

Comparación de los sistemas de posicionamiento terrestres para la navegación

Ahora que ya habéis visto tanto la navegación marítima como la navegación aérea, os presentamos una comparación de estos sistemas. En la tabla 4 observaréis que la precisión del posicionamiento depende directamente de la longitud de onda de comunicación. De la misma manera, a mayor precisión, menor cobertura, como podéis ver en la tabla 4:

Tabla 4. Tabla comparativa de los sistemas de navegación marítima y aérea

Sistema	Frecuencia	Longitud de onda	Exactitud	Cobertura
Omega	10-13 kHz	26 km	3-6 km	Global
LORAN-C	100 kHz	2,5 km	460 m	~10%
VOR/DME	108-118 MHz	~2,5 m	60-180 m	Visión directa
ILS	108,10-111,95 MHz	~1 m	5-10 m	Visión directa

2.3.3. Sistemas de posicionamiento terrestres basados en redes de telecomunicaciones

Veamos ahora el segundo tipo de sistemas de posicionamiento terrestres: los basados en redes de telecomunicaciones. Con la expresión *redes de telecomunicaciones* no sólo nos referimos a las infraestructuras de telefonía móvil, sino también a cualquier tecnología de comunicaciones actual, sea con una cobertura global o con una cobertura muy reducida. Las tecnologías de telecomunicaciones sobre las que se pueden implementar sistemas de posicionamiento son:

- **Bluetooth.** Es un sistema de comunicaciones de corto alcance entre dispositivos. De forma similar a la telefonía móvil, los dispositivos Bluetooth

Recordad que el método CID se ha tratado en el subapartado 2.3.1.

pueden constituir miniceldas de 100 m de cobertura. Se pueden desarrollar sistemas de posicionamiento basados en estas celdas por el método CID. Esta tecnología se podría usar para un ámbito de territorio muy pequeño y requiere muchos dispositivos para ofrecer una exactitud aceptable.

- **WLAN** (*wireless local area network*, ‘red sin hilo de área local’). Es un sistema de comunicaciones sin hilo para redes de ordenadores. Los sistemas de posicionamiento sobre WLAN pueden calcular la posición según las características de propagación de la señal –en concreto la intensidad de la señal recibida– y en ellos se pueden aplicar las técnicas TDOA y AOA.
- **RFID** (*radio frequency identification*, ‘identificación por radiofrecuencia’). Es un sistema de identificación automático de bajo coste comparable a los códigos de barras pero con comunicación por radio. La tecnología RFID no permite el posicionamiento, pero sí el seguimiento real del recorrido de un elemento móvil a medida que va pasando por sitios de identificación.

Recordad que las técnicas TDOA y AOA se han tratado en el subapartado 2.3.1.



Todas estas tecnologías inalámbricas permiten posicionamiento dentro de ámbitos muy pequeños pero que podrían cubrir zonas de interés como un hotel, una convención o un acontecimiento que podría organizarse en un edificio y no disponer de posicionamiento GNSS.

Telefonía móvil

Los sistemas de posicionamiento basados en redes de comunicación terrestre son los más extendidos por la amplia red de repetidores disponibles de este tipo de tecnologías. Entre ellos se encuentran los sistemas de posicionamiento basados en tecnologías de telefonía móvil, como GSM, GPRS o UMTS.

Para posicionar un dispositivo con telefonía móvil, pueden usarse todos los métodos que habéis visto en el subapartado 2.3.1. Éstos se basan en el hecho de que la señal de radiofrecuencia se propaga a velocidad constante y de que el trayecto seguido por la señal es previsible. Vais a ver ahora las características y capacidades concretas de cada método para la telefonía móvil:

- **CID o COO**. El método de CID es el más sencillo y económico de implementar. Consiste en indicar la célula a la que el teléfono está conectado. A causa de que las células de telefonía móvil pueden tener kilómetros de radio de cobertura, este método es muy poco preciso. La precisión puede llegar a 100 m en áreas urbanas con elevada densidad de estaciones base, y hasta 32 km en zonas rurales. Este método sólo es accesible para la operadora, ya que la información de la estación base con la que estamos conectados no es pública.
- **E-CID** (*enhanced cell identification*, ‘identificación de célula mejorada’). Se basa en el mismo principio que el método CID pero, aplicando

Compartimentación del territorio

En telefonía móvil el territorio se compartimenta en una red de células. En el centro de cada célula se sitúa una estación base, que provee de cobertura a toda la célula.

un par de técnicas más, es capaz de mejorar su precisión. Se usan técnicas de adelanto temporal (TA, *timing advance*) y de medición de potencia (PM, *power measurement*) para determinar la distancia a la que se encuentra el teléfono móvil:

- La técnica TA consiste en medir el tiempo que tarda en recibirse de vuelta un pulso que se emite desde la estación base hacia el teléfono móvil, y el teléfono móvil lo reemite hacia la estación base. Se deduce la distancia a partir del retardo medido multiplicado por la velocidad de la luz (299.792.458 m/s).
- La técnica PM consiste sencillamente en suponer que cuanto más lejos se encuentre el dispositivo, peor potencia de señal tendrá. También es frecuente que las estaciones base dispongan de sistemas radiantes con tres o cuatro sectores circulares. Eso permite determinar en qué tercio o cuadrante se encuentra el teléfono y así delimitar un poco más su posición. La ventaja de este método es que no es necesaria inversión extra en infraestructuras ni en dispositivos. Ya se ha implantado en los Estados Unidos para reducir el espacio de atención en llamadas al servicio de emergencia E-911. En la figura 13 podéis ver una representación del posicionamiento con E-CID.

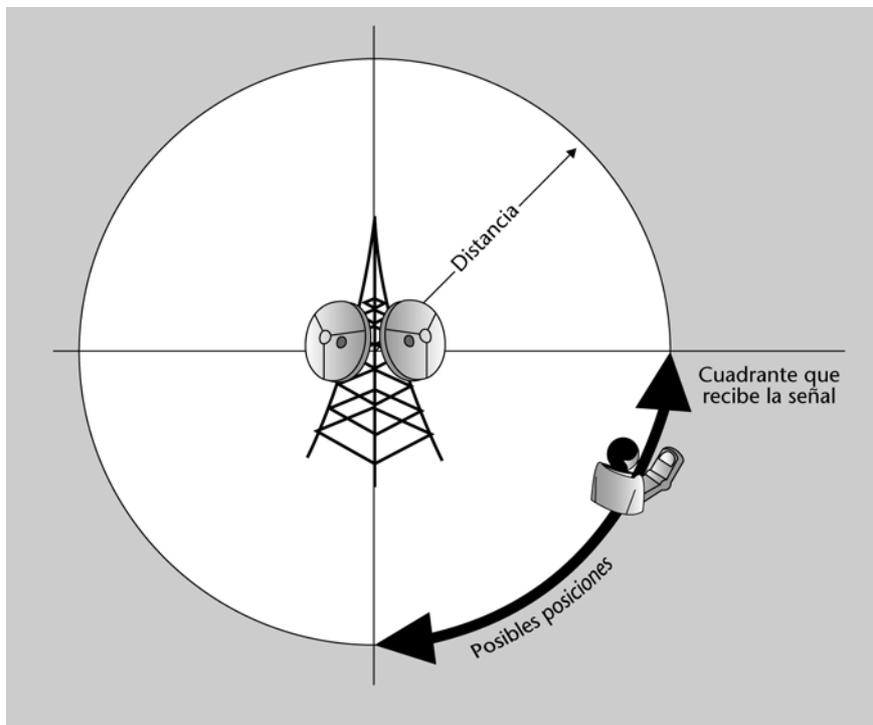


Figura 13. Cálculo de posición con E-CID

- AOA. El método de ángulo de llegada calcula la posición del teléfono móvil en función del ángulo con que la señal llega a la estación base. Para ello, cada estación base usa un conjunto de antenas agrupadas en lo que se conoce como “sistema radiante”. Midiendo la potencia de la señal recibida, el momento en

Recordad que el método AOA se ha tratado en el apartado 2.3.1.



el que llega y la fase de cada antena del sistema radiante, es posible calcular la dirección de llegada de la señal del teléfono móvil a la estación base. Si en la misma zona disponemos de otras estaciones de base con sistemas radiantes similares, podemos obtener la dirección de llegada de la señal a estas otras estaciones y aplicar el método del AOA. Si bien la principal ventaja del uso de este método es que funciona con cualquier teléfono móvil, el inconveniente es que requiere el uso de estaciones base especiales con sistemas radiantes.

- **TDOA.** El sistema TDOA calcula la posición del teléfono móvil comparando los tiempos de llegada de la señal del teléfono a diferentes sensores situados en las estaciones base. Estos sensores se llaman LMU (*location measurement units*, 'unidades de medición de localización') y deben instalarse expresamente para realizar estos tipos de posicionamiento. Este sistema funciona para cualquier teléfono móvil y su precisión oscila entre los 50 y los 200 m. El sistema es adecuado para entornos urbanos, donde se quieren posicionar principalmente elementos que están en el interior de edificios y, por lo tanto, no se puede hacer con GNSS. El operador debe realizar, sin embargo, una fuerte inversión en red para poder ofrecer este servicio.
- **E-OTD.** Este método es similar al TDOA, con la diferencia de que es el terminal móvil el que calcula la posición. Este método sólo funciona con terminales con funcionalidades específicas para calcular tiempo de llegada de las señales.

En la tabla 5 tenéis una comparación de estos métodos. Se separa el entorno rural y el entorno urbano, ya que tienen una densidad de estaciones base muy diferente que puede afectar a la precisión:

Tabla 5. Tabla comparativa de la exactitud de los métodos de posicionamiento utilizados en telefonía móvil celular

Método	Entorno rural		Entorno urbano	
	Precisión horizontal	Disponibilidad	Precisión horizontal	Disponibilidad
CID	10 km a 30 km	95%	300 m a 3 km	95%
E-CID	500 a 2.000 m	< 70% dependiendo del número de estaciones base	150 m a 2.000 m	< 95% dependiendo de la disponibilidad de la señal GSM
AOA	> 10 km En función del diagrama de radiación de las antenas	< 70% dependiendo del número de estaciones base	> 10 km En función del diagrama de radiación de las antenas	< 95% dependiendo de la disponibilidad de la señal GSM
TDOA	50-200 m	< 70% dependiendo del número de estaciones base	50-200 m	< 95% dependiendo de la disponibilidad de la señal GSM
E-OTD	50-400 m	< 70% dependiendo del número de estaciones base	50-400 m	< 95% dependiendo de la disponibilidad de la señal GSM

Fuente: ESA

Estos métodos de posicionamiento se pueden usar tanto con GSM como con GPRS o UMTS.

2.4. Sistemas de posicionamiento inerciales

Ya habéis visto los sistemas de posicionamiento por satélite y terrestres y los sistemas de aumentación respectivos, y ahora vais a ver el tercer tipo: los sistemas de posicionamiento inerciales o INS (*inertial navigation systems*, 'sistemas de navegación inerciales').

Un sistema de posicionamiento inercial es una ayuda a la navegación que usa un ordenador y sensores de movimiento para seguir continuamente la posición, la orientación y la velocidad de un vehículo sin necesidad de referencias externas. Se basa en el principio de que, si conocemos nuestra posición inicial y registramos todos nuestros movimientos, debemos conocer a la fuerza nuestra posición en cada momento.

Un sistema de posicionamiento inercial incluye como mínimo un procesador y un conjunto de sensores que comprenden acelerómetros, giroscopios y otros sensores de movimiento. El INS obtiene su posición inicial de otra fuente como un GNSS. También consigue su velocidad de una fuente externa como el mismo vehículo. Una vez inicializado con la posición inicial y la velocidad inicial, el INS no necesita ninguna otra información externa: puede detectar un cambio en su posición, un cambio en su velocidad y un cambio en su orientación; y lo hace midiendo las aceleraciones lineales y angulares.

Al no requerir comunicación con el exterior, los INS son ideales para posicionamiento *indoor*, donde no hay cobertura de telefonía móvil ni visión directa de satélites. Por eso se pueden usar para el posicionamiento de vehículos cuando pasan por túneles, para el posicionamiento de trenes de metro o para el posicionamiento de personas cuando entran en una mina.

Los giroscopios miden la velocidad angular y, una vez conocidas las condiciones iniciales, permiten conocer la orientación del objeto en movimiento en todo momento. El acelerómetro mide la aceleración lineal en la dirección de movimiento actual, lo que permite, conociendo las condiciones iniciales, medir la variación de velocidad para deducir la posición a lo largo del tiempo.

Los INS no sufren errores debidos a la comunicación, pero sí errores debidos a las mediciones. Estos pequeños errores en la medición de la aceleración y de la orientación se acumulan en errores progresivamente mayores. Por lo tanto, estos sistemas acumulan el error y lo propagan y, por eso, es bueno ir inicializando o rectificando la posición allí donde sea posible para corregir el error acumulado.

El método de seguimiento usado por los INS se conoce como *dead reckoning*. La traducción de este concepto sería *estimación* o, coloquialmente, *cálculo a ojo*.

Indoor

Con el término *indoor* nos referimos a todas aquellas actividades que se realizan en el interior de edificios, subterráneos, túneles, galerías, cuevas, etc.

2.5. Sistemas de posicionamiento híbridos

El último tipo de sistema de posicionamiento que nos queda por ver no es más que la combinación de todos los anteriores. Como habéis visto, todos los sistemas de posicionamiento tienen sus ventajas y sus inconvenientes.

En resumen, podríamos decir:

- Los sistemas de posicionamiento por satélite son los que ofrecen más precisión y tienen cobertura más global, pero presentan los inconvenientes de que no pueden calcular la posición en entornos *indoor* y de que su señal es fácilmente interferible, ya que es muy débil.
- Si necesitamos todavía más precisión que la dada por los GNSS, debemos disponer de sistemas de aumentación.
- Si queremos evitar que puedan interferirnos la señal, necesitamos un sistema con potencia de señal, como LORAN-C.
- Si queremos posicionar elementos en entornos *indoor* que disponen de comunicaciones (como por ejemplo cobertura de telefonía móvil), podemos utilizar sistemas de posicionamiento basados en redes de telecomunicaciones.
- Si no sólo es un entorno *indoor*, sino que además no tenemos cobertura de ninguna red de telecomunicaciones, necesitamos sistemas de posicionamiento inerciales.

Todas estas combinaciones dan lugar a los diferentes sistemas de posicionamiento híbridos.

A continuación vais a ver las combinaciones más habituales entre sistemas de posicionamiento para formar sistemas híbridos: A-GNSS, GNSS + LORAN-C, GPS + GLONASS + Galileo y GNSS + INS.

2.5.1. A-GNSS (*assisted GNSS*, 'GNSS asistido')

El primer sistema de posicionamiento híbrido que vais a ver es el llamado *assisted GNSS* o A-GNSS. Esta técnica integra el GNSS con los sistemas de posicionamiento basados en telefonía móvil. Requiere que el teléfono móvil disponga de un receptor GNSS y una aplicación que procese la información que recibe del receptor. Actualmente sólo existe el A-GPS como A-GNSS, ya que GLONASS ha comenzado recientemente a ser operativo y Galileo es sólo un proyecto, pero la técnica se puede aplicar a cualquiera de los tres GNSS.

El A-GNSS se desarrolló como petición del servicio de emergencias de los Estados Unidos para saber la posición de un teléfono móvil que hiciera una llamada de emergencia. El GNSS individualmente no servía, ya que presentaba dificultades para posicionar en condiciones de mala señal o en ambientes *in-door*, como sería el caso, por ejemplo, de un móvil que estuviera rodeado de edificios altos o dentro de una casa.

Para solucionar este inconveniente, el A-GNSS usa un servidor de asistencia que:

- Puede saber dónde se encuentra el teléfono aproximadamente mediante la técnica E-CID.
- Recibe las señales de los satélites perfectamente y posee una gran capacidad computacional, por lo cual puede comparar señales recibidas desde el teléfono y funcionar como un sistema de aumentación.
- Puede proveer los datos del satélite como el almanaque o las efemérides cuando la señal no es lo suficientemente buena para que la reciba el teléfono de forma autónoma.

 Recordad que el método E-CID se ha tratado en el subapartado 2.3.2., en la parte dedicada a telefonía móvil.

Este sistema es un híbrido entre el posicionamiento por satélite con aumentación y el posicionamiento basado en la red de telefonía móvil.

2.5.2. GNSS + LORAN-C

Otro sistema híbrido es la combinación de GNSS con posicionamiento terrestre como el provisto por LORAN-C. Esta integración consiste en la fusión de los sensores de los dos sistemas y complementa las carencias de uno y otro sistema.

LORAN-C puede complementar los GNSS cuando éstos no están disponibles por falta de visibilidad de los satélites o cuando la señal ha sido interferida. Los GNSS complementan el LORAN-C dando el posicionamiento global y la precisión que le faltan. La elevada potencia de transmisión de las estaciones de LORAN-C (de 100 a 4.000 kW) permite una gran disponibilidad de estas señales, que se pueden usar en situaciones en las que las señales GNSS se han degradado o son inexistentes. Por otra parte, los retrasos de propagación de las ondas LORAN-C se pueden corregir con precisión usando las señales GNSS.

2.5.3. GPS + GLONASS + Galileo

Los sistemas híbridos anteriores integraban GNSS con otros tipos de sistemas de posicionamiento. Sin embargo, otra opción válida es la combinación de los diferentes GNSS para completar las carencias entre ellos mismos. La disponibilidad de los sistemas integrados es normalmente mejor que la disponibilidad de cada uno de ellos por separado. Cuantos más satélites añadimos al sistema, más aumentamos su integridad y la fiabilidad.

Integrar GPS y GLONASS tenía sentido antes del año 2000, cuando GPS tenía activada la SA, ya que GLONASS permitía mejorar la precisión de la señal con disponibilidad selectiva del GPS. Sin embargo, la integración tiene inconvenientes, ya que GPS y GLONASS no comparten ni sincronismo ni datum por la posición.

En el futuro, la combinación de GPS y Galileo constituye una buena opción ya que, tal como han anunciado las autoridades comunitarias y americanas, Galileo y GPS serán interoperables, a la vez que mantendrán la independencia entre sí. Disponer de 30 satélites añadidos a los disponibles actualmente permitirá obtener una precisión de posicionamiento impensable hoy día.

2.5.4. GNSS + INS

El último sistema híbrido que vamos a ver es la integración entre un GNSS y un sistema inercial. La integración entre posicionamiento por satélite y sistemas inerciales está en investigación y desarrollo. Los sistemas inerciales pueden complementar los navegadores basados en GNSS para pérdidas temporales de disponibilidad como, por ejemplo, al entrar en túneles.

Las aplicaciones de navegación ya intentan simular los sistemas inerciales suponiendo, con inteligencia artificial algunos de ellos, el camino que seguirá el vehículo. Estas suposiciones se basan en el hecho de que el vehículo seguirá en línea recta o seguirá por la vía por donde iba, pero no usan sensores de movimiento y, por lo tanto, en realidad no integran un INS.

Este sistema híbrido puede incrementar la precisión en lugares con edificios muy altos o con muchos túneles donde la señal del GNSS está poco disponible. El GNSS complementa las carencias de los INS al ir corrigiendo el error acumulado tan pronto como hay disponibilidad de señal.

3. Elementos de una aplicación geotelemática

Una vez vistos los diferentes métodos que se utilizan para saber la posición de un dispositivo móvil, cabe preguntarse por la utilidad práctica de dicha información. También hemos visto los diferentes métodos y tecnologías que se utilizan para medir y conocer las coordenadas de la posición. Ahora bien, ¿cómo podemos obtener la localización y las funcionalidades de navegación?, ¿qué otras aplicaciones se pueden obtener de los sistemas de posicionamiento, y en particular de los sistemas GNSS?

En este apartado abordaremos la descripción de las diferentes aplicaciones que se pueden desarrollar gracias a conocer la posición del usuario, entre las cuales se encuentran las siguientes:

- Las aplicaciones de localización.
- Las aplicaciones de ayudas a la navegación.
- Las aplicaciones de búsqueda y rescate en caso de emergencia.

Dichas aplicaciones se basan en cuatro elementos fundamentales:

- 1) El hecho de que el usuario en movimiento lleve consigo, o en su vehículo, TTGG.
- 2) La existencia de diferentes tipos de infraestructuras:
 - Infraestructuras de posicionamiento.
 - Infraestructuras de telecomunicación, capaces de dar cobertura radioeléctrica a una amplia zona geográfica, por la cual se van a desplazar los terminales.
- 3) La existencia de proveedores de servicios de telecomunicaciones (de pago o financieros) y servicios de contenidos
- 4) La existencia de un CC, o de una aplicación informática, que se ejecuta localmente en un PC, al que podemos acceder vía Internet.

El esquema de la figura 14 representa gráficamente la relación existente entre estos cuatro elementos que componen la arquitectura global de una aplicación geotelemática.

Estos cuatro elementos están presentes en mayor o menor grado en la mayoría de las aplicaciones de los sistemas de posicionamiento, que también podemos

Recordatorio de abreviaturas

Terminal geotelemático: TG
Terminales geotelemáticos: TTGG
Base de datos: BD
Bases de datos: BBDD
Sistemas de gestión de bases de datos: SGBD
Centro de control: CC

denominar *aplicaciones geotelemáticas*. En los siguientes apartados vamos a describir brevemente la función que cumple cada uno de estos elementos en una aplicación geotelemática, a excepción de las infraestructuras, ya que hemos visto los sistemas de posicionamiento en el apartado anterior y las infraestructuras en general no son objeto de análisis en esta asignatura, aunque sí las describiremos brevemente.

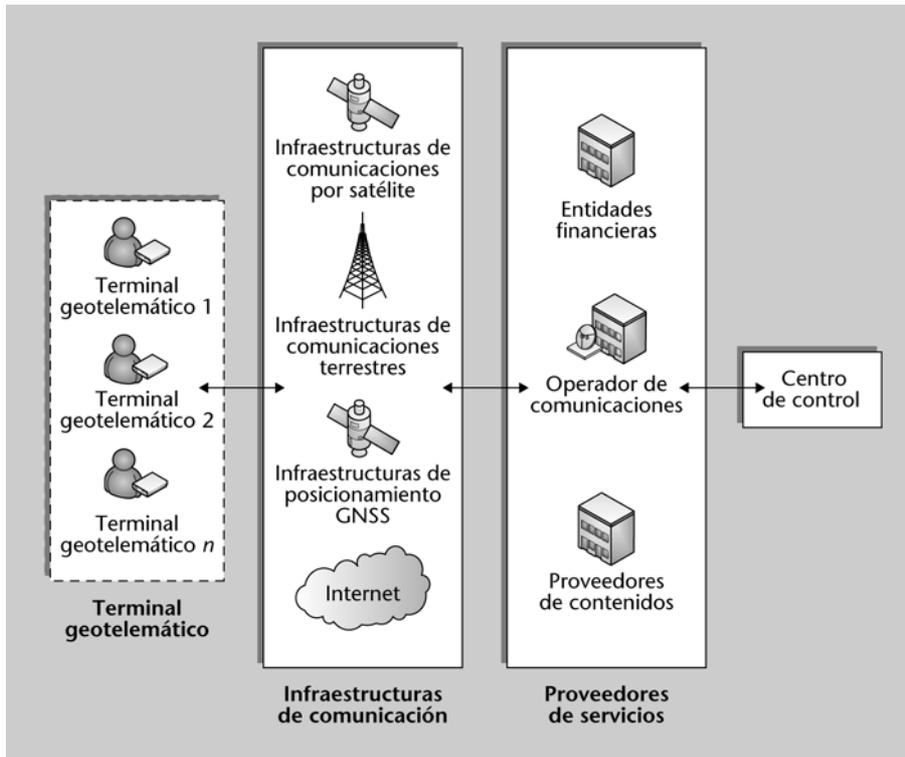


Figura 14. Arquitectura global de una aplicación geotelemática genérica

3.1. Terminales geotelemáticos

Las aplicaciones de los sistemas de posicionamiento se basan en el hecho de que disponemos de un terminal geotelemático (TG), cuyo núcleo central es un microprocesador o CPU (del inglés *central process unit*, unidad central de proceso), que tiene en su memoria un programa informático que obtiene su posición a través del módulo de posicionamiento. La información de posición se almacena y se procesa, según requiera la aplicación para la cual ha sido diseñado, y gracias al módulo de comunicaciones, accede a un sistema o infraestructura de telecomunicaciones. Este sistema permite transmitir, en función de las necesidades, la información de posicionamiento adquirida:

- Inmediatamente
- Periódicamente
- A petición del CC

En el CC se analiza la información recibida para tomar las decisiones que correspondan. En algunas aplicaciones puede ser necesario enviar los datos ad-

quiridos hacia otros dispositivos electrónicos móviles que puedan estar interesados en conocer su posición y sus datos.

La descripción anterior corresponde a un equipo con funcionalidades básicas de posicionamiento, procesado y almacenamiento de la posición y capacidades de telecomunicación. En la figura 15 tenéis los diferentes tipos de módulos y de elementos que pueden llegar a formar parte de un TG genérico.

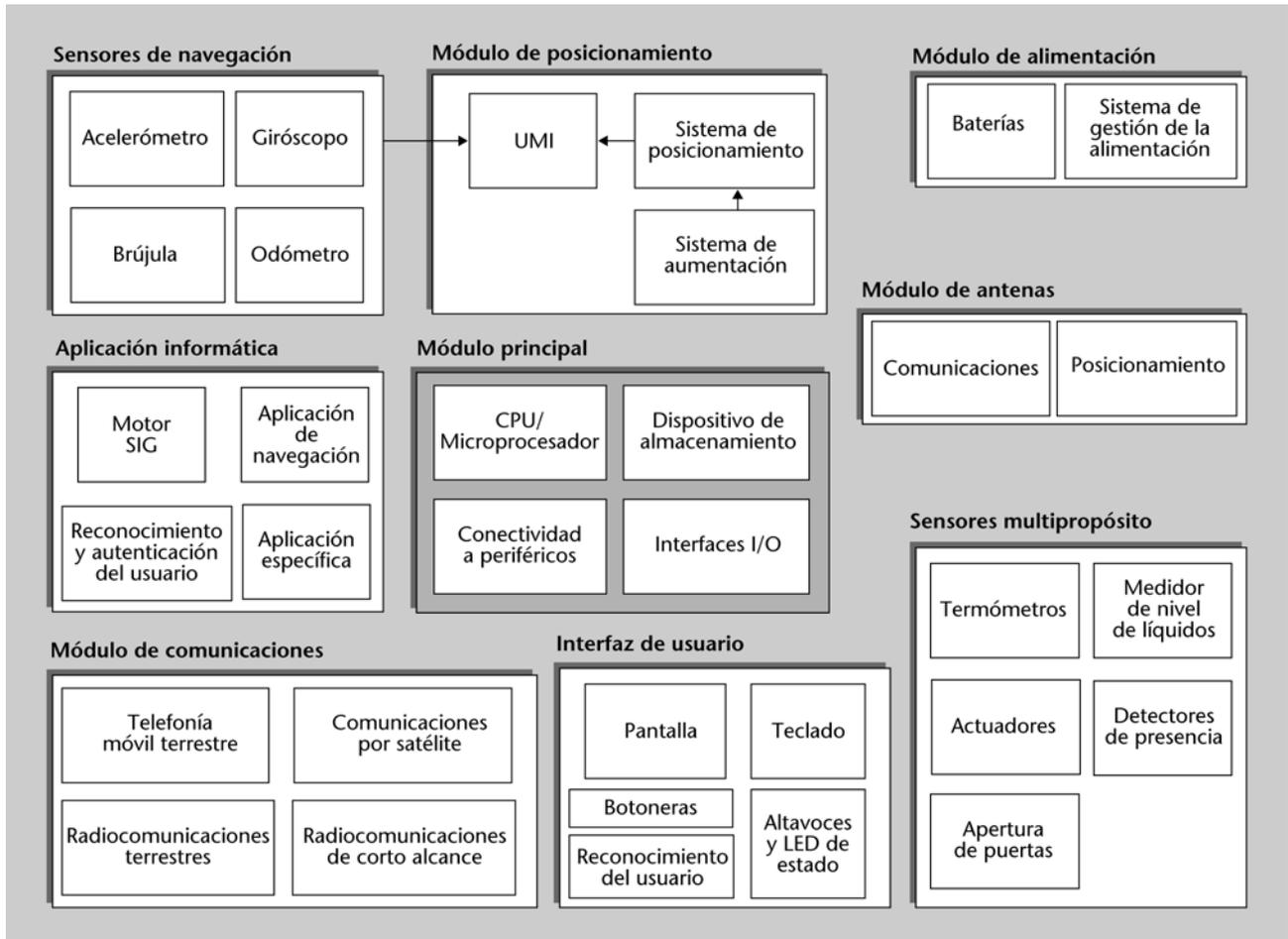


Figura 15. Elementos que componen un TG

De forma esquemática, los módulos que forman un TG son los siguientes:

- **Módulo principal:** en este módulo reside la inteligencia del equipo y desde él se controla el resto de módulos que componen el sistema.

El módulo principal está compuesto de dispositivos de almacenamiento de datos (memorias), donde quedarán registrados los datos que generará el módulo de la aplicación informática. También tiene capacidad de conectividad a otros equipos externos (que, a su vez, también podrían generar datos), interfaces de I/O*.

* Del inglés *Input/Output*, 'entrada salida de datos'

- **Módulo de comunicaciones:** este módulo permite la comunicación del TG con el exterior, en general, de forma inalámbrica. Los requisitos de la aplicación deciden el sistema de radiofrecuencia que se va a utilizar. Su función básica es facilitar que el TG interactúe con el CC intercambiando mensajes y datos. Los medios de telecomunicación disponibles son los siguientes:

- Telefonía móvil terrestre que, como ya hemos visto, también se utilizan en algunas aplicaciones (en las que no está disponible la señal de los GNSS) para obtener la posición del TG.
- Comunicaciones por satélite, que se utilizan cuando la aplicación no tiene disponibles infraestructuras terrestres de comunicaciones.
- Radiocomunicaciones terrestres que, como alternativa a la telefonía móvil terrestre, cubren determinadas zonas del territorio y ofrecen unas comunicaciones de gran fiabilidad y calidad.
- Radiocomunicaciones de corto alcance, que se utilizan cuando la distancia de conexión requerida es menor de centenas de metros, así, si utilizamos WiFi podemos disponer de un alcance de varios centenares de metros, mientras que si utilizamos Bluetooth el alcance se reduce a una decena de metros.

- **Módulo de interfaz de usuario:** este módulo contiene diferentes elementos que permiten que el usuario interactúe con el módulo principal para conocer los datos de que dispone la CPU, para entrar datos de programación o de configuración del sistema o para generar una acción específica del TG. Cada aplicación en particular dispondrá de los elementos necesarios para cumplir con sus requisitos de funcionamiento. Componen este módulo la pantalla, el teclado, conjuntos de pulsadores (o botones), altavoces, luces de aviso, elementos para el reconocimiento del usuario (lectores de huellas, sistemas de reconocimiento de voz o del iris, una cerradura donde introducir una llave física, etc.). Una vez identificado el usuario, el TG le da acceso a las funcionalidades del equipo.

- **Módulo de posicionamiento:** este módulo contienen las funcionalidades de posicionamiento, que en la mayoría de las aplicaciones se basarán en receptores GNSS y en sistemas de navegación inercial.

- Sistemas de posicionamiento: dispositivo electrónico con las funciones de recibir y procesar las señales de posicionamiento de los sistemas GNSS (en Europa GPS y EGNOS en la actualidad) o de sistemas de posicionamiento terrestre (como LORAN-C). Una vez obtenida la posición, se transfiere al módulo principal para su tratamiento y almacenamiento específico de la aplicación que utilice el TG.

Protocolo de comunicación

Un protocolo de comunicación está constituido por un conjunto de normas que establecen las características que ha de tener la señal eléctrica que se intercambian dos dispositivos electrónicos, como por ejemplo: la banda de frecuencia, la modulación, los niveles de tensión y el formato de los datos transmitidos.

Comunicaciones por satélite

En la actualidad los sistemas de telecomunicación móvil por satélite de uso más extendido en aplicaciones de movilidad son Iridium, Inmarsat, Globalstar, Thuraya y Orbcomm.

Para más información consultar las siguientes URLs:

- www.iridium.com
- www.thuraya.com.pk
- www.globalstareurope.com
- www.orbcomm.com

Corto alcance

Se pueden cubrir distancias cortas si se emplean las tecnologías de comunicaciones emergentes en estos momentos: Zigbee y UWB (del inglés *ultra wide band*, 'banda ultranancha').

En aplicaciones de cobro automático de peajes se utiliza el sistema DSRC (del inglés *dedicated short range communication*, 'comunicación de corto alcance'). En España es habitual el pago de peajes a través del sistema Tele-Tac o Via-T. Via-T es un dispositivo electrónico, de tamaño menor que una cajetilla de cigarrillos, que se instala en el parabrisas delantero del vehículo y se activa automáticamente a su paso por la barrera de peaje.

- Unidad de medida inercial (UMI). La unidad de navegación inercial esta compuesta de una pequeña CPU especializada en la adquisición y el procesado de los datos procedentes de sensores de navegación: acelerómetros (aceleración), giróscopos (desplazamiento angular), brújulas electrónicas (rumbo) u odómetros (distancia recorrida). La UMI refresca la posición que calcula internamente con la posición actualizada que recibe periódicamente del módulo del sistema de posicionamiento y la retransmite inmediatamente hacia el módulo principal. Si por algún motivo deja de recibir dicha posición actualizada, utiliza los sensores de navegación para deducir la posición en la que se encuentra el dispositivo.

La ventaja es que el módulo principal no percibe la carencia de datos de posicionamiento provenientes del sistema de posicionamiento GNSS y utiliza los datos generados por la UMI. El inconveniente es que los sensores de navegación generan un error en el cálculo de la posición que puede llegar a ser de 50 metros tras 30 segundos sin disponer de posicionamiento GNSS. Este error en el posicionamiento limita el número de aplicaciones en las que se pueden utilizar las UMI.

- Sistemas de aumentación: como ya hemos visto, disponemos de diferentes sistemas de aumentación de la posición interoperables entre sí, cuya cobertura abarca diferentes regiones del globo. Las aplicaciones que requieran de un nivel de precisión mayor en el posicionamiento que el proporcionado por un receptor GNSS convencional, deberán contar con los elementos electrónicos e informáticos que le puedan suministrar los datos procedentes de alguno de dichos sistemas de aumentación, disponible en la región geográfica en donde el terminal va a tener su área de operación.
- **Módulo de aplicación informática:** este módulo contiene diferentes tipos de aplicaciones habituales en un TG, que pueden encontrarse aisladas o en cualquier tipo de combinación entre ellas.
 - Aplicación específica: programa informático residente en la memoria del microprocesador del módulo principal dedicado a obtener, analizar, transmitir al CC y almacenar en la memoria del TG, todos los parámetros de posicionamiento con la periodicidad y secuencia que la aplicación para la cual ha sido diseñado requiera.
 - Motor SIG: los TTGG dedicados a aplicaciones que requieran de funcionalidades más complejas pueden llevar un SIG simplificado integrado en el módulo principal. Este SIG permite realizar cálculos y operaciones sobre la cartografía digital cuando se le solicite, por ejemplo calculando o recalculando rutas óptimas por determinados lugares de paso previamente identificados.

Nota

Decimos que dos sistemas de posicionamiento GNSS son interoperables cuando un único receptor GNSS para calcular su posición puede utilizar el mensaje de navegación procedente de los satélites de las dos constelaciones de forma indistinguible. El futuro sistema Galileo será interoperable con GPS.

Recordatorio de abreviaturas

Terminal geotelemático: TG
 Terminales geotelemáticos: TTGG
 Base de datos: BD
 Bases de datos: BBDD
 Sistemas de gestión de bases de datos: SGBD
 Centro de control: CC

OmniSTAR

OmniSTAR ofrece tres tipos de servicios con cobertura global:

- OmniSTAR Virtual Base Station (VBS)
- OmniSTAR High Performance (HP)
- OmniSTAR Extended Performance (XP)

OmniSTAR-VBS es un servicio monofrecuencia que corrige los errores introducidos en la señal GPS a causa de la atmósfera y de inexactitudes en las efemérides publicadas. El error es inferior a 1 m en un 99% de los casos. Por su parte, los servicios bifrecuencia OmniSTAR-HP y XP ofrecen errores de localización del orden de pocos decímetros (e.g. en el caso de OmniSTAR-HP, 10 cm en un 99% de los casos).

- Aplicación de navegación: las aplicaciones cuyo objetivo principal es desplazarse con precisión de un lugar a otro; es decir, navegar, son las que más módulos y más complejos integran en su TG.
- Reconocimiento y autenticación del usuario: aplicaciones que garantizan el acceso a las funciones del terminal por un usuario autenticado y correctamente identificado por el TG. Estas funciones dotan de seguridad al sistema y evitan que usuarios no autorizados utilicen los servicios que suministra el equipo.
- Reconocimiento de usuario: como ya hemos visto anteriormente, dentro del módulo de interfaz de usuario se encuentran los elementos físicos de reconocimiento de usuario a los que la aplicación de autenticación accederá para confirmar la autenticidad del usuario que pretende acceder al TG, que le dará acceso a las funcionalidades del equipo una vez que lo haya identificado.
- **Módulo de sensores multipropósito:** este módulo contiene los elementos que interactúan con el entorno del TG, ya sea midiendo parámetros físicos o interactuando con él a través de relés o elementos actuadores. Por ejemplo, el estado en que se encuentran los recursos del vehículo (nivel del depósito de gasolina, nivel del líquido de frenos o presión de los neumáticos).
- **Módulo de antenas:** las antenas son un elemento indispensable en los equipos geotelemáticos. A través de ellas se reciben las señales de radiofrecuencia que permiten conocer la posición del equipo y también permiten establecer una comunicación de datos bidireccional con el CC.
- **Módulo de alimentación:** este módulo suministra la energía necesaria para que el resto de los módulos cumplan la función para la cual han sido diseñados.
 - Baterías: constituyen el almacén de energía del equipo. La elección del tipo de tecnología de la batería principal dependerá del consumo instantáneo del equipo y de las horas de funcionamiento ininterrumpido que se desee obtener.
 - Sistema de gestión de la alimentación: controla el consumo de los diferentes módulos del TG estableciendo estrategias de ahorro que el usuario puede configurar según las necesidades de la aplicación. Dentro de este módulo reside también la funcionalidad de gestión de la carga de la batería que tiene un carácter más electrónico que informático. Un buen diseño del módulo de carga de la batería permitirá alargar su vida útil y mantener la autonomía del TG dentro de los valores de diseño durante más tiempo.

Índice de protección

El índice de protección es un estándar internacional de la Comisión Electrotécnica Internacional que clasifica el nivel de protección que provee una aplicación eléctrica contra la intrusión de objetos sólidos o polvo, contactos accidentales o agua. El resultado es el Índice de protección (IP), que se identifica por un código que consiste en las letras IP seguidas por dos dígitos: el primer dígito indica el nivel de protección que provee contra el acceso de elementos peligrosos, el segundo indica la protección del equipo contra la intrusión perjudicial de agua.

Así, IP-65 significa que la carcasa no tendrá ninguna penetración de polvo y dispondrá de protección completa de los contactos eléctricos (indicado por el dígito 6) y que el agua disparada por una boquilla hacia los elementos de unión, de conexión y de protección de la carcasa desde cualquier dirección no tendrá efectos dañinos para el equipo contenido en su interior (indicado por el dígito 5).

3.1.1. Criterios para la selección de un TG

No existe un dispositivo universal, apto para todo tipo de aplicaciones. Por ello se debe seleccionar el TG tras haber elaborado una detallada lista de requisitos que el terminal ha de cumplir para realizar las funcionalidades que la aplicación requiere de él.

Si bien la lista de requisitos puede llegar a ser muy extensa, presentaremos una selección y algunos criterios que podéis utilizar como guía para evaluarlos adecuadamente:

- **Robustez:** la robustez de un equipo es su capacidad para soportar las cambiantes condiciones de trabajo, incluidas las ambientales, a las que va a estar expuesto. Con este requisito se valora el factor constructivo y los aspectos físicos que ha de tener el TG para adaptarse a la aplicación concreta que estáis analizando. Así, deben considerarse los siguientes aspectos:
 - El lugar donde va a estar instalado el terminal (en el exterior o en el interior de un vehículo) y si su funcionamiento será estacionario o móvil.
 - La exposición prevista a vibraciones, golpes y caídas. Los componentes deben estar firmemente sujetos a la carcasa y los conectores deben ser de buena calidad.
 - El ambiente externo que deberá soportar el terminal. Si el terminal va a usarse en un entorno marino, las cajas y los conectores deberán ser resistentes a la corrosión salina y altamente estancos.
 - El margen de temperaturas al que estará sometido mientras esté en funcionamiento. Puede ser necesario incorporar disipadores de calor pasivos (como una carcasa aislante tipo nevera, o radiadores externos) o disipadores de calor activos (como un ventilador o un sistema de refrigeración por líquido).
 - El usuario habitual. Si el equipo ha de ser utilizado en un ambiente industrial o físicamente agresivo hay que cuidar de que los elementos de interacción sean de fácil identificación y rápidos de usar: los textos han de ser de tamaño grande y los botones o teclas han de estar claramente diferenciados y deben ser fáciles de usar.
- **Consumo energético:** los dispositivos móviles dependen de una fuente de alimentación externa o de su batería para obtener la energía eléctrica necesaria para su funcionamiento. Es importante conocer el consumo energético del TG en los diferentes modos de funcionamiento para los que ha sido diseñado (modo de recepción de datos, modo de transmisión

Recordatorio de abreviaturas

Terminal geotelemático: TG
 Terminales geotelemáticos: TTGG
 Base de datos: BD
 Bases de datos: BBDD
 Sistemas de gestión de bases de datos: SGBD
 Centro de control: CC

de datos, modo de espera o modo de navegación). Conociendo el consumo del TG, se podrá escoger la tecnología de batería que mejor se adapte a ese ritmo de consumo y calcular la capacidad de la batería principal más adecuada para proporcionar dicho consumo.

- **Aplicaciones en tiempo real:** desde el punto de vista energético, las aplicaciones que requieren de los TTGG un funcionamiento en tiempo real son las más exigentes, pues deben tener siempre en funcionamiento la mayoría de los módulos que componen el TG, como mínimo la CPU, el sistema de posicionamiento y el sistema de telecomunicaciones.

Por este motivo dichas aplicaciones requieren un suministro de energía constante y garantizado. En equipos instalados en el interior de vehículos resolveremos el problema conectándolos a la batería del vehículo. En equipos autónomos se debe conocer la energía que consumirá durante el periodo de funcionamiento para dimensionar adecuadamente el número y la capacidad de las baterías.

- **Precisión requerida para obtener la posición:** en algunas aplicaciones la precisión obtenida con un receptor GNSS no va a ser suficiente, por lo que el terminal deberá incorporar sistemas de aumentación que le proporcionen los datos suficientes para conseguir el nivel de precisión deseado. Estos sistemas proporcionarán la mejora en el cálculo de la posición que la aplicación requiere y pueden estar integrados en la propia carcasa principal del TG o estar conectados a través de un cable o de forma inalámbrica. Por ejemplo, en una aplicación en el ámbito europeo que requiera posicionar con precisiones de alrededor de 1 metro, se deberá utilizar el sistema europeo de aumentación basado en satélites denominado EGNOS.
- **Sistema de telecomunicación.** El sistema de telecomunicación utilizado para comunicar el TG con el CC condiciona el dimensionado físico y eléctrico de dicho terminal:
 - Si la aplicación se va a desenvolver en un ambiente urbano, se pueden transmitir los datos mediante telefonía celular. Dado que esta tecnología está muy desarrollada y consolidada, se podrá escoger entre una gran variedad de equipos con consumos muy bajos.
 - Si la aplicación se va a desenvolver en un entorno sin infraestructuras terrestres de comunicaciones, como por ejemplo África meridional, se deberá acudir al sistema de comunicaciones por satélite que mejor se adapte a los requerimientos de la aplicación (cobertura, coste de las comunicaciones o tamaño y peso). Para este tipo de terminales de telecomunicación hay disponibles muchas menos opciones.



Recordad que hemos visto el sistema EGNOS en el subapartado 2.2.1.

Ahora ya conocemos la composición de un TG y tenemos unos criterios básicos para poder escogerlo en función de la aplicación a la cual se dedique. Es el

momento de ver ahora de qué módulos consta un CC y qué papel juega en una aplicación geotelemática.

3.2. Centro de control

Podemos definir el centro de control (en adelante CC) como una instalación desde donde se centralizan todos los aspectos relacionados con una aplicación concreta, se reciben los mensajes con los datos de los TTGG, se procesan dichos datos en el servidor de la aplicación y se almacenan en la BD para su posterior consulta. En la figura 16 incluimos los módulos constitutivos del CC.

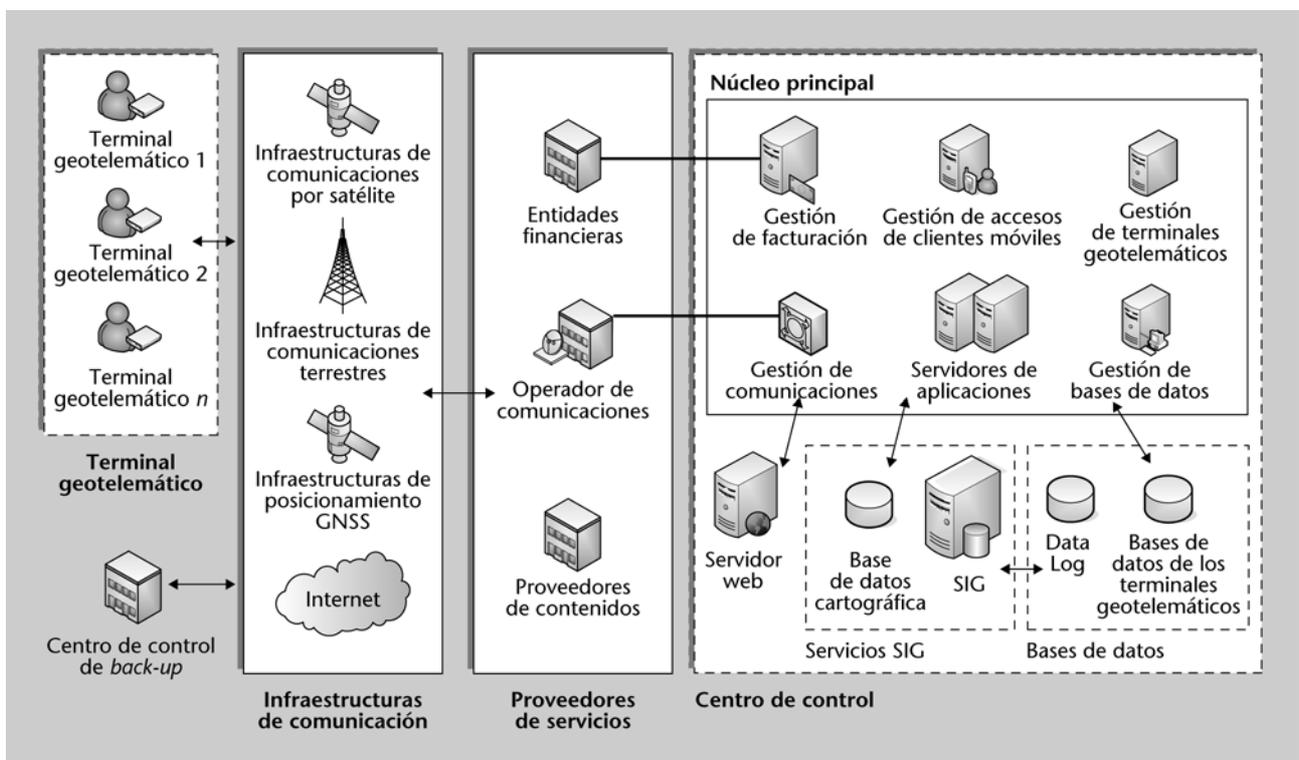


Figura 16. Composición de un CC de una aplicación geotelemática genérica

Las funcionalidades básicas del CC:

- Realizar el seguimiento de la posición de los TTGG dispersos por el territorio.
- Prestar un determinado tipo y número de servicios a dichos TTGG.
- Gestionar todos los aspectos operativos relacionados con la aplicación geotelemática.

Para poder llevar a cabo estas funcionalidades el CC integra un conjunto de subsistemas, cuyo número y funcionalidad dependerán del tipo de aplicación:

- Núcleo principal
 - Subsistema de gestión de las comunicaciones
 - Subsistema de gestión de la facturación

- Servidores de las aplicaciones
 - Subsistema de gestión de los TTGG
 - Subsistema de gestión de los accesos de los clientes móviles a los servicios del CC
 - Subsistema de gestión de las BBDD
- El módulo de servicios SIG
 - Servidor de la aplicación SIG
 - BBDD cartográficas
 - El módulo de BBDD
 - BBDD de los TTGG
 - Registro de las operaciones que se realizan en cada momento en el CC
 - El servidor web, que da acceso a la aplicación desde Internet a los clientes autorizados.

En los siguientes subpartados vamos a describir brevemente las características de cada uno de los subsistemas que componen un CC.

3.2.1. Núcleo principal

Tal como hemos visto en la figura 15, el núcleo principal de un CC está compuesto de:

- El subsistema de gestión de las comunicaciones
- El subsistema de gestión de la facturación
- Los servidores de las aplicaciones
- El subsistema de gestión de los TTGG
- El subsistema de gestión de los accesos de los clientes móviles a los servicios del CC
- El subsistema de gestión de BBDD

Vamos a describir a continuación las funciones que realizan cada uno de los subsistemas que contiene el CC:

- **El subsistema de gestión de las comunicaciones.** Este subsistema es la puerta de entrada al CC desde el exterior y comparte esta funcionalidad con el gestor de facturación.

El gestor de comunicaciones del CC está comunicado con un enlace dedicado a uno o varios operadores de comunicaciones que puede ser un operador de telefonía móvil, un operador de comunicaciones por satélite (como IRIDIUM* o GLOBALSTAR**) o una combinación de ellos.

El gestor de comunicaciones también sirve para establecer comunicaciones de datos seguras y fiables con los servidores de contenido, como veremos más adelante.

* Constelación de 66 satélites, cuya órbita se encuentra a 781 km de altura de la superficie terrestre. Sus satélites ofrecen comunicaciones móviles de voz, datos y mensajes con cobertura mundial.

** Constelación de 40 satélites para comunicaciones móviles de voz y datos de baja capacidad, cuyos satélites se encuentran a una altura aproximada de 1.400 km de la superficie terrestre.

- **El subsistema de gestión de la facturación.** Este subsistema permite que el CC pueda realizar un cobro a un cliente o usuario por un servicio. Por ejemplo, una aplicación emergente es el pago de peajes de autopistas o de aparcamientos por medio de TTGG instalados en vehículos. Cuando el terminal comunica al CC el consumo de dichos servicios, éste realiza el cobro del servicio a la entidad bancaria que corresponda. Esta aplicación aún no está muy extendida, ya que todavía se encuentran inconvenientes por parte de todas las partes implicadas, pero se prevé que en menos de una década podamos atravesar Europa sin parar en ninguna barrera de peaje y con una sola factura que refleje detalladamente el coste de los peajes atravesados con su fecha, hora y coste asociado.

Las aplicaciones de pago por uso con TTGG instalados en vehículos o portados por usuarios de a pie tiene un futuro prometedor. Dentro de este grupo de aplicaciones estaría el pago de seguros de automóvil en función del uso que se realice del mismo: los conductores que utilicen a diario el vehículo tienen más riesgo de tener un accidente y, por consiguiente, su seguro ha de ser más elevado que el de un conductor esporádico.

- **Los servidores de las aplicaciones.** En un CC puede haber concentradas varias aplicaciones, por este motivo puede ser necesario disponer de un servidor independiente para cada aplicación. Cada aplicación residente en el servidor de aplicaciones recibirá del gestor de comunicaciones mensajes enviados por los TTGG a dicha aplicación de forma específica. A su vez la aplicación enviará mensajes a los TTGG a través del gestor de comunicaciones. Por tanto, el servidor de aplicaciones debe diseñarse para actuar como interfaz entre distintas aplicaciones, locales o remotas, de manera que puedan compartir información de sus BBDD.

Por ejemplo, una aplicación que gestione el alquiler de vehículos, cuando deba emitir la factura al cliente necesita saber, entre otros datos, qué consumos ha tenido el vehículo (como peajes o aparcamientos), por tanto, deberá acudir a otros servidores de aplicaciones para conseguir la información que le permita generar una factura completa de los servicios consumidos por cada cliente.

- **El subsistema de gestión de los TTGG.** Este subsistema controla el acceso de cada TG a las funcionalidades y servicios del CC. Tras recibir el mensaje del centro de gestión de comunicaciones, comprueba la identidad y autenticidad del TG o usuario que inicia una acción y verifica que está autorizado para acceder al CC; es decir, lo autentifica delante del CC.

Este subsistema es apropiado cuando la aplicación se dedica a gestionar terminales instalados en vehículos; es decir, en comunicaciones máquina a máquina (M2M).

Recordatorio de abreviaturas

Terminal geotelemático: TG
 Terminales geotelemáticos: TTGG
 Base de datos: BD
 Bases de datos: BBDD
 Sistemas de gestión de bases de datos: SGBD
 Centro de control: CC

- **El subsistema de gestión de los accesos de los clientes móviles a los servicios del CC.** Este subsistema es apropiado en los casos en los que los TTGG son equipos de uso personal desde los cuales el usuario puede solicitar servicios en tiempo real al CC. Así pues, es el responsable de controlar el acceso de cada TG a las funcionalidades y servicios del CC: tras recibir el mensaje del centro de gestión de comunicaciones, comprueba la identidad y autenticidad del usuario que inicia una solicitud de servicio y verifica que está autorizado para acceder al CC; es decir, lo autentifica delante del CC.

Como ejemplos de servicios que se pueden solicitar en tiempo real, citaremos servicios de cálculo de ruta óptima para ir de un lugar a otro o servicios de geolocalización de lugares de interés (gasolineras, hoteles, farmacias, museos, comisaría de policía, etc.) en un margen de distancia respecto de la ubicación proporcionada por el TG.

- **El subsistema de gestión de las BBDD.** Este subsistema gestiona los accesos a las BBDD por parte del resto de subsistemas y aplicaciones. Así, las peticiones de información y la actualización de información en las BBDD tienen que pasar por esta aplicación, cuya misión principal es evitar que se pierda información en el proceso de acceso o que se entregue información obsoleta. Aunque hemos representado este subsistema con un servidor independiente, en la práctica puede ser una aplicación que se ejecute por detrás de la aplicación principal. En este caso hay que tener en cuenta que va a ocupar una parte de los recursos del procesador y, en consecuencia, capacidad de proceso de la aplicación principal.

3.2.2. Módulo de servicios SIG

Después de conocer la composición y las funciones del núcleo principal del CC, vamos a centrarnos en el módulo de servicios SIG.

El módulo de servicios SIG está compuesto por el servidor de la aplicación SIG y el de las BBDD cartográficas. En este módulo residen todas las capacidades de cálculo de la aplicación sobre la información cartográfica del territorio contenida en las BBDD cartográficas de que disponga. La potencia de proceso de este módulo SIG se ha de dimensionar según las funcionalidades geográficas que la aplicación necesite obtener del SIG.

De esta manera una aplicación cuya funcionalidad principal sea la de representar sobre la cartografía la posición de los TTGG no requerirá algoritmos de cálculos de ruta.

Una aplicación que gestione la entrega y recogida de paquetes por parte de un camión de transporte requerirá de capacidades del SIG que permitan recalcular las rutas cuando se han añadido o quitado puntos de paso, además de otras

condiciones de cálculo de rutas, como puede ser el evitar núcleos urbanos o determinadas carreteras que no permiten el tráfico de camiones durante un horario determinado.

Como las capacidades de un SIG ya las conocéis por las asignaturas anteriores no vamos a hacer más hincapié en esta sección.

3.2.3. Módulo de BBDD y *data log*

El siguiente módulo que forma parte del CC es el módulo de BBDD y *data log*.

El módulo de BBDD está compuesto por las BBDD con los datos particulares y operativos de todos los TTGG y de un registro de las operaciones que se realizan en cada momento en el CC, el *data log* (en castellano lo podríamos traducir por 'registro de sucesos').

Como ya hemos visto en el subapartado 3.2.1, la gestión del acceso a los datos contenidos en la BD, para su lectura, grabación o modificación, se lleva a cabo desde el subsistema de gestión de BBDD. La existencia de una BD se justifica por la necesidad de hacer informes históricos de las actividades de los terminales. Estos informes los hace el operador del CC a petición del usuario o cliente con la periodicidad convenida.

Por último, cabe destacar la función que un *data log* o *datalogger* puede jugar en un CC en donde se requiera una gestión de seguridad del servicio prestado.

La función de un *datalogger* es registrar en una BD de forma cronológica e independiente cualquier suceso que ocurra en el CC: accesos a la BD por parte de un operador del CC, recepciones de mensajes por parte de un TG, gestión de facturación con la entidad bancaria, mensajes enviados a los TTGG, etc. En dicha BD se pueden realizar *a posteriori* búsquedas de información para seguir la trazabilidad de los procesos que se han realizado en cualquier subsistema del CC, como accesos de usuarios, fallos de los diferentes subsistemas, etc. En aplicaciones en las cuales los servicios suministrados puedan tener responsabilidad civil con el cliente, este tipo de utilidades son indispensables para argumentar ante el cliente los sucesos relacionados con un error en el servicio o para demostrar un error en el uso del servicio por parte del cliente.

3.2.4. Servidor web

Para acabar, vamos a ver el último módulo que integra el CC: el servidor web.

Este subsistema consta de un ordenador personal configurado como servidor HTTPS* que da acceso a la aplicación vía Internet a los clientes autorizados. No vamos a entrar en las características de este tipo de servidor, solo recalcaremos que deben preverse medidas de seguridad informática adicionales,

* HTTPS, del inglés *hypertext transfer protocol secure* ('protocolo seguro de transferencia de hipertexto'), es un protocolo de red basado en HTTP destinado a la transferencia segura de datos de hipertexto. Es la versión segura del protocolo HTTP. Lo utilizan las entidades bancarias, tiendas en línea y cualquier tipo de servicio en Internet que requiera el envío de datos personales o contraseñas.

como cortafuegos para proteger el sistema de accesos a la BD y a los servicios por parte de personal no autorizado.

3.3. Infraestructuras y proveedores de servicios

Una vez que ya conocemos la composición y las funciones de los módulos que componen un CC vamos a continuar con la descripción de los elementos que nos faltan de la aplicación geotelemática genérica de la figura 16. Nos vamos a centrar ahora en las Infraestructuras de comunicación y en los proveedores de servicios.

En primer lugar vamos a repasar brevemente la descripción de las infraestructuras de comunicación implicadas en una aplicación geotelemática y después, el papel que tienen los proveedores de servicios en estas aplicaciones.

3.3.1. Infraestructuras de comunicación

En nuestro diagrama de arquitectura de una aplicación geotelemática, (consultad de nuevo la figura 16), las infraestructuras de comunicación ocupan un lugar importante. Hemos considerado infraestructuras de comunicación todos los sistemas que proporcionan un servicio de comunicación de datos, ya sea de pago o gratuito, cuya gestión se realiza desde entidades externas al CC. El servicio puede ser unidireccional, como es el caso de la constelación de satélites GPS que difunde gratuitamente la señal de navegación, o bidireccional como el resto de infraestructuras: Internet, operadores terrestres y operadores de satélites.

Las infraestructuras de comunicación son el medio a través del cual el CC se comunica con cualquiera de los elementos exteriores: los TTGG, los proveedores de contenido, las entidades financieras y los clientes que acceden a la aplicación a través del servidor web.

El CC debería contratar los servicios de comunicación de uno o más proveedores de comunicaciones, sobre todo cuando maneje un número importante de clientes o usuarios. Cuando el número de clientes está sobre la centena y sus necesidades de comunicación de datos se centren en el envío de mensajes con las posiciones y datos operativos, la aplicación se puede establecer sobre la base de terminales de comunicación instalados en el propio CC.

- Infraestructuras de comunicaciones por satélite: Componen las infraestructuras de comunicaciones por satélite las constelaciones de satélites que dan cobertura de comunicaciones de voz o datos en la zona geográfica donde opera la aplicación geotelemática. En general, para las aplicaciones en movilidad, las constelaciones de satélites dedicadas a las comunicaciones

Diferencias entre las constelaciones

La cobertura geográfica de estos sistemas es diferente. Mientras que Thuraya centra sus servicios desde el norte de África al norte de Europa y desde Portugal a Oriente medio, el resto son de carácter global aunque con diferencias importantes en la disponibilidad, accesibilidad y capacidad de los servicios ofrecidos.

por satélite móviles personales. Dentro de esta categoría tenemos las costellaciones IRIDIUM, GLOBALSTAR, ORBCOMM y Thuraya.

Los operadores de estos servicios de satélites disponen de un centro de operaciones, desde el cual reciben las comunicaciones de los terminales móviles y vía Internet o con enlaces dedicados se interconectan con los centros de control de los clientes.

- Infraestructuras de comunicaciones terrestres: Los operadores de telecomunicaciones de telefonía móvil terrestre y los operadores de redes de radiocomunicaciones. En el momento de planificar una aplicación geotelemática, es capital disponer de medios de comunicación asequibles y con suficiente cobertura en la zona de interés.
- Internet: La infraestructura universal de acceso a las comunicaciones de datos terrestres. La mayoría de interconexiones e interfaces del CC utilizarán el protocolo estándar de transmisión de datos TCP/IP*.

* Del inglés *transmission control protocol - Internet protocol*, en español 'protocolo de control de transmisión - protocolo de Internet'.

3.3.2. Proveedores de servicios

En la arquitectura de aplicación geotelemática presentada, entendemos como proveedor de servicios cualquier empresa que provea de un producto al CC. Según la aplicación de que se trate, se deberán localizar nuevos tipos de proveedores de servicios que pueden combinar en un solo servicio o producto diversos servicios ofrecidos de forma individual por otros proveedores.

A continuación presentamos una lista de proveedores de servicios útiles en la operativa de un CC:

- Entidades financieras: El CC, para aquellas aplicaciones en las que necesite facturar en tiempo real un servicio o consumo realizado por un TG, deberá establecer conexiones directas y seguras con entidades financieras que garanticen la seguridad de las transacciones económicas. Se establecerán con dichas entidades conexiones VPN seguras utilizando medios de encriptación y autenticación para evitar fraudes e infiltraciones en la conexión.

Para hacerlo posible de manera segura, es necesario establecer los medios para garantizar la autenticación, la integridad y la confidencialidad de todas las comunicaciones:

- Autenticación: identificar quién accede a la red y qué nivel de acceso debe tener.
- Integridad: garantizar que los datos enviados no han sido alterados.
- Confidencialidad: Dado que los datos viajan a través de un medio tan público como Internet, dichos datos son susceptibles de ser intercepta-

VPN

La cobertura geográfica de estos sistemas es diferente. Mientras que Thuraya centra sus servicios desde el norte de África al norte de Europa y desde Portugal a Oriente medio, el resto son de carácter global aunque con diferencias importantes en la disponibilidad, accesibilidad y capacidad de los servicios ofrecidos.

dos, por lo que resulta fundamental cifrar los datos. Los algoritmos de cifrado habituales son *data encryption standard* (DES), *triple des* (3 DES), y *advanced encryption standard* (AES).

- No repudio: los mensajes deben ir firmados por sus remitentes que, en cualquier caso, no pueden negar ser los remitentes del mismo.
- Operador de comunicaciones: Empresas de servicios de telecomunicación (por cable o por radio) que el CC debe contratar para garantizar su comunicación con los TTGG y con el exterior. Mediante un operador de comunicaciones se contratará tanto el acceso a Internet como el acceso a las infraestructuras de comunicaciones, terrestres o de satélite.
- Proveedores de contenido: En el ámbito de la telemática y los SIG, con la denominación *proveedores de contenido* nos referimos a proveedores de cartografía, de imágenes de satélite o de contenido especializado en SIG. Los proveedores de contenido a los que nos referimos aquí son aquellos a los que se les solicita información actualizada relacionada con el territorio o las infraestructuras terrestres. Por ejemplo, el diseño de aplicaciones geotelemáticas que requiera información de la superficie del territorio actualizada obliga a contratar a proveedores de imágenes de satélite como pueden ser DigitalGlobe*, RapidEye**, Ikonos o Quickbird. Si lo que requiere la aplicación es disponer de información meteorológica actualizada, se deberá recurrir a las agencias nacionales de meteorología como Eumetsat o GOES. Para conocer el estado del tráfico, información del número de usuarios que está transitando por una vía o para saber si una vía está cerrada o bloqueada (informaciones clave para una aplicación geotelemática, cuyo valor añadido sea crear rutas óptimas tanto desde el punto de vista espacial como temporal) se pueden establecer acuerdos de colaboración con las direcciones generales de tráfico de las regiones o países donde la aplicación geotelemática tenga lugar.

* www.digitalglobe.com
** www.rapideye.com

En este punto hemos acabado la descripción de la arquitectura de una aplicación geotelemática genérica, vamos a terminar este apartado con unos breves criterios de diseño de un CC, que deberían de tenerse en cuenta en el momento de su diseño

3.4. Criterios para el diseño de un CC

Vamos a ver a continuación cuatro criterios importantes en el momento de diseñar la estructura que ha de tener nuestro CC. Estos criterios son:

- Escalabilidad
- Redundancia
- Privacidad
- Seguridad

Escalabilidad

Uno de los conceptos que hemos de tener siempre presente cuando diseñemos un CC es el concepto de escalabilidad. Entre los profesionales hay coincidencia de criterios al respecto de que un sistema es o no es escalable, y que no hay punto medio. Antes de proseguir vamos a aclarar este término tan poco cuantificable que es la escalabilidad.

En el ámbito de los sistemas en general, se dice que un sistema es escalable cuando no pierde efectividad ni calidad de servicio después de ampliarlo con nuevos elementos de hardware o de software para aumentar su capacidad de proceso.

Un CC debe diseñarse escalable para que, cuando se aumente el número de servidores, se instale una nueva versión de la aplicación o se aumenten las capacidades de telecomunicación, se pueda aumentar el número de usuarios o de accesos al sistema sin perder eficacia en el procesamiento de dichas acciones, más bien al contrario.

Redundancia

En aplicaciones de geotelemática, puede haber requisitos de accesibilidad y de disponibilidad muy elevados que obliguen al CC a ofrecer los servicios contratados por los TTGG ininterrumpidamente en cualquier circunstancia. En estos casos, se ha de detectar cuáles son los elementos críticos del sistema y disponer de un elemento duplicado (redundante) en estado de espera que pueda ponerse en funcionamiento rápidamente y de forma transparente en caso de que falle el elemento principal.

Dado que los elementos redundantes elevan el coste de un sistema, se debe analizar a fondo la arquitectura para identificar los elementos que son verdaderamente críticos para la aplicación.

Otra estrategia que se puede utilizar en algunas aplicaciones consiste en definir un **modo de servicio degradado** que se active automáticamente cuando el sistema tenga problemas. Este método sólo puede emplearse con el conocimiento del cliente.

Como ejemplo de redundancia extrema, un breve comentario respecto de un elemento que aparece en la arquitectura y que hasta ahora no hemos comentado: el CC de *backup*.

Hay aplicaciones en las que se requiere disponer de un CC alternativo, secundario o de *backup*, para evitar que una caída del CC principal colapse la aplicación o los servicios prestados a los TTGG. A continuación presentamos

Multiproceso

Un ordenador que resuelve un problema en un minuto con un procesador es escalable si al utilizar cien procesadores, necesita sólo un minuto para resolver una versión cien veces mayor del mismo problema.

algunos de los motivos que pueden justificar la necesidad de disponer de un CC alternativo:

- Cuando la aplicación gestiona un número elevado de TTGG y la caída del CC principal causaría la ausencia de servicios que producirían graves perjuicios a los usuarios afectados.
- En aplicaciones que trabajen en tiempo real facturando los servicios en el momento en que se solicitan o consumen.
- En aplicaciones de seguridad donde siempre se ha de garantizar el acceso a las BBDD del sistema, por ejemplo, en aplicaciones de servicios de emergencia.

Privacidad

Los centros de control manejan una gran cantidad de datos que, obviamente, pertenecen a sus clientes y los clientes quieren mantener a salvo su privacidad, lo que incluye los datos referentes a su localización. Por consiguiente, las BBDD de los centros de control que contengan datos personales han de certificar que cumplen con la legalidad vigente del país desde donde operen en cuanto al manejo y archivo de datos de carácter personal. En las aplicaciones geotelemáticas que sean de carácter personal, se ha de garantizar al usuario que sus datos de posicionamiento se utilizarán únicamente a quien él autorice.

LOPD

La legalidad vigente en España respecto de protección de datos de carácter personal está contenida en la Ley Orgánica 15/1999 de 13 de diciembre y su reglamento técnico. Cualquier BD que se diseñe debe de cumplir la normativa establecida por dicha ley.

Seguridad

Cualquier aplicación que utilice un entorno de comunicaciones abierto, como es el caso de Internet, puede recibir intentos de accesos no autorizados de personas o aplicaciones automatizadas cuya intención puede ir del sabotaje al simple divertimento.

Todos los centros de control de aplicaciones geotelemáticas han de implementar en su diseño unos niveles de seguridad que protejan el servidor web y los datos de las BBDD del acceso de los usuarios no autorizados ni debidamente autenticados.

Una vez que ya conocemos los elementos que componen una aplicación geotelemática, vamos a abordar en el próximo apartado una descripción panorámica de diferentes tipos de aplicaciones geotelemáticas existentes en la actualidad, centrándonos en las que utilizan sistemas GNSS que, a día de hoy, constituyen los sistemas más ampliamente utilizados en aplicaciones civiles en entornos *outdoor*.

4. Aplicaciones de los sistemas de posicionamiento

Aunque, como ya sabemos, existen diferentes sistemas de posicionamiento, nos vamos a centrar en este apartado en los sistemas de posicionamiento GNSS. Como ya hemos comentado, los satélites que componen las diferentes constelaciones GNSS emiten constantemente señales de posicionamiento hacia la superficie de la Tierra. La información que se obtiene de dichas señales se puede utilizar de diferentes formas. Cada una de las formas en que se utiliza dicha información constituye una aplicación.

Algunas aplicaciones directas y sencillas de la información obtenida pueden ser: dar respuestas a preguntas tales como, “¿dónde estoy?”, “¿qué hora y fecha es en este instante?”, “¿a qué velocidad me estoy moviendo?” o “¿en qué dirección me estoy desplazando?”.

Aplicaciones un poco más complejas tratarían de obtener la forma más rápida, corta o cómoda de ir de la posición actual a otra.

Un poco más complejo sería una aplicación como la anterior que contase con un equipo de comunicaciones que permitiese conocer la posición de otros elementos móviles remotos, lo que permitiría calcular las distancias a que están dichos elementos o generar rutas para ir hacia ellos.

Las posibilidades de generar una aplicación geotelemática se pueden multiplicar enormemente. Existen en este momento muchísimas aplicaciones y su número continúa creciendo. En este capítulo os mostramos un pequeño y variado número de aplicaciones conscientes de la imposibilidad de cubrir todas las que se pueden dar.

El sistema GNSS-GPS pertenece a la Fuerza Aérea Americana, por tanto, las primeras aplicaciones en desarrollarse fueron las del ámbito aeronáutico y por ellas empezaremos esta descripción.

Después abordaremos las aplicaciones marítimas, las aplicaciones en el sector terrestre, las aplicaciones de carácter científico y, finalmente, las aplicaciones creativas. Para terminar acabaremos con las aplicaciones de carácter gubernamental y militar.

4.1. Aplicaciones en el sector aeronáutico y espacial

En primer lugar, veremos los estrictos requisitos que es necesario cumplir para poder utilizar los sistemas GNSS en el sector aeronáutico. A continuación, ve-

Recordatorio de abreviaturas

Terminal geotelemático: TG
Terminales geotelemáticos: TTGG
Base de datos: BD
Bases de datos: BBDD
Sistemas de gestión de bases de datos: SGBD
Centro de control: CC

remos las aplicaciones en aviación civil comercial y acabaremos con una reseña de algunas de las aplicaciones realizadas en el sector espacial.

El desarrollo de los sistemas GNSS ha permitido su introducción en diferentes áreas del campo aeronáutico, aunque actualmente aún ofrecen unos niveles insuficientes de **disponibilidad**, **precisión** e **integridad** para las necesidades de las aeronaves en las fases críticas del vuelo (la aproximación y el aterrizaje), razón por la cual su uso no se ha extendido tan ampliamente como el sector requiere. Vamos a definir estos tres conceptos:

- Entendemos por **disponibilidad** el porcentaje de tiempo con el que los sistemas GNSS suministran la posición con la precisión necesaria. Los sistemas GNSS actuales, GPS y GLONASS, garantizan una disponibilidad del 98% del tiempo, pero en las maniobras convencionales de aproximación de las aeronaves a un aeropuerto se exige el 99,75% de disponibilidad y porcentajes superiores en aterrizajes de precisión.
- Entendemos por **precisión** la diferencia entre la posición estimada por el equipo de navegación y la posición real en ausencia de fallos. El sistema GPS proporciona una precisión estándar de unos 15 m, que es suficiente para las fases de vuelo y aproximación convencional al aeropuerto, pero no basta para aterrizajes de precisión que requieren precisiones de 6 a 7 m en vertical (precisión CATI), tampoco en los que requieren precisiones de 2 a 3 m en vertical (precisión CATII), ni mucho menos en la categoría más exigente, que requiere precisiones menores de 1 m en vertical (precisión CATIII).

El aterrizaje de un avión comercial en el aeropuerto del Prat de Barcelona, con visibilidad de hasta 732 m y un techo de nubes de 60 m, requiere CATI. CAT II y III se utilizan en condiciones de visibilidad muy reducida, requieren sistemas automáticos y una certificación especial de la aeronave y de la tripulación; en aviación civil comercial no se utilizan habitualmente estas categorías de aterrizaje.

- Entendemos por **integridad** la posibilidad de proteger al usuario frente a fallos en la señal de navegación que emiten los satélites GNSS mediante el envío de mensajes de alerta previos al fallo.

Como ya hemos comentado, el futuro sistema europeo Galileo dispondrá del servicio *safety of life* (SoL), que enviará al usuario un mensaje de alerta cuando esté previsto que la señal de navegación se degrade por debajo de unos determinados umbrales de precisión horizontal y vertical con 6 segundos de antelación.

Para superar estas limitaciones se utilizan, como ya hemos comentado, sistemas de aumentación, que pueden ser de dos tipos (que ya hemos visto en el apartado 2.2.):

- SBAS (WAAS, EGNOS Y MSAS)
- GBAS (LAAS*)

* Del inglés *local area augmentation system*

Con estas medidas de apoyo se consigue tener una precisión en torno a los 4 metros, lo que cumple los niveles de disponibilidad e integridad requeridos en aviación civil. Por tanto, utilizando los sistemas de aumentación es posible utilizar los sistemas GNSS en todas las fases del vuelo incluida el aterrizaje de precisión CATI.

La puesta en funcionamiento del sistema Galileo permitirá conseguir los estrictos requisitos de disponibilidad, precisión e integridad que las aplicaciones aeronáuticas requieren.

Ahora ya podemos abordar con más conocimiento de causa el presente y el futuro de las aplicaciones geotelemáticas en este sector.

4.1.1. Aplicación en el sector aeronáutico

Las principales áreas de aplicación de los sistemas GNSS en el sector aeronáutico son las siguientes:

- El transporte aéreo comercial en las diferentes fases del vuelo
- El control y guiado de aeronaves en tierra
- Los servicios aéreos de rescate
- La aviación deportiva, los ultraligeros y los globos aerostáticos

En la actualidad, la Unión Europea ha iniciado un programa de investigación muy ambicioso para mejorar el sector aeronáutico y en concreto los sistemas de ATM (del inglés *air traffic management*, 'gestión del tráfico aéreo'). El programa se denomina SESAR (del inglés *single european sky ATM research*, 'investigación en ATM y espacio aéreo único europeo') y está coordinado por Eurocontrol, la organización europea para la seguridad de la navegación aérea y formado por un consorcio de aerolíneas, aeropuertos, gestores de navegación aérea y empresas de la industria aeronáutica. Los estándares y conclusiones a los que lleve el programa SESAR se aplicarán a partir del año 2020.

Debemos tener presente que el tráfico aéreo europeo no ha cesado de crecer en los últimos años, los sistemas actuales están al borde de la saturación y los sistemas de control del tráfico aéreo tienen más de 20 años de antigüedad. Así, surgió la necesidad de mejorar los sistemas de comunicaciones, navegación y vigilancia para poder aumentar la capacidad del espacio aéreo europeo y su eficiencia sin poner en riesgo la seguridad.

El programa SESAR incorpora el concepto de *single european sky*, SES, ('cielo único europeo'), que consiste en integrar los sistemas y los espacios aéreos de los diferentes estados implicados, y sincronizar los esfuerzos de cada uno de ellos para marcar una estrategia conjunta en la que se definirán unos nuevos estándares para los sistemas ATM.

Los objetivos del programa SESAR son los siguientes:

- Optimizar el espacio aéreo aumentándolo un 73% respecto del 2005.
- Reducir los costes operativos a la mitad de los actuales.
- Mejorar los niveles de seguridad a un nivel 10 veces superior a los actuales.
- Minimizar el impacto medioambiental de la aviación en lo relativo a tiempo en vuelo, consumo de combustible, emisiones de CO₂ y contaminación acústica. Lo que cuantificado significa ahorrar (de media y por vuelo) de 8 a 14 minutos, de 300 a 500 kg de combustible y de 945 a 1575 kg de CO₂.

Vamos a ver como los sistemas geotelemáticos basados en GNSS se han usado en las áreas de actividad anteriores y cómo se puede extender aún más su uso.

Transporte aéreo comercial en las fases críticas del vuelo

El transporte aéreo comercial está viviendo en los últimos años un crecimiento a nivel mundial del 4% anual. Si el crecimiento continúa a este ritmo, el número de vuelos se doblará en 20 años; en consecuencia, se generarán congestiones y cuellos de botella que lo ralentizarán.

Una forma de mitigar este problema es aumentar la capacidad de los pasillos aéreos, y para ello es necesario disponer de sistemas GNSS más fiables y precisos, así como de sistemas de vigilancia aérea adecuados a las nuevas necesidades. Cuando mejoren los niveles de precisión y de integridad, se podrá reducir la distancia en vuelo entre las aeronaves, lo que ayudará a reducir la congestión del espacio aéreo. Para conseguir este objetivo es necesario disponer de más constelaciones GNSS en funcionamiento.

Los operadores de navegación aérea tienen como prioridad la gestión de las aeronaves durante las fases críticas del vuelo en cualquier condición climatológica. Por este motivo, la puesta en funcionamiento de sistemas de aumentación local en los aeropuertos (del tipo GBAS que ya conocemos) conjuntamente con el instrumental GNSS adecuado a bordo de la aeronave a medio plazo conseguirá cumplir con los estándares aeronáuticos necesarios para aproximaciones de precisión y poder extender estos sistemas de despegue y aterrizaje a todos los aeropuertos y todas las aeronaves de uso civil. Este es uno de los objetivos que tiene programado conseguir el recién estrenado proyecto Europeo SESAR para la década del 2020.

En el ámbito militar se ha desarrollado el JPALS*, un sistema que permite aterrizar en cualquier condición meteorológica y que, además, está blindado contra interferencias radioeléctricas maliciosas. Si bien no se conoce la precisión

* Del inglés *Joint Precision Approach and Landing System*, 'Sistema conjunto de precisión para la aproximación y el aterrizaje'

exacta que es capaz de suministrar, se cree que permitiría cumplir de sobra el estándar CATIII de la aviación civil.

Control y guiado en tierra de aeronaves

La misión del operador aéreo no acaba cuando la aeronave aterriza, debe conducirla de forma fiable y segura al *finger*, al hangar o a la zona de aparcamiento, sin estorbar al resto de operaciones de tierra que se llevan a cabo en el aeropuerto. Si las aeronaves dispusieran de un TG a bordo y su posición se transmitiera hacia el controlador aéreo de turno, se podrían guiar las aeronaves con toda seguridad hasta su zona de parking. En la actualidad estas operaciones se realizan únicamente con apoyo visual, de señales y de radio.

Servicios aéreos de rescate

Los servicios aéreos de rescate están basados casi exclusivamente en helicópteros. El uso de TTGG a bordo facilitaría las tareas de búsqueda y rescate en condiciones meteorológicas poco propicias (por ejemplo, baja visibilidad o niebla), lo que aceleraría la llegada de la atención médica a los accidentados.

Actividades aéreas de recreo

La aviación deportiva (planeadores, ultraligeros y globos aerostáticos) también se ha beneficiado de la introducción de sistemas geotelemáticos a bordo. La gestión de las aeronaves y del espacio aéreo en su conjunto se vería facilitada si se pudiera disponer de un CC capaz de mostrar la posición de todas las aeronaves de recreo en vuelo en tiempo real. Dos aspectos hacen imposible, de momento, acceder a este escenario idílico:

- La falta de legislación al respecto.
- El gasto económico que supondría a los practicantes de estas actividades dotar a sus aeronaves de un TG homologado por aviación civil para dichas actividades.

En la actualidad los sistemas GNSS se utilizan a bordo únicamente como elementos de orientación y guiado y a título personal, ya que no son obligatorios.

Desde hace unos años se puede encontrar en el mercado un sistema de alerta de colisión que, diseñado originalmente para planeadores, avisa al piloto si su trayectoria puede cruzarse con la trayectoria de otra aeronave que lleve instalado el mismo instrumento.

Este sistema, denominado FLARM*, transmite vía radio mensajes con su posición y su vector de velocidad y, al mismo tiempo, recibe mensajes emitidos por equipos similares. Con un algoritmo de predicción de movimiento contenido en su microprocesador, calcula si puede haber cruce de trayectorias y avisa al piloto acústica y visualmente si el resultado es positivo. En la actualidad no es obligatorio su uso en España aunque se utiliza de forma habitual en helicópteros y avionetas en Alemania, Francia, Suiza y Austria.

* <http://www.flarm.com>

4.1.2. Aplicaciones espaciales

La primera utilización del sistema GPS en un vehículo espacial fue en el programa Landsat de la NASA en los años ochenta. Cabe destacar que gracias a las imágenes obtenidas en esas misiones, una expedición de la National Geographic Society descubrió en la península del Yucatán ruinas de ciudades Mayas desconocidas hasta la fecha.

El uso de receptores GNSS a bordo de vehículos espaciales, cuyas órbitas estén por debajo de la constelación GPS, simplifica y facilita la determinación continua de su órbita. Esta tarea se realiza normalmente desde radares de seguimiento instalados en tierra, pero tienen problemas de visibilidad: pueden realizar su misión siempre y cuando tengan el vehículo en ángulo de visión. En cambio, los receptores GPS funcionan todo el tiempo sin problemas de visibilidad.

Posteriormente a las misiones Landsat, los transbordadores americanos Shuttle y la Estación Espacial Internacional fueron equipadas con receptores GPS para realizar un seguimiento y control continuo y de precisión el 100% del tiempo.

Las actuales constelaciones de satélites GNSS se diseñaron para proveer de señales de posicionamiento y de navegación a receptores situados en la superficie de la Tierra y, por tanto, sus antenas apuntan a su superficie. El diseño de las futuras constelaciones GNSS va a disponer de señal de posicionamiento también para vehículos espaciales que se encuentren por encima de su órbita, por lo que embarcarán también antenas que apunten hacia el espacio exterior. En el momento en que esto ocurra podremos decir que tenemos verdadera cobertura GNSS en todo el planeta.

Visto el sector aeronáutico, vamos a ver ahora cuales son las aplicaciones geotelemáticas utilizadas para gestionar la gran variedad y tipo de embarcaciones náuticas existentes.

4.2. Aplicaciones en el sector marítimo

Es de sobras conocido que la mayoría de las mercancías viajan por barco y no sólo son los grandes cargueros los que circulan por mares, canales y ríos, el tráfico marítimo (entendido en sentido lato) es ingente y por ello es de gran im-

La estación espacial internacional

La órbita de la estación espacial internacional está a una altura de 360 km y da una vuelta completa al planeta cada 92 minutos.

Los satélites GPS se sitúan a una altura de 20.200 km, muy por encima de dicha estación.

portancia gestionarlo de tal manera que se garantice su seguridad y eficiencia: el uso de sistemas geotelemáticos basados en GNSS sólo puede aportar una gran ayuda y beneficio tanto para los usuarios de las vías marítimas como para las empresas o instituciones que los gestionan o administran.

Vamos a describir a continuación algunas de las aplicaciones GNSS que se han desarrollado en el sector marítimo.

4.2.1. Seguimiento del tráfico y la navegación marítima

La Organización Marítima Internacional (OMI) es el organismo que regula el tráfico marítimo en todos los mares y océanos del planeta. Desde diciembre del 2004 la OMI impuso el uso de sistemas de identificación automática (AIS en inglés) en todos los buques que superasen los 1.200 m³ de capacidad para, así, disponer de un sistema de gestión del tráfico marítimo que incremente la seguridad, regule el paso de embarcaciones por las vías de alta densidad de tráfico y localice la posición de los barcos de forma periódica en un CC, para evitar colisiones.

El terminal AIS es un equipo que se adapta a la descripción que hemos dado de TG pero especializado y adaptado al sector marítimo. Cada terminal AIS instalado en un barco transmite su posición, velocidad y rumbo conjuntamente con información que identifica al barco, sus dimensiones y detalles del transporte que realiza en esos momentos.

Un terminal AIS está compuesto por un receptor GPS, un transmisor de radio con un alcance de unos 30 km que utiliza los canales 87 y 88 de VHF y una CPU. Periódicamente, el terminal emite sus datos para que otros barcos y el CC marítimo los reciban y los procesen adecuadamente.

4.2.2. Maniobras en el puerto

Los proveedores de servicios marítimos identifican como fases críticas de la navegación la aproximación al puerto y las maniobras dentro del área del puerto, particularmente en condiciones meteorológicas desfavorables. En estas tareas tan delicadas, es necesario utilizar los sistemas de aumentación terrestres, ya que dichas maniobras requieren posicionamiento de alta precisión para evitar dañar el casco de los buques durante su ejecución.

4.2.3. Seguimiento de flotas de barcos y de contenedores

Gestionar la capacidad de carga y transporte de una flota de buques cisternas de petróleo de una flota de cargueros de contenedores son aplicaciones de gran valor añadido para los armadores.

Otras aplicaciones

Aplicaciones del sector marítimo que destacan por su ingeniosidad o especialización:

- Instalación y mantenimiento de cables de comunicaciones submarinos.
- Estudio de mareas y corrientes marinas.
- Seguimiento de bloques de hielo desprendidos de los polos.
- Seguimiento y mitigación de vertidos de petróleo y productos químicos.
- Seguimiento de tormentas tropicales, tifones y huracanes.
- Seguimiento del transporte de materiales peligrosos.

Página web

Podéis ver la implementación de un sistema de seguimiento como el que se ha descrito en la web de Marinetraffic.
<http://marinetraffic.com/ais/>

Otros usos

Tareas como el drenaje de diques y canales también se ven beneficiadas por la utilización de sistemas GNSS que permiten disponer de BBDD y de SIG con mapas actualizados con los trabajos realizados en cada zona del puerto.

En el transporte de contenedores, una causa importante de pérdidas económicas, no sólo para el cliente, sino para el transportista y para la empresa aseguradora, es el extravío de contenedores en el tránsito de un puerto a otro. Para mitigar estas pérdidas se han desarrollado TTGG que, adheridos al exterior de los contenedores, transmiten por radio de corto alcance sus datos de posición y estado a una unidad central a bordo del propio barco, que los retransmite vía satélite a las oficinas centrales.

4.2.4. Navegación de precisión en canales y ríos

Los sistemas GNSS combinados con sistemas de aumentación terrestre proveen señales de navegación con una precisión que permite automatizar el transporte de mercancías en los estrechos canales navegables centroeuropeos.

4.2.5. Oceanografía y topografía hidrográfica

El uso de GNSS ha revolucionado la topografía hidrográfica al georreferenciar con precisión los datos del fondo marino adquiridos por sondas, sonares y radares, lo que permite levantar mapas precisos de dicho fondo marino.

4.2.6. Aplicaciones pesqueras

El sector pesquero también se ha beneficiado con la adopción de aplicaciones GNSS, por ejemplo en la localización y seguimiento de bancos de peces o en la recogida de redes y trampas dejadas en el mar a la deriva, pero convenientemente señalizadas con equipos geotelemáticos específicos para la pesca.

4.2.7. Búsqueda y rescate en alta mar

Actualmente, está en operación un sistema de emergencias marinas basado en balizas que transmiten en UHF un mensaje de alerta hacia la constelación de satélites COSPAS-SARSAT* que lo reenvía hacia una estación terrestre que se encarga de calcular la posición de la baliza a partir de la señal recibida. La precisión que se obtiene es de varios kilómetros y la alerta no se activa en tiempo real, ya que se requiere tiempo para recibir todos los mensajes de los satélites y para procesar la información.

Con la nueva generación de satélites GNSS se ha previsto incorporar el servicio de búsqueda y rescate SAR (del inglés *search and rescue*): se diseñarán unas nuevas balizas de salvamento que emitirán un mensaje de alerta en caso de emergencia que será recibido y retransmitido en tiempo real por los satélites GNSS hacia los centros de rescate y ayuda. En dichos centros se localizará con preci-

Recordatorio de abreviaturas

Terminal geotelemático: TG
 Terminales geotelemáticos: TTGG
 Base de datos: BD
 Bases de datos: BBDD
 Sistemas de gestión de bases de datos: SGBD
 Centro de control: CC

* Sistema internacional de ayuda en emergencias basado en satélites, cuya misión es la búsqueda, rescate y envío de alertas de desastres naturales. Fue puesto en marcha por EE. UU., Canadá, Francia y Rusia.]

sión GNSS el lugar donde se ha producido la emergencia. Además, en respuesta, se emitirá un mensaje corto dirigido a la baliza en estado de emergencia, con un texto que indique que el mensaje de alerta se ha recibido y que se ha iniciado la operación de rescate o ayuda.

Tanto la próxima generación de satélites GPS como el sistema Galileo tienen previsto incorporar a bordo de sus satélites esta nueva funcionalidad. Los sistemas que se instalarán son los siguientes:

- DASS (del inglés *distress alerting satellite system*, 'sistema de alerta de socorro por satélite') en la constelación GPS.
- SAR Galileo, en los satélites del sistema europeo.

Vamos a abordar ahora las aplicaciones que han aparecido en el sector terrestre que, como no podía ser de otra forma, son mayoritarias ya que la mayoría de las actividades humanas se realizan o transcurren sobre la superficie terrestre emergida.

4.3. Aplicaciones en el sector terrestre

A continuación presentamos una serie de áreas en las que se han desarrollado aplicaciones geotelemáticas terrestres muy especializadas:

- Agricultura
- Construcción y obra pública
- Automoción
- Sistemas inteligentes de transporte, ITS (del inglés *intelligent transportation systems*)
 - Telepeaje
 - Gestión del tráfico
 - Localización y gestión de flotas vehículos
- Navegadores personales
- Entretenimiento y ocio
 - Juegos (*geocatching*, golf, etc.)
 - Senderismo
 - Montañismo
 - Carreras de orientación
 - Servicios de emergencia
 - Localización de emergencias
- Localización de equipos de rescate
- Servicios basados en la localización, LBS (del inglés *location based services*)

Del grupo anterior de aplicaciones, nos vamos a centrar en describir con más detalle las aplicaciones relacionadas con los sistemas inteligentes de transpor-

te (ITS) y con los servicios basados en la localización (LBS) debido a la gran variedad de soluciones operativas que existen en la actualidad en estas dos áreas, lo que nos va a servir para comprender mejor las diferentes clases de aplicaciones geotelemáticas.

4.3.1. Sistemas inteligentes de transporte (ITS)

Los ITS son el conjunto de aplicaciones geotelemáticas orientadas a mejorar las condiciones de conducción de todo tipo de vehículos ya sea por carretera o por vía férrea.

Los ITS proporcionan al conductor en tiempo real información de diferentes parámetros de la vía (como por ejemplo, el estado de los semáforos, el grado de congestión o si hay cortes por obras) con el objetivo de prevenirle con suficiente antelación de cualquier incidencia para que tenga tiempo de reacción. Con ello se alcanzan los siguientes objetivos:

- Aumentar la seguridad vial
- Disminuir los accidentes
- Ahorrar tiempo y combustible en los desplazamientos y, en consecuencia, disminuir la emisión de CO₂ a la atmósfera.

Las aplicaciones ITS consisten en sistemas capaces de adquirir, almacenar, procesar y transmitir información en tiempo real de las condiciones de tráfico en una vía o en una red viaria a los usuarios de las mismas.

El usuario debe disponer en su vehículo de un sistema capaz de recibir dicha información y de mostrarla de forma segura, rápida y eficiente, habitualmente mediante medios acústicos, luminosos o gráficos o una combinación de los tres.

Los componentes de los sistemas ITS son un subconjunto adaptado de los propios de una aplicación geotelemática genérica:

- Sistemas de adquisición de datos de las vías
- CC y procesado de la información
- Infraestructuras de comunicación que permiten que se establezcan los siguientes canales de comunicación:
 - De la vía al CC
 - Del CC a la vía
 - De la vía al usuario
 - Del usuario a la vía
- Un TG a bordo del vehículo

En la actualidad los sistemas ITS están en proceso de diseño, experimentación y prueba por parte de administraciones públicas de diferentes países. Los

esfuerzos se centran en aplicaciones innovadoras, como por ejemplo los sistemas de conducción sin conductor (se utilizan, como elementos guía, marcas en el firme de la carretera y cámaras de vídeo o sistemas de señalización instalados a bordo del vehículo que reciben información de las infraestructuras disponibles situadas al lado de la carretera: semáforos, señales verticales, etc.). Algunas de las aplicaciones ya han pasado a la fase de pruebas (los sistemas de telepeaje, por ejemplo) y otras están en plena explotación, como los navegadores personales para vehículos.

Telepeaje

A nivel europeo se está ensayando con el sistema iToll, de la firma española Ikusi*, un sistema de peaje en *free flow* (sin detenerse en las barreras) basado en GNSS. iToll propone estudiar, diseñar e implementar nuevos sistemas de peaje para el transporte por carretera cuyo cobro sea electrónico, sin necesidad de que los vehículos tengan que pararse en una cabina o tengan que moderar su velocidad de tránsito como ocurre con el actual sistema ViaT. Para conseguir sus funcionalidades, iToll utiliza sistemas de comunicaciones de corto alcance y visión por cámaras a las que se aplican algoritmos de visión artificial para identificar las matrículas de los coches que no dispongan de terminal iToll. Así consigue realizar el cobro del peaje de todos los vehículos a la velocidad de circulación legal de la autopista.

* <http://www.ikusi.es>

Aplicaciones en pruebas en la IHS

En el momento de redactar este material, la Interstate Highway System de EE.UU. está ensayando diversas aplicaciones, entre las cuales tenemos:

- IVS (*invehicle signing*, 'señalización en el interior del vehículo'). Este sistema muestra en tiempo real las condiciones de la vía y alerta al conductor de su proximidad a zonas de obras o a señales de STOP.
- En este mismo sentido, se ha desarrollado el concepto de *cruce inteligente*, consistente en enviar el estado de los semáforos del cruce al que se aproxima el vehículo junto con información de los vehículos que van hacia el mismo cruce. El TG a bordo del vehículo calcula la velocidad y el tiempo que ha de emplear el vehículo para evitar la colisión.
- SPE (*signal preemption*, 'aviso de ocupación de la vía'). Este sistema pretende franquear el paso por las vías a vehículos en situación de emergencia (bomberos, policías y ambulancias) cuando se aproximan a cruces y semáforos.
- SVW (*signal violation warning*, 'advertencia de incumplimiento de la señalización'). Este sistema avisa al conductor si la velocidad y la dirección actual del vehículo pueden generar una situación de riesgo para el tráfico. Para determinarlo utiliza la información recibida de la distancia y del estado del próximo semáforo o señalización vertical.

Ya hemos repasado algunas de las aplicaciones geotelemáticas en el mundo del ITS, a continuación vamos a abordar la descripción de una de las aplicaciones con más perspectiva de evolución y de negocio dentro de las aplicaciones geotelemáticas, pero que todavía no se han desarrollado suficientemente: los servicios basados en la localización.

4.3.2. Servicios basados en la localización (LBS)

Los LBS son aplicaciones geotelemáticas para uso personal que ofrecen un servicio de valor añadido a sus clientes, habitualmente por suscripción o prepago, cuyas principales características son las siguientes:

- Ocurren en tiempo real.
- Utilizan la posición del usuario como dato de entrada.
- Disponen de un SIG y una BD espacial y especializada como base de los servicios que ofrecen.
- Ofrecen información veraz y actualizada, y un servicio inmediato y eficaz realmente útil para sus clientes.

Los servicios y aplicaciones LBS pueden cubrir cualquier actividad relacionada con la movilidad de las personas y su público potencial abarca cualquier perfil social.

Aplicaciones de los LBS

- Ayudas para la navegación.
- Servicios de seguridad/emergencias/salud.
- Servicios de ocio y de ayuda en viaje.
- Servicios para mejorar la productividad de una empresa.
- Ayudas a la gestión de equipos de trabajos móviles.
- Aplicaciones automatizadas entre máquinas como la detección de averías en ascensores o la detección de accidentes en coches.

Los LBS tienen su origen en EE.UU. y Japón en el momento del auge de Internet en dichos países. Los primeros sistemas LBS, basados en Internet y en PC de sobremesa, utilizaban la dirección postal que introducía manualmente el usuario para suministrarle informaciones de puntos de interés, POI (del inglés *points of interest*), como farmacias, hoteles, gasolineras o servicios médicos próximos.

Los motores básicos que han de permitir el desarrollo de los LBS son los siguientes:

- La disponibilidad en el mercado de nuevos terminales portátiles para uso personal con pantallas gráficas de tamaño y resolución considerable, memoria para gran cantidad de datos y sistemas de comunicaciones inalámbricos integrados.

- La disponibilidad de diferentes métodos de posicionamiento que ofrecen una precisión suficientemente útil.
- El despliegue de redes de comunicaciones móviles de gran capacidad, como 3G, que permiten disponer de anchos de banda suficientes para la transmisión de grandes cantidades de datos.
- Un entorno legal que promueve las aplicaciones de seguridad y ayuda en caso de emergencia (E112 en Europa y E911 en EE.UU.).

En una aplicación LBS intervienen un gran número de intermediarios: operadores de telecomunicación, proveedores de servicios, de contenido, de *middleware* y de medios de pago. Este gran número de intermediarios en la cadena del LBS genera el mayor obstáculo que queda por resolver para su desarrollo: no disponer de suficientes mecanismos que garanticen la privacidad y la protección de los datos de sus usuarios.

Entre otros impedimentos para la universalización de las aplicaciones LBS, destacamos los dos siguientes:

- El cobro de los servicios que se suministran requiere la intervención de un intermediario adicional: las empresas financieras.
- No hay estándares que faciliten la interoperabilidad entre proveedores de servicios y contenidos cuando el usuario está en *roaming*.

A modo de ejemplo, vamos a describir a continuación algunos servicios LBS existentes en la actualidad y que incluso se pueden contratar en territorio español:

- ViaMichelin* Web Services (Francia): Proveedor de contenidos turísticos que ofrece al usuario, en función de su posición actual, entre otros, los siguientes servicios: localizar diferentes tipos de establecimientos, seleccionar zonas comerciales próximas, visualizar sobre cartografía información de los alrededores, etc.
- Nokia Sports Tracker* (Finlandia): Utilidad basada en seguimiento GPS para dispositivos de Nokia. Hace un seguimiento de la actividad física del usuario y es capaz de trazar la ruta recorrida y proporcionar información relativa a la velocidad, la distancia y el tiempo empleado para realizar la actividad. Permite analizar y compartir todos los datos, tanto de la actividad deportiva como de las rutas asociadas, con una red de usuarios predefinidos.
- TomTom* Mobile (Holanda): Servicio que proporciona al usuario información de navegación. Muestra en la pantalla del teléfono móvil o PDA un mapa con las instrucciones que debe seguir para llegar al destino indicado. Adicionalmente, el servicio estima el tiempo que se invertirá en realizar la

* <http://dev.viamichelin.com>

* <http://sportstracker.nokia.com>

* <http://www.tomtom.com/products/product.php?ID=208&Lenguaje=6&Lid=6>

ruta y los puntos de interés cercanos a la ruta que el usuario haya escogido: gasolineras, restaurantes, hoteles, etc.

- **NTT DoCoMo i-area*** (Japón): Servicio que detecta automáticamente la zona en que se encuentra el móvil del usuario y le ofrece la información que previamente ha seleccionado. Para ello se utilizan las estaciones base de telefonía que, tras localizar al usuario, le ofrecen mapas con información (personalizada previamente) relativa a su posición, como locales de ocio cercanos, estado del tráfico, ubicación de cajeros y alojamientos en la zona, información turística, ubicación y cartelera de los cines próximos, etc. También permite establecer redes sociales y localizar en un mapa a amigos y familiares del cliente, suscritos también al servicio, y que se encuentren próximos a su localización actual.
- **Movistar Localízame*** (España): Este servicio localiza al usuario dentro de la red móvil de Movistar y comparte esa información con una lista de contactos previamente seleccionados. También permite guardar en memoria de forma periódica la posición para luego trazar la ruta seguida sobre un mapa.

* <http://www.nttdocomo.co.jp/english/service/gps/>

* <http://www.movistar.es/accesible/localizame.html>

A pesar del momento económico-financiero en el que nos encontramos a finales del 2009, es un buen momento para los servicios basados en la localización. Existe la infraestructura necesaria, el mercado potencial de usuarios está identificado y maduro y los impedimentos para su implantación se conocen y son superables. Una de las claves para la proliferación de dichos servicios podría ser el diseño de aplicaciones específicas para un perfil de cliente previamente identificado y acotado, y desarrollar a su alrededor una solución tecnológica y de negocio completa y con un alto valor añadido al servicio ofrecido.

Pasamos a ver a continuación aplicaciones de los sistemas GNSS de carácter científico o técnico, donde los usuarios y las aplicaciones tienen un perfil muy especializado.

4.4. Aplicaciones de carácter científico

La comunidad científica europea está mostrando desde hace unos años un gran interés por organizar la explotación científica del sistema europeo de navegación Galileo. Se organizan unos encuentros bianuales ("Galileo science colloquium*") que constituyen el foro de discusión y de exposición de ideas y proyectos de investigación. Las principales materias de interés se han clasificado en los siguientes grupos:

- Aspectos relacionados con la navegación de satélites: sistemas geodésicos de coordenadas de referencia, transferencia de patrones de tiempo y frecuencia, marco relativista, relojes a bordo y en tierra, órbitas, radiación alrededor de la órbita de los satélites GNSS, enlaces entre satélites

* <http://www.congrex.nl/09c10/start.asp>

y parámetros de propagación de señales, incluyendo correcciones troposféricas e ionosféricas.

- Aplicaciones científicas: meteorología, geodesia, geofísica, física del espacio, oceanografía, estudio de la superficie de la Tierra y de ecosistemas, medidas diferenciales, medidas de fase, medidas por ocultación de señales de radio (utilizando receptores situados en tierra, en aviones o en satélites).
- Física fundamental: astronomía, comunicaciones cuánticas y relatividad general utilizando observaciones GNSS.

A continuación presentamos algunas aplicaciones geotelemáticas de carácter científico en línea con lo expuesto en el párrafo anterior:

- Captura de datos cartográficos. Sin mapas ni cartas de navegación los sistemas GNSS son de muy poca utilidad. Por lo tanto, su primer uso es la obtención de mapas digitales de precisión de las vías de comunicación que serán la base sobre las que se asienten las diferentes aplicaciones geotelemáticas.
- Geodesia y topografía. La geodesia fue la primera disciplina en crear aplicaciones GNSS, en los inicios de la puesta en operación del sistema GPS, así como en el diseño y fabricación de receptores GPS de elevada precisión aptos para trabajos geodésicos tanto en posproceso como en tiempo real. La elaboración de catastros mediante la medición precisa de fincas, e incluso la medición de fronteras han sido algunas de las aplicaciones más habituales de estas áreas.
- Sincronización de relojes. La posibilidad de disponer de una base de tiempos común global con una precisión mejor de 50 nanosegundos* ha hecho de los sistemas GNSS el medio idóneo para sincronizar sistemas ubicados en cualquier parte del globo, como por ejemplo las redes de suministro eléctrico, las de ordenadores o las entidades bancarias.
- Sismología. La aplicación de algoritmos muy especializados y en tiempo real sobre la señal adquirida por un receptor GPS ha permitido estudiar el movimiento de la corteza terrestre antes, después y durante un sismo. Los sismólogos están estudiando la relación que hay entre los movimientos previos a un sismo y el terremoto en sí.
- Estudio de la ionosfera y de la troposfera. Los sistemas GNSS transmiten desde más de 20.000 km de altura. En su viaje, las señales electromagnéticas atraviesan las diferentes capas de la atmósfera, entre ellas la ionosfera y la troposfera.

* Un nanosegundo (ns) es la milmillonésima parte de un segundo (10^{-9} segundos).

El análisis de las señales recibidas en la Tierra permite deducir algunos parámetros físicos de dichas capas, como la densidad de electrones en la ionosfera o la cantidad de vapor de agua en la troposfera. El conocimiento de estos datos no es baladí, dicha información es de gran importancia para los sistemas de posicionamiento de elevada precisión. Si los receptores GNSS introducen en los algoritmos de cálculo de la posición las correcciones ionosféricas y troposféricas correspondientes a su zona, se puede mejorar dicho cálculo y evitar posibles pérdidas de datos causadas por las fuertes distorsiones a las que la ionosfera y la troposfera someten a las señales electromagnéticas.

Existen instituciones y organizaciones internacionales que disponen de redes de estaciones GNSS distribuidas en todo el mundo para la adquisición y distribución de señales GNSS y su posterior procesamiento y obtención de modelos de comportamiento de la atmósfera.

Vamos a abordar a continuación un conjunto de aplicaciones que por su variedad y carácter innovador permiten agruparlas en un grupo al que denominaremos *aplicaciones creativas*.

4.5. Aplicaciones creativas

En este apartado trataremos algunas de las aplicaciones que hemos denominado *creativas*:

- Aplicaciones para combatir el cambio climático. Quizás una de las aplicaciones que mejor puede ayudar a combatir el cambio climático desde su origen, es decir, evitando la generación de gases de efecto invernadero (CO₂) es el uso de navegadores personales en los vehículos.

Estudios recientes realizados en Alemania y en EE.UU. han demostrado que dichos sistemas ahorran tiempo en la realización de los trayectos, acortan la distancia recorrida y, por consiguiente, ahorran gasolina, lo que se traduce en una ventaja económica para los usuarios y una menor generación de gases de efecto invernadero.

- Seguimiento de animales*. La miniaturización de los equipos permite instalarlos en una gran variedad de animales de manera que los biólogos-etólogos pueden conocer en tiempo real la situación de los animales marcados. Esto permite elaborar estudios cada vez más precisos de los movimientos estacionales, los hábitos de alimentación, etc. de los animales controlados.

* <http://www.wildlifecomputers.com>

En ganadería bovina se utilizan equipos geotelemáticos para controlar todos los parámetros vitales e industriales de las vacas: kilómetros recorridos cada día, litros de leche producidos, variación de peso diaria, ingestión de agua diaria, horas en reposo y en movimiento, etc. Aplicaciones similares pueden realizarse para otros tipos de ganadería.

- Seguimiento de icebergs. La navegación marítima se ve frecuentemente amenazada por el desprendimiento de bloques de hielo de los casquetes polares que las corrientes marinas desplazan hacia zonas de tránsito de buques de carga o de pasajeros. Si se instala un sistema geotelemático en los bloques de hielo, mediante las comunicaciones vía satélite se puede alertar a los barcos del acercamiento de dichos bloques de hielo a las rutas.
- Guiado de personas ciegas. Disponer de sistemas personales portátiles que permitan moverse con precisión a una persona visualmente impedida en un entorno urbano o rural es una de las aplicaciones más perseguidas por el colectivo de invidentes. Si bien no existe en el mercado ningún equipo de estas características se han realizado diferentes investigaciones y desarrollos al respecto entre los que cabe destacar el sistema Tormes*, desarrollado por la empresa española GMV. Para que se puedan utilizar estos sistemas, se debe garantizar que la precisión de la señal de posicionamiento recibida permanezca dentro de los márgenes de trabajo necesarios durante el tránsito de una persona por las calles de una gran ciudad. La altura de los edificios ocasiona que las ocultaciones de los satélites GNSS sea constante y, por consiguiente, el posicionamiento obtenido tenga un gran error.
- Seguimiento de niños en parques de atracciones. Se puede incorporar a una pulsera un elemento electrónico pasivo, denominado *tag*, que contenga los datos del niño. El paso de la pulsera por los elementos de detección distribuidos en el parque temático indicarían al CC la posición del niño. Esta información puede servir para prevenir situaciones peligrosas, como podría ser el acceso a atracciones prohibidas para su edad o el acceso a las salidas del recinto.
- Seguimiento de pacientes con alzheimer. La miniaturización conseguida en los receptores GNSS ha permitido generar equipos de muy bajo consumo y pequeño tamaño, lo que permitiría utilizarlos para localizar a pacientes de alzheimer que pierden el sentido de la orientación, antes de que sea demasiado tarde.
- Protección de mujeres víctimas de violencia doméstica. Las mujeres víctimas de violencia doméstica utilizan teléfonos móviles con GPS integrado para ser localizadas en cualquier momento desde un CC. El agresor dispone también de un equipo similar. En el CC se conocen las dos posiciones y se vigila que la distancia entre ellas no esté por debajo del límite de alejamiento establecido por los tribunales. En caso de

Nota

Este tipo de aplicaciones tiene un precedente a las soluciones GNSS constituido por equipos basados en el sistema ARGOS. ARGOS es un sistema mundial de recogida de datos meteorológicos desde plataformas fijas o móviles. Utiliza el efecto Doppler para localizar el terminal de datos sobre la superficie terrestre. Esta tecnología, que se emplea por su simplicidad, bajo consumo y bajo coste, hace que se puedan aplicar los terminales para su uso en animales.

* www.gmv.es/sanidad/sistemas_ayuda_discapitados.htm

Recordatorio de abreviaturas

Terminal geotelemático: TG
 Terminales geotelemáticos: TTGG
 Base de datos: BD
 Bases de datos: BBDD
 Sistemas de gestión de bases de datos: SGBD
 Centro de control: CC

emergencia, los teléfonos disponen de un botón que, cuando se presiona, envía un SMS de alerta al CC y establece una llamada de voz con dicho centro. A partir de ese momento, desde el CC se puede realizar un seguimiento auditivo de lo que le está sucediendo a la víctima y queda registrado el sonido recibido para su posterior revisión.

Terminales avanzados. En el mercado se puede encontrar un conjunto de terminales electrónicos que bajo diferentes denominaciones (*smartphones*, PDA, teléfonos avanzados, etc.) integran algunos de los elementos y capacidades que forman parte de un TG: WLAN, *Bluetooth*, cámara de hasta 5 megapíxeles, sensor de luz, acelerómetro, GPS y conectividad a la red de telefonía móvil 3G. Estos dispositivos son objeto de atención de empresas desarrolladoras de servicios y aplicaciones para usuarios finales.

Es de destacar la iniciativa de Google de crear y promocionar una plataforma o sistema operativo, denominada Android, diseñada especialmente para desarrollar sobre ella aplicaciones de movilidad de todo tipo.



Los primeros terminales basados en Android* de Motorola (CLIQ**), LG (GW620***)y Acer (Liquid****)

EL YUMA

El fabricante Americano Trimble lanzó al mercado, a principios del 2009, el terminal denominado YUMA, un ordenador robusto, del tipo *tablet*, con GPS integrado y diseñado especialmente para trabajo SIG en campo, servicios públicos o para aplicaciones geográficas militares. Diseñado según las normas militares de diseño, tiene unas características excepcionales: soporta caídas, vibraciones y humedad del 100%; su rango de temperatura va de -30 a 60 °C y es impermeable al polvo y al agua. Dispone también de Wifi, *Bluetooth*, ranura para tarjetas SD, 2 cámaras y un disco duro sólido de 32 GBytes. Su pantalla táctil de 7 pulgadas ofrece buena visibilidad aun con incidencia directa de la luz solar.



Terminal Trimble Yuma

4.6. Aplicaciones de carácter militar

Vamos a describir algunas de las aplicaciones militares para las cuales la utilización del sistema GPS constituye el elemento clave del sistema.

Ejemplos de *smartphones*

El Blackberry Store, el iPhone de Apple y el Palm Pre.

* <http://www.androidauthority.com/>
 ** <http://www.motorola.com/Consumers/US-EN/Consumer-Product-and-Services/Mobile-Phones/ci.Motorola-CLIQ-US-EN.alt>
 *** http://www.lge.com/about/press_release/detail/21912.jhtml
 **** <http://www.acerliquid.net/>

- Gestión de cuerpos de seguridad. Los cuarteles generales (móviles o fijos) disponen de salas de control en donde se recibe en tiempo real la posición de recursos humanos y materiales, lo que mejora la gestión de dichos recursos.

Los equipos geotelemáticos utilizados en estas aplicaciones se mueven en circuitos restringidos al círculo militar y alejados de los mercados de consumo.

- Gestión de equipos de trabajo en caso de emergencias. Esta es la aplicación de uso civil más habitual de los equipos e infraestructuras diseñadas para uso militar. Las situaciones extremas a las que puede someterse una población civil tras una catástrofe de carácter natural o antropogénica son similares a las situaciones bélicas para las cuales se han diseñado los sistemas militares. Por este motivo, cada año estos sistemas ayudan a salvar un gran número de vidas humanas a pesar de que, por otra parte y en otros escenarios, ayudan también a destruirlas.
- Descubrimiento de carreteras cubiertas por la nieve. La combinación de equipos geotelemáticos y de SIG utilizados conjuntamente y en tiempo real, permite encontrar carreteras cubiertas por la nieve. Su utilidad es evidente: evitar la inmovilización de una columna de vehículos, cuya puntualidad en llegar al objetivo es decisiva.
- Guiado de misiles y de armamento en general. Se colocan en el interior de proyectiles sistemas de posicionamiento y navegación miniaturizados que pueden reducir el error de apuntamiento a valores centimétricos.
- Guiado de UAV*. La misión de los UAV suele ser de observación y captura de datos en territorios que, por su difícil acceso por tierra, tienen la vía aérea como único recurso para su vigilancia. Un UAV incorpora una unidad de posicionamiento y de navegación que le permite ser autosuficiente para realizar una misión de observación o bien ser telecontrolado en tiempo real desde cualquier lugar, gracias a los avanzados sistemas de telecomunicaciones que llevan a bordo. Estos aviones, cuya envergadura puede oscilar entre pocos centímetros y decenas de metros, van equipados con una gran variedad de sensores (infrarrojos para visión nocturna, meteorológicos, etc.), cámaras fotográficas y de vídeo, radares,... y gracias a los sistemas de telecomunicación integrados (vía satélite o vía radio terrestre) pueden transmitir en tiempo real los datos adquiridos a un centro de mando y control desde donde se tomaran las decisiones convenientes.
- Gestión de recursos humanos en el campo de batalla. El campo de batalla conforma el escenario más exigente en lo que a las aplicaciones militares se refiere. Los equipos que se diseñan para este propósito han de

* Del inglés *Unmanned Aerial Vehicles* 'vehículos aéreos no tripulados'.

soportar unas condiciones de funcionamiento extremas tanto físicas como químicas: grandes aceleraciones y vibraciones, golpes bruscos, sumergimiento en líquidos, el paso de altas a bajas temperaturas o viceversa en un lapso de breve de tiempo, atmósferas corrosivas, etc.

Resumen

Desde finales de los años noventa, los sistemas GNSS se han convertido en una herramienta generadora de valor añadido en los procesos de negocio de las empresas de la mayoría de sectores de actividad. La aparición de nuevos equipos de uso personal que incorporan GPS, como teléfonos móviles, tablet PC, cámaras fotográficas o PDA, junto con la capacidad de almacenar datos geográficos y de tener acceso a servicios de telecomunicación, han permitido a empresas y organizaciones ofrecer nuevos servicios que ayuden a optimizar los recursos móviles y a abrir nuevos mercados. Además, la desactivación de la disponibilidad selectiva (SA) del servicio GPS ha permitido disponer de una mejor precisión en el posicionamiento que a su vez ha abierto las puertas a multitud de nuevas funcionalidades.

Las aplicaciones de los sistemas de posicionamiento son muy variadas y día a día aparecen nuevas aplicaciones que permiten hacer de la movilidad una ventaja y se desarrollan nuevas funcionalidades que sacan un poco más de jugo al conocimiento de la posición.

En este material se ha dado una visión panorámica del concepto de geotelemática. Se han definido los conceptos de geotelemática y aplicación geotelemática y se han enumerado los elementos que componen un sistema geotelemático. Se han definido los conceptos de posicionamiento, localización y navegación y se han descrito los diferentes sistemas de posicionamiento disponibles en la actualidad, que constituyen la pieza angular de la geotelemática y de las funcionalidades basadas en la localización.

Se han visto los sistemas de posicionamiento por satélite (GNSS) y se han descrito los sistemas operativos que se utilizan, tanto los actuales como el proyecto Galileo. Se ha completado la visión de los sistemas de posicionamiento por satélite con los sistemas de aumentación, explicando tanto los basados en satélites geoestacionarios (los SBAS) como los basados en infraestructuras terrestres (los GBAS).

A continuación se han tratado los sistemas de posicionamiento terrestres, tanto los que usan infraestructuras de telecomunicaciones como los especialmente diseñados para la navegación marítima o aérea. Así, se han visto los principios de funcionamiento del sistema LORAN-C y de los diferentes sistemas de posicionamiento con telefonía móvil.

Para acabar de describir todos los sistemas de posicionamiento, se han explicado también los sistemas de posicionamiento inercial o INS, que son de gran utilidad en caso de falta de cobertura o de disponibilidad del resto de sistemas

de posicionamiento. Se han presentado también los sistemas de posicionamiento híbridos y se han visto, entre otras, la combinación de GPS con telefonía móvil (AGNSS) y la combinación de GPS con LORAN-C.

A continuación, se han enumerado y descrito las características y funcionalidades de los elementos que componen un sistema geotelemático: se han presentado las infraestructuras sobre las que se asientan estos sistemas y unos criterios básicos para el diseño de un CC.

Para finalizar, se han descrito las aplicaciones geotelemáticas disponibles en la actualidad en cada uno de los sectores industriales que focalizan el uso de TT-GG.

Todavía quedan muchos temas por resolver en cuanto a los sistemas y aplicaciones de localización. Sin ir más lejos, las aplicaciones *indoor* todavía no están resueltas y constituyen un reto para la innovación en la industria GNSS. Todavía vamos a tener que esperar unos años para ver o utilizar nosotros mismos aplicaciones geotelemáticas que nos localicen y nos guíen por el interior de edificios. Quizás podáis ser vosotros quienes desarrolléis una de estas aplicaciones.

Ejercicios de autoevaluación

Preguntas básicas

1. Definid *geotelemática*.
2. Definid *terminal geotelemático*.
3. Enumerad los sistemas de posicionamiento que se utilizan en la actualidad para determinar la posición de un vehículo o persona.
4. Indicad cuántos satélites de posicionamiento hacen falta para calcular la posición de un punto sobre la superficie de la Tierra.
5. Indicad si es correcta la siguiente definición:
“Un receptor GPS es un equipo electrónico que se comunica con los satélites GPS para obtener la posición en coordenadas geográficas donde se encuentra.”
6. Mencionad los sistemas de navegación por satélite que conozcáis y que estén operativos actualmente. Distinguid entre los que tienen cobertura global y los que tienen cobertura regional.

Preguntas avanzadas

7. Enumerad los elementos que componen un terminal geotelemático.
8. Indicad cuántos satélites GPS ha de recibir un receptor GPS para poder calcular su posición en tiempo, latitud, longitud y altura.
9. Describid brevemente en qué consiste la integridad de un sistema de navegación por satélite.
10. Enunciad las aplicaciones terrestres del sistema GPS que conozcáis.
11. Indicad si es correcta la siguiente afirmación:
“Los sistemas de navegación por satélite pueden ayudar a combatir el cambio climático.”

Solucionario

1. La geotelemática es el conjunto de recursos técnicos que permiten el desarrollo de actividades sobre el territorio con conocimiento previo de la posición en que nos encontramos, con acceso a servicios de telecomunicaciones y con disponibilidad de información geográfica del territorio donde estemos ubicados.

(Para ampliar la información consultad el apartado 1.1.)

2. Un terminal geotelemático es un dispositivo electrónico cuyo núcleo central es un microprocesador o CPU, que a su vez contiene en su memoria un programa informático que obtiene su posición a través del módulo de posicionamiento. La información de posición se almacena y se procesa según requiera la aplicación para la cual ha sido diseñado y además, gracias al módulo de comunicaciones, accede a un sistema o infraestructura de telecomunicaciones que permite transmitir, en función de las necesidades, la información de posicionamiento adquirida: inmediatamente, periódicamente o bien a petición del CC. (Para ampliar la información, consultad el apartado 3.1.)

3. Sistemas de posicionamiento espaciales, terrestres, terciales e híbridos. (Para ampliar la información consultad el apartado 2.)

4. La posición de un punto sobre la superficie de la Tierra viene dada por la combinación de los datos que proporcionan tres satélites. (Para ampliar la información consultad el apartado 2.1.1.)

5. Incorrecta. Los receptores GPS actúan como un receptor de radio, recibiendo las emisiones de los satélites GPS y utilizando los datos recibidos para calcular la posición donde se encuentran. (Para ampliar la información, consultad el apartado 2.1.2.)

6.

- De cobertura global: GPS y GLONASS.
- De cobertura regional: los sistemas de aumentación WAAS (en América del Norte) y EGNOS (en Europa).
- El sistema europeo Galileo, de carácter global, se encuentra en desarrollo y estará operativo hacia el año 2014.
- El sistema chino Compass, de carácter global, está en fase de desarrollo y estará operativo hacia el 2013.

(Para ampliar la información, consultad el apartado 2.1.)

7. El módulo principal, el módulo de comunicaciones, el módulo de interfaz de usuario, el módulo de posicionamiento, el módulo de aplicación informática, el módulo de sensores, el módulo de antenas y el módulo de alimentación. (Para ampliar la información, consultad el apartado 3.1.)

8. Cuatro, uno para cada incógnita.

9. La integridad consiste en el envío de mensajes de alerta hacia los receptores previos a la ocurrencia del fallo en la calidad de la señal que envían los satélites de navegación. Por ejemplo, el futuro sistema europeo Galileo dispondrá del servicio Safety of Life (SoL). Este servicio se encargará de avisar al usuario con seis segundos de antelación con un mensaje de alerta cuando esté previsto que la señal de navegación se degrade por debajo de unos determinados umbrales de precisión horizontal y vertical. (Para ampliar la información, consultad el apartado 4.1.)

10. Algunas de ellas son la gestión de flotas de vehículos, navegadores personales, en agricultura, telepeaje, servicios de emergencia o el estudio de los efectos de los terremotos en la superficie terrestre. (Para ampliar la información, consultad los apartados 4.3 y 4.4.)

11. Correcta. Los navegadores de los vehículos optimizan el cálculo de rutas, lo que reduce el número de kilómetros recorridos y, con ello, el consumo de gasolina, lo que disminuye la emisión de gases contaminantes. En caso de variar la ruta a seguir, ofrecen las rutas alternativas con menor distancia adicional recorrida. (Para ampliar la información, consultad el apartado 4.7.)

Glosario

AGNSS	<i>assisted gnss</i>	GNSS asistido
AOA	<i>angle of arrival</i>	ángulo de llegada
ARGOS	<i>advanced research and global observation satellite</i>	satélite para la observación y la investigación de la tierra

ATM	<i>air traffic management</i>	gestión del tráfico aéreo
BBDD		bases de datos
CC	<i>control centre</i>	centro de control
CID o CELL ID	<i>cell identification</i>	identificación de celda
COO	<i>cell of origin</i>	celda de origen
COSPAS/SARSAT	<i>cosmitscheskaja sistema poiska awarinitsch sudow (russian: space system for search of vessels in distress)/ search and rescue satellite aided tracking</i>	organización SAR internacional
CPU	<i>computer unit process</i>	unidad central de proceso
CS	<i>commercial service</i>	servicio comercial de Galileo
DAB	<i>digital audio broadcast</i>	difusión de audio digital o también denominada radio digital
DASS	<i>distress alerting satellite system</i>	sistema de alerta de socorro por satélite
DSRC	<i>dedicated short range communication</i>	comunicación de corto alcance
EC	<i>european commission</i>	comisión europea
EGNOS	<i>european geostationary navigation overlay service</i>	servicio europeo de aumentación para la navegación basado en satélites geoestacionarios
EOTD	<i>enhanced observed time difference</i>	observación de la diferencia de tiempo mejorada
ESA	<i>European Space Agency</i>	Agencia Espacial Europea
Eu	<i>European Union</i>	Unión Europea
EUA		Estados Unidos de América
FM	<i>modulated frequency</i>	frecuencia modulada
FTP	<i>file transfer protocol</i>	protocolo de transferencia de archivos
GAGAN	<i>GPS and geo augmented navigation</i>	navegación GPS con aumentación basada en satélites geoestacionarios
GBAS	<i>ground based augmentation system</i>	sistema de aumentación basado en tierra
GEO	<i>geosynchronous earth orbit</i>	órbita terrestre geoestacionaria
GIOVE	<i>Galileo in orbit validation element</i>	elemento de validación en órbita para Galileo
GLONASS	<i>global'naya navigatsionnaya sputnikovaya sistema or global navigation satellite system</i>	sistema de navegación global por satélite
GNSS	<i>global navigation satellite system</i>	sistema global de navegación por satélite
GPRS	<i>general packet radio services</i>	servicios generales de radio por paquetes
GPS	<i>global positioning system</i>	sistema de posicionamiento global
GSM	<i>global system for mobile communications</i>	sistema global de comunicaciones móviles
GSTB V1	<i>Galileo system test bed v1</i>	Test de base para el sistema Galileo versión 1
GT	<i>gross tonnage</i>	1 GT equivale aproximadamente a 1.187 m ³ de capacidad
HSPA	<i>high speed packet access</i>	acceso de alta velocidad del paquete
HTTP	<i>hypertext transfer protocol</i>	protocolo de transferencia de hipertexto
HTTPS	<i>hypertext transfer protocol secure</i>	protocolo "seguro" de transferencia de hipertexto
I/O	<i>input/output of dates</i>	entrada/salida de datos
ILS	<i>instrument landing system</i>	sistema instrumental de aterrizaje
INS	<i>inertial navigation systems</i>	sistemas de navegación inercial
IP		índice de protección
ISS	<i>international space station</i>	estación espacial internacional
ITS	<i>intelligent transportation systems</i>	sistemas inteligentes de transporte
IVS	<i>invehicle signing</i>	señalización en el interior del vehículo

JPALS	<i>joint precision approach and landing system</i>	sistema conjunto de precisión para la aproximación y el aterrizaje
LBS	<i>location based services</i>	servicios basados en la localización
LAAS	<i>local area augmentation system</i>	sistema local de aumentación gnss
LED	<i>light emitter diode</i>	diodo emisor de luz)
LEO	<i>low earth orbit</i>	órbita terrestre de altura baja
Loran C	<i>long range radio aid to navigation C</i>	radio ayuda de largo alcance para navegación versión C
M2M	<i>machine to machine</i>	protocolo de comunicaciones de máquina a máquina
MCC	<i>master control centre</i>	centro de control principal
MEO	<i>medium earth orbit</i>	órbita terrestre de altura media
MSAS	<i>multifunctional satellite augmentation system</i>	sistema de aumentación por satélite multifuncional
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>	Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio
NAVSTAR GPS	<i>navigation system with timing and ranging global positioning system</i>	sistema de posicionamiento global y sistema de navegación con sincronización y medida de distancia
NLES	<i>navigation land earth station</i>	estación terrena para navegación terrestre
OMEGA	<i>optimized method for estimated guidance accuracy VLF navigation system</i>	método optimizado para guiado aproximado basado en un sistema de navegación VLF
OP	<i>open service</i>	servicio abierto o libre de Galileo
PC	<i>personal computer</i>	ordenador personal
PMR	<i>private or professional mobile radio</i>	radio móvil privada o profesional
PoI	<i>point of interest</i>	punto de interés
PPP	<i>public private partnership</i>	sociedad participada por el sector público y el privado
PPS	<i>precise positioning service</i>	servicio de posicionamiento preciso
PRS	<i>public regulated service</i>	servicio público regulado de Galileo
RAID	<i>redundant array of inexpensive disks</i>	conjunto redundante de discos baratos, o también conjunto redundante de discos independientes
RFID	<i>radio frequency identification</i>	identificación por radiofrecuencia
RIMS	<i>ranging and integrity monitoring station or remote integrity monitoring station</i>	estación de medida de distancias y de monitoreo de la integridad o estación remota para el monitoreo de la integridad
SA	<i>selective availability</i>	disponibilidad selectiva
SAE		sistemas de ayuda a la explotación
SAR	<i>search and rescue</i>	servicio de búsqueda y rescate (también servicio ofrecido por Galileo)
SBAS	<i>satellite based augmentation system</i>	sistema de aumentación basado en satélites
SESAR	<i>single european skyATM research</i>	investigación en ATM y espacio aéreo único europeo
SIG		sistema de información geográfico
SMTP	<i>simple mail transfer protocol (internet email)</i>	
Protocolo simple para transferencia de Mail por internet		
SoL	<i>safety of life</i>	servicio de integridad de Galileo
SPE	<i>signal preemption</i>	aviso de ocupación de la vía

SPS	<i>standard positioning service</i>	servicio de posicionamiento estándar
SS	<i>space segment</i>	segmento espacial
SSH	<i>secure shell</i>	conjunto de comandos para realizar comunicaciones seguras en Unix
SVW	<i>signal violation warning</i>	advertencia de incumplimiento de la señalización
TCPIP	<i>transmission control protocol internet protocol</i>	protocolo de control de transmisión protocolo de internet
TDOA	<i>time difference of arrival</i>	diferencia en el tiempo de llegada
TETRA	<i>trans european trunked radio</i>	sistema de comunicaciones vía radio trunking de alcance transeuropeo
TG	<i>geotelematic terminal</i>	terminal geotelemático
(TTGG en plural)		
UHF	<i>ultra high frequency</i>	frecuencia ultra alta
UMI	<i>inertial measurement unit</i>	unidad de medida inercial
UMTS	<i>universal mobile telecommunications system</i>	sistema universal de telecomunicaciones móviles
URSS		unión de repúblicas socialistas soviéticas
UWB	<i>ultra wide band</i>	banda ultra ancha
VHF	<i>very high frequency</i>	muy alta frecuencia
VLf	<i>very low frequency</i>	frecuencia muy baja
VOR/DME	<i>very high frequency, omni directional ranging/distance measuring equipment</i>	equipo de medida de distancias de alcance omnidireccional de muy alta frecuencia
VPN	<i>virtual private network</i>	red privada virtual
WAAS	<i>wide area augmentation system</i>	sistema de aumentación de gran alcance
WiFi	<i>wireless fidelity</i>	Ver WLAN
WIMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>	Grupo de Trabajo para Interoperabilidad para Acceso a las Comunicaciones de Microondas de Banda Ancha
WLAN	<i>wireless local area network</i>	red inalámbrica de área local

Bibliografía

Bibliografía básica

ElRabbany, Ahmed (2006²). *Introduction to GPS: The Global Positioning System*. Boston: Artech House.

Jacobson, L. (2007). *GNSS Markets and Applications (GNSS Technology and Applications)*. Norwood (EE.UU.)/ Londres (R.U.): Artech House Publishers.

Longley, P. A.; Goodchild, M. F.; Maguire, D. J., y otros (2005). *Geographic Information Systems and Science* (2.^a ed.). Chichester (Reino Unido): John Wiley & Sons.

Bibliografía avanzada

Kaplan, Elliott D.; Hegarty, Christopher J. (2005²). *Understanding GPS: Principles and Application*. Boston: Artech House.

Pratap, Misra; Enge, Per (2006²). *Global Positioning System: Signals, measurements & Performances*. GangaJamuna.

Wellenhopf, Bernhard Hofmann; Lichtenegger, Herbert; Wasle, Elmar (2007). *GNSS: GPS, Glonass, Galileo and more*. Viena: Springer.

Enlaces a páginas web relacionadas con GNSS y geotelemática

Información de COMPAS

- <http://www.sinodefence.com/space//spacecraft/beidou1.asp>
- <http://www.sinodefence.com/space//spacecraft/beidou2.asp>

Información de GALILEO

- <http://ec.europa.eu/transport/galileo/>
- <http://www.esa.int/esaNA/index.html>
- <http://www.gsa.europa.eu/>

Información de GLONASS

- <http://www.glonassianc.rsa.ru>

Información de GPS

- <http://gps.faa.gov>
- <http://www.wowinfo.com/gps>
- <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps.html>

Información de QZSS

- http://www.jaxa.jp/projects/sat/qzss/index_e.html
- **Información de sistemas de aumentación**

EGNOS

- <http://www.esa.int/esaNA/egnos.html>
- <http://www.egnospro.esa.int/index.html>
- <http://www.esspsas.eu>
- <http://www.essp.be/>
- <http://ec.europa.eu/transport/egnos>
- <http://www.gsa.europa.eu/go/egnos>

MSAS

- http://www.kasc.go.jp/MSAS/index_e.html

OMNISTAR

- <http://www.omnistar.com>

WAAS

- <http://www.nstb.tc.faa.gov>

Asociaciones profesionales

American Geophysical Union (AGU)

<http://www.agu.org>

German Institute of Navigation (DGON)

<http://dgon.de>

Institute of Navigation (ION)

<http://www.ion.org>

International Association of Geodesy (IAG)

<http://www.iagaig.org/>

International Association of Institutes of Navigation (IAIN)

<http://www.iainav.org/>

International GPS Service (IGS)

<http://igscb.jpl.nasa.gov>

National Marine Electronics Association (NMEA)

<http://nmea.org>

Radio Technical Commission on Aviation (RTCA)

<http://www.rtca.org>

Radio Technical Commission on Maritime Services (RTCM)

<http://www.rtcn.org>

Organismos públicos

Department of Transportation (U.S. DoT)
<http://www.dot.gov>

Center for Advanced Aviation System Development (CAASD)
<http://www.caasd.org>

NASA's GPS applications Exchange
<http://gpshome.ssc.nasa.gov>

Universidades y centros de investigación

University NAVSTAR Consortium
<http://www.unavco.org/aboutus/aboutus.html>

University of Arkansas. Centre for advanced Spatial Technologies. GPS Program
<http://castweb.cast.uark.edu/home/research/geomatics/globalpositioningsystemgps.html>

University of Calgary. Department of Geomatics Engineering
<http://www.geomatics.ucalgary.ca/>

University of New Brunswick. Geodetic Research Laboratory
<http://www.unb.ca/>

University of New Brunswick. Department of Geodesy and Geomatics Engineering
<http://gge.unb.ca/HomePage.php>

Fabricantes de chipsets GPS

SIRF
<http://www.sirf.com/>

UBLOX
<http://www.u-blox.ch>

FASTRAX
<http://www.fastraxgps.com>

EVERMORE
<http://www.emt.com.tw/webPage/>

MICRO MODULAR TECHNOLOGIES
<http://www.micromodular.com>

Fabricantes de receptores GNSS

Garmin
<http://www.garmin.com/garmin/cms/site/us>

Javad
<http://www.javad.com/jgnss/>

Leica
<http://www.leicageosystems.com/en/index.htm>

Magellan
<http://www.promagellangps.com/en/>

Novatel
<http://www.novatel.ca>

Septentrio
<http://www.septentrio.com>

Topcon
<http://www.topconsolutions.com>

Trimble
<http://www.trimble.com/index.aspx>

Aplicaciones

Agricultura de precisión

<http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/cpf>

<http://www.trimble.com/agriculture/>

ITS

ERTICO ITS Europe

<http://www.ertico.com>

Intelligent Transportation Systems Joint Program Office. US Department of Transportation
(ITSJPO US DoT)

<http://www.its.dot.gov>

ITSA – ITS America

<http://www.itsa.org/>