

Geotelemática

Posicionamiento y navegación

Jordi Rovira Jofre

PID_00195376



Los textos e imágenes publicados en esta obra están sujetos –excepto que se indique lo contrario– a una licencia de Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada (BY-NC-ND) v.3.0 España de Creative Commons. Podéis copiarlos, distribuirlos y transmitirlos públicamente siempre que citéis el autor y la fuente (FUOC. Fundació para la Universitat Oberta de Catalunya), no hagáis de ellos un uso comercial y ni obra derivada. La licencia completa se puede consultar en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/legalcode.es>

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	11
1.3.2. Localización	11
1.3.3. Navegación	12
1.4. Satélites	12
2. Sistemas de posicionamiento	15
2.1. Sistemas de posicionamiento por satélite, GNSS	18
2.1.1. Funcionamiento de los sistemas de posicionamiento por satélite	19
2.1.2. GPS	22
2.1.3. Galileo	23
2.1.4. GLONASS	25
2.1.5. Comparación de los sistemas de posicionamiento por satélite	26
2.2. Sistemas de aumentación	27
2.2.1. SBAS	27
2.2.2. GBAS	28
2.3. Sistemas de posicionamiento terrestres	28
2.3.1. Funcionamiento de los sistemas de posicionamiento terrestres	29
2.3.2. Sistemas de posicionamiento terrestres para la navegación	30
2.3.3. Sistemas de posicionamiento terrestres basados en redes de telecomunicaciones	32
2.4. Sistemas de posicionamiento inerciales	35
2.5. Sistemas de posicionamiento híbridos	36
3. Elementos de una aplicación geotelemática	38
3.1. Terminales geotelemáticos	39
3.1.1. Elementos de un terminal geotelemático	41
3.1.2. Criterios para la selección de un terminal geotelemático	44
3.1.3. Tipos de terminales geotelemáticos	46

3.2.	Centro de control	48
3.2.1.	Núcleo principal	49
3.2.2.	Módulo de servicios SIG	51
3.2.3.	Módulo de base de datos y <i>data log</i>	52
3.2.4.	Servidor web	52
3.2.5.	El <i>cloud</i> redefine el centro de control clásico	53
3.3.	Infraestructuras y proveedores de servicios	53
3.3.1.	Infraestructuras de comunicación	53
3.3.2.	Proveedores de servicios	54
3.3.3.	Servicios de geolocalización globales	56
4.	Aplicaciones de los sistemas de posicionamiento	57
4.1.	Aplicaciones en el sector aeronáutico y espacial	57
4.1.1.	Aplicación en el sector aeronáutico	58
4.1.2.	Aplicaciones espaciales	61
4.2.	Aplicaciones en el sector marítimo	62
4.2.1.	Seguimiento del tráfico y la navegación marítima	62
4.2.2.	Maniobras en el puerto	63
4.2.3.	Seguimiento de flotas de barcos y de contenedores	63
4.2.4.	Búsqueda y rescate en alta mar	63
4.2.5.	Otras aplicaciones	64
4.3.	Aplicaciones en el sector terrestre	64
4.3.1.	Sistemas inteligentes de transporte (ITS)	65
4.3.2.	Servicios basados en la localización (LBS)	67
4.4.	Aplicaciones de carácter científico	69
4.5.	Aplicaciones creativas	71
4.6.	Aplicaciones relacionadas con el ocio y el tiempo libre	73
4.7.	Aplicaciones de masas: la nube y las redes sociales	74
4.8.	Aplicaciones de realidad aumentada	74
4.9.	Aplicaciones de carácter militar	75
Resumen		77
Abreviaturas		79
Bibliografía		83

Introducción

Es muy posible que, a raíz de la reciente eclosión de los mapas en la web y los dispositivos móviles con capacidades de posicionamiento, hayáis ya coincidido con aplicaciones de posicionamiento y navegación. Detrás de estos mapas y estos dispositivos hay distintas disciplinas de medición y representación del territorio, además de herramientas SIG (sistemas de información geográfica), que nos permiten realizar cálculos y gestionar la información espacial y geográfica que obtenemos del territorio. En este módulo vais a ver los diferentes sistemas y herramientas de 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 geotelemáticos**. El objetivo de este módulo 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 (apartados "Introducción a la geotelemática" y "Sistemas de posicionamiento"), y nos centraremos en los sistemas de posicionamiento por satélite (más conocidos por sus siglas inglesas, GNSS). Conoceréis cómo funcionan y cuáles son los diferentes sistemas que permiten este tipo de posicionamiento.

A continuación (apartado "Elementos de una aplicación geotelemática") describiremos 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.

Por último (apartado "Aplicaciones de los sistemas de posicionamiento"), nos dedicaremos a describir algunas de las aplicaciones geotelemáticas que se han desarrollado hasta el momento. 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 y las nuevas tendencias respecto a las redes sociales y al nuevo concepto de *nube*. El número de aplicaciones crece cada día y nuestra selección es solo un subconjunto pequeño de todas las posibles. Sin duda, a lo largo de este módulo vais a descubrir e incluso –¿por qué no?– a crear unas cuantas más por vuestra cuenta.

GPS

Del inglés *Global Positioning System*

GNSS

Global Navigation Satellite Systems

Objetivos

En 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.
6. Conocer el amplio abanico de aplicaciones geotelemáticas existentes.
7. Conocer los sitios web principales para obtener información detallada y actualizada de los temas introducidos en el módulo.

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**, este 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, modelar, 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.

Existen diversas ciencias y tecnologías que forman parte de la geotelemática, tales como la cartografía, la geodesia, el almacenamiento de datos geográficos, los SIG (sistemas de información geográfica), etc. En este módulo nos centraremos en los sistemas de posicionamiento y navegación, que son los que aportan el término *telemática*, asociado a la integración de los sistemas de información y telecomunicaciones con los dispositivos móviles.

Comenzaremos este apartado explicando el concepto de geotelemática para, a continuación, describir brevemente los elementos que componen un sistema de geotelemática. Finalmente, veremos una introducción a los sistemas de posicionamiento, localización y navegación. Al finalizar este apartado, ya tendréis una visión de conjunto de los diferentes aspectos que acompañan a la tecnología geotelemática.

1.1. Concepto de geotelemática

Aunque el concepto de geotelemática no tiene todavía una definición oficial, podemos definirlo 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 solo 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 apartado 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.

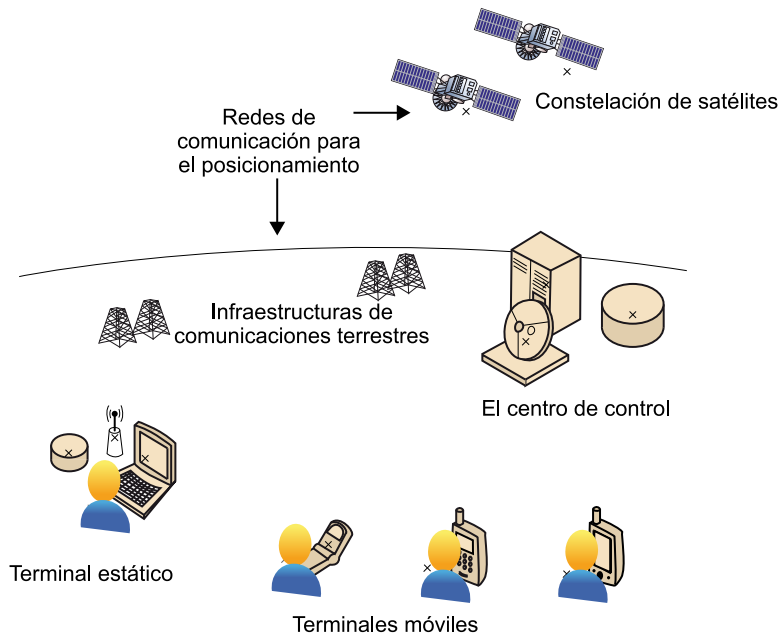


Figura 1. Representación de los elementos de un sistema de geotelemática

1) 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 hardware y tecnologías de comunicación.

2) 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. Estos 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, conexiones de datos 3G (tercera generación de transmisión de voz y datos a través de telefonía móvil), wifi (mecanismo de conexión de dispositivos electrónicos de forma inalámbrica, gestionada por la WiFi Alliance), blue-

tooth y cualquier otra tecnología que permita la comunicación de un terminal con otros 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.

3) La red de telecomunicaciones para el posicionamiento

Tanto si es vía satélite como a través de la telefonía móvil o mediante 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).

Cabe decir que un sistema geotelemático permite al usuario trabajar de forma autónoma el 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 este con baterías. La autonomía de un terminal dependerá de la capacidad de sus baterías y del consumo de energía que su hardware requiera.

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 que pueden llevar a confusión. En particular, aclararemos los conceptos de posicionamiento, localización y navegación.

Ved también

En el apartado "Sistemas de posicionamiento" de este módulo estudiaremos tanto los sistemas de posicionamiento espaciales como los sistemas terrestres.

Observación

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

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 abre 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)? Aunque la localización y el posicionamiento son conceptos próximos, no deben confundirse. La localización permite ubicarnos en el mundo, pero con respecto a otros elementos referenciados geográficamente.

Llamamos **localización** al conocimiento de 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 los sistemas de posicionamiento, pero también los 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 posicionamiento¹ no nos localiza, sino que nos posiciona. No podéis saber si estáis en una carretera o en un país determinado solo con el sistema de posicionamiento, sino que os hacen falta datos geográficos para

⁽¹⁾El conocido GPS es un sistema de posicionamiento.

localizarlos; en este caso, la red de carreteras y la capa de países. Cuánto más rica sea la 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 aquellas 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 solo conocemos la posición no se puede navegar. Para ayudar a la navegación, hay que conocer también la ruta, la dirección y el sentido del movimiento, la red de vías de transporte por la que nos podemos mover, etc.

La **navegación** implica ofrecer ayuda al traslado de uno o varios objetos sobre el territorio basándose en su posición o localización.

1.4. Satélites

Los **satélites** desempeñan un papel muy importante en diversos aspectos de la telemática. A lo largo del módulo veremos cómo son utilizados. A continuación veremos una pequeña clasificación de satélites artificiales. Generalmente, los satélites se pueden dividir en función de su órbita, o bien por sus aplicaciones.

1) Tipos de satélite en función de la órbita

En función de su órbita, los satélites meteorológicos pueden ser geoestacionarios, de órbita media, de órbita baja, polares, de órbita elíptica, etc.

- Los **satélites geoestacionarios** se sitúan a 36.000 km en la vertical del Ecuador de la Tierra, y rotan con esta una vez cada 24 horas. Por las características de la órbita geoestacionaria (el periodo orbital del satélite coincide exactamente con el de rotación de la Tierra) siempre permanecen fijos en el mismo punto del cielo (desde un punto de vista situado en la superficie terrestre). Desde un punto geoestacionario, un satélite puede abarcar un 40% de la superficie terrestre, por lo que son necesarios al menos tres satélites para dar cobertura geoestacionaria global.

Ved también

Estudiaremos el sistema GPS en el apartado "Sistemas de posicionamiento" de este módulo.

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 de cooperación internacional.

- Los **satélites polares** dan la vuelta a la Tierra cada cierto tiempo; se llaman así porque viajan del Polo Norte al Polo Sur.
- Los **satélites de órbita baja** suelen encontrarse a una altura alrededor de los 1.000 km de la superficie terrestre. Igual que los polares, su posición relativa en el cielo cambia constantemente.

2) Tipos de satélite en función de su ámbito de aplicación

- **Telecomunicaciones:** Los satélites de comunicaciones se pueden considerar enormes antenas repetidoras con cobertura casi global. Transmiten ondas de radio, de televisión, datos, etc. Normalmente se encuentran en órbitas geoestacionarias, lo que los convierte en antenas fijas en el cielo.
- **Observación de la Tierra:** Son satélites diseñados para aplicaciones como control del medio ambiente, de la meteorología, de la cartografía, etc. Llevan a bordo distintas cámaras de observación, semejantes a las cámaras fotográficas digitales que todos conocemos. Unas son cámaras que captan información en el espectro visible, otras son infrarrojas, otras son capaces de captar el calor emitido por la Tierra o las señales emitidas por el propio satélite (radar), etc. Habitualmente, se trata de satélites de órbita baja y, a menudo, de órbita polar. Algunos (como los meteorológicos) son geoestacionarios. Los satélites de observación de la Tierra permiten obtener imágenes de satélite de todo el globo terráqueo. En muchas ocasiones, estas imágenes son la base para la generación de la cartografía y de los mapas que utilizamos habitualmente.
- **Navegación:** Normalmente, se trata de constelaciones –grupos– de satélites que transmiten rangos de señales utilizados para el posicionamiento y localización en cualquier parte del globo terrestre. Sus órbitas se encuentran alrededor de los 20.000 km sobre la superficie terrestre.
- **Otros usos:** Podemos encontrar una gran variedad de satélites en función de su uso, que no valoraremos en este módulo pero que son interesantes de conocer. Podemos encontrar satélites militares y espías, satélites de radioaficionado, satélites científicos, satélites de propósitos experimentales, etc.

Ved también

Los satélites de navegación se tratan con más detalle en el apartado "Sistemas de posicionamiento" de este módulo.

Webs de referencia

Podéis ver por Internet la ubicación actual de todos los satélites con una aplicación de la NASA. La encontraréis en la siguiente dirección:

<http://science.nasa.gov/realtime/jtrack/3d/JTrack3D.html>

Una aplicación similar también, y muy interesante, la podéis encontrar en el siguiente enlace. Permite visualizar la base de datos de satélites desde el visualizador 3D de Google Earth. Comprobad que para cada satélite se puede consultar, además de su posición actual, su órbita alrededor de la Tierra:

<http://adn.agi.com/SatelliteDatabase/SatelliteDatabase.kmz>

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.

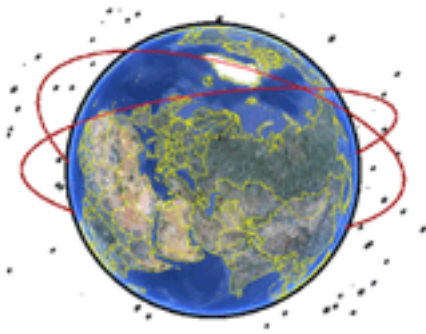


Figura 2. La tierra con distintos satélites alrededor y trayectoria parcial de DEIMOS-1, vista con Google Earth

Actividad

Como ejercicio, buscad los datos de los satélites NAVSTAR de Estados Unidos y comprobad sus características y su órbita, así como del satélite DEIMOS-1 español (de observación de la Tierra). ¿Creéis que se trata de un satélite de órbita polar?

Otros enlaces de interés

http://es.wikipedia.org/wiki/Sat%C3%A9lite_artificial

http://es.wikipedia.org/wiki/Sat%C3%A9lite_de_comunicaciones

http://es.wikipedia.org/wiki/Sat%C3%A9lite_de_observaci%C3%B3n_terrestre

http://es.wikipedia.org/wiki/Sat%C3%A9lite_de_navegaci%C3%B3n

2. Sistemas de posicionamiento

Entrando de lleno en el concepto de geotelemática, 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*⁽²⁾, 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⁽³⁾ (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⁽⁴⁾ (sistema de navegación global por satélite) o el proyecto europeo Galileo.
- **Terrestres:** Son los sistemas de posicionamiento que se basan en infraestructuras instaladas en 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⁽⁵⁾- GPRS⁽⁶⁾- UMTS⁽⁷⁾ (sistema global de comunicaciones móviles-servicios generales de radio por paquetes-sistema de telecomunicaciones universal) o el sistema de posicionamiento por radio u otras tecnologías inalámbricas.
- **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 con respecto al punto de origen. No se pueden considerar sistemas de posicionamiento global, pero permiten obtener posiciones allí donde los otros sistemas no llegan.

⁽²⁾Del inglés *Global Positioning System* o sistema de posicionamiento global

⁽³⁾Del inglés *Global Navigation Satellite System*

⁽⁴⁾Del inglés *GLOBAL NAVIGATION Satellite System*

⁽⁵⁾Del inglés *Global System for Mobile communications*

⁽⁶⁾Del inglés *General Packet Radio Services*

⁽⁷⁾Del inglés *Universal Mobile Telecommunications System*

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.

- **Híbridos:** Son sistemas de posicionamiento que combinan los otros tres tipos para ofrecer un posicionamiento más completo y continuo, tanto sobre el movimiento del objeto como en la disponibilidad durante todo el tiempo de la posición.

Veréis a continuación el funcionamiento de cada uno de los tipos de sistemas de posicionamiento y repasaréis también las características principales.

Exactitud y precisión

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**⁸ y **precisión**⁹.

⁽⁸⁾ *Accuracy* en inglés

⁽⁹⁾ *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 solo 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 con la variabilidad en el comportamiento del propio sistema de medida (dado siempre el mismo escenario, un sistema muy preciso mide siempre el mismo valor –sea correcto o no–, y un sistema poco preciso mide valores

distintos cada vez que se repite la medida). 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 3) 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.

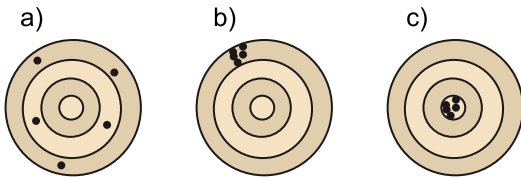


Figura 3. Representaciones gráficas de los conceptos de exactitud y precisión

- En la diana de la figura 3a), 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 de la figura 3b), 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 de la figura 3c), los valores son exactos y precisos.

En la figura 4 podéis ver el mismo concepto en una comparativa de exactitud/precisión.

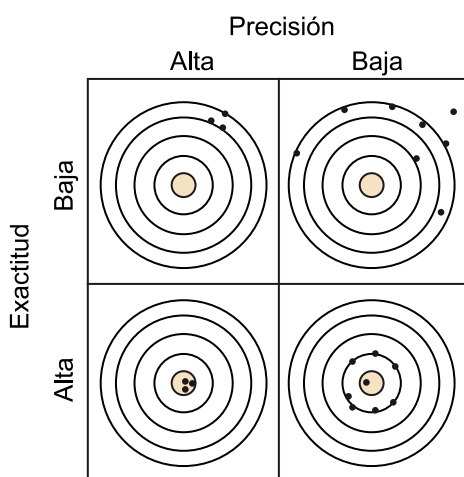


Figura 4. Comparativa de exactitud/precisión

En la figura 5 se puede apreciar también que, aunque los dos términos están íntimamente relacionados, definen conceptos distintos.

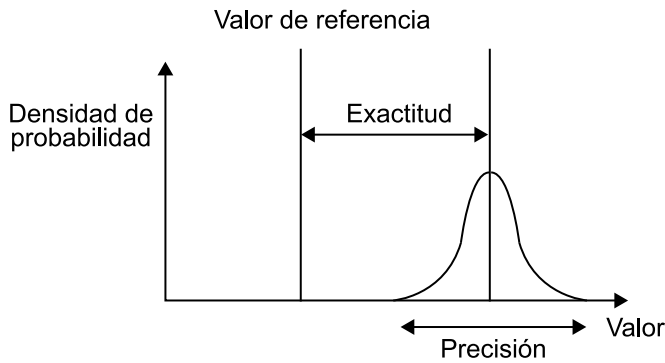


Figura 5. Exactitud y precisión. Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Precisi3n_y_exactitud

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 se conocen por las siglas en inglés GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) y engloban 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:

1) **Los sistemas de posicionamiento básicos:** También conocidos como *constelaciones básicas de GNSS*, permiten el posicionamiento con más o menos precisión. Solo 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 Japón también tienen proyectos abiertos en este sentido, pero solo con voluntad de cubrir el posicionamiento en su propio territorio. Cada uno de estos proyectos tiene su propia constelación de satélites independiente.

2) **Los sistemas de aumentación:** Se basan en satélites geoestacionarios, y cubren la región sobre la que se quiere mejorar la calidad del posicionamiento. Hay distintos sistemas de aumentación en funcionamiento, como el WAAS en América o el EGNOS en Europa.

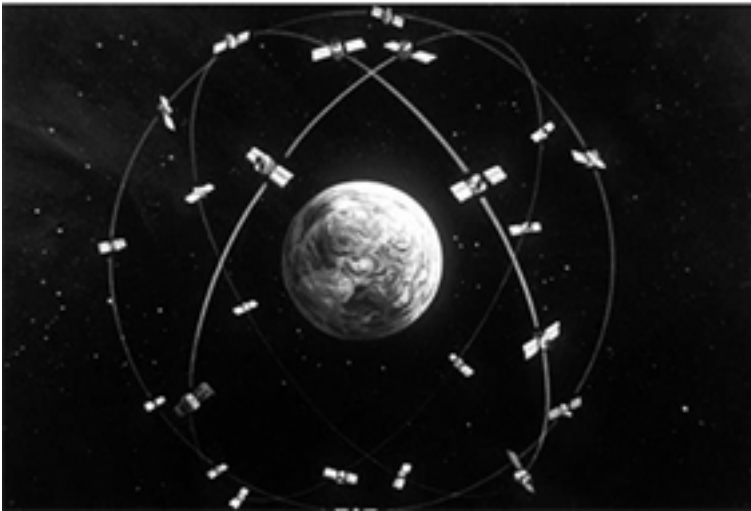


Figura 6. Imagen simulada de la constelación de satélites GPS

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, este 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 los satélites 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 a la que se desplaza la señal y la periodicidad de envío de la misma. Midiendo el tiempo podemos conocer, pues, la distancia que separa al satélite del receptor.

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 solo 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.

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:** Se obtiene 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 7.

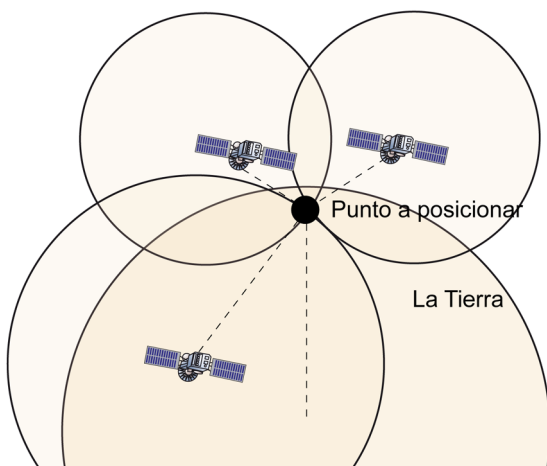


Figura 7. Representación del cálculo de posición en un GNSS

Intersecando las cuatro esferas obtenemos el punto que buscábamos. Como resultado de la intersección de dos esferas secantes se obtiene una circunferencia. En casos extremos se podría obtener un punto si las esferas fueran tangentes, una esfera si fueran iguales, o ningún tipo de intersección si fueran exteriores o interiores. Estos casos, sin embargo, no se pueden dar, debido a la disposición de los satélites en el espacio. Si añadimos otra esfera (esto es, otro satélite), la intersección entre tres esferas de nuestras características da lugar a dos puntos. Ya para acabar, la intersección con la cuarta esfera, la Tierra, da lugar a un único punto.

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 sabrías justificar?

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 apartado. Más adelante veréis las características de cada GNSS.

Los satélites envían señales de radio en la banda de las microondas (típicamente, alrededor de 1.5 GHz, aunque cada GNSS trabaja con 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 directa hasta los satélites.

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

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

- 1) El código **pseudoaleatorio**, que es un identificador que nos indica qué satélite está enviando la señal.
- 2) **Unas efemérides**, que contienen información sobre el estado y la posición del satélite (operativo o averiado), y la fecha y hora actuales. Esta información es vital para calcular la posición, tal como ya habéis visto.
- 3) **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).

A-GPS

El **sistema A-GPS**¹⁰ mejora el funcionamiento de los receptores GPS. Su principio es muy simple: se trata de proporcionar al receptor los datos del almanaque –dónde debería estar cada satélite– mediante una conexión de datos, ya sea en tiempo real o mediante una descarga previa (la validez normal de un almanaque es de varios meses). Esto permite al receptor obtener una primera posición (TTF¹¹) para empezar la navegación de una forma más rápida.

Referencia web

Consultar la siguiente web para obtener más datos acerca de la información que envían los satélites:
<http://www.jcea.es/artic/gps-definiciones.htm>

⁽¹⁰⁾Del inglés *Assisted GPS*

⁽¹¹⁾Del inglés *Time To First Fix*

A continuación veremos las características propias de los principales proyectos de GNSS, tanto si están actualmente en funcionamiento –como el GPS o GLONASS– como si solo 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 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 que 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, lo que les permite dar 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 al Ecuador terrestre, y en cada una de ellas se sitúan cuatro satélites con una separación de 90° entre ellos. 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.

El uso civil de la constelación se puede ver afectado por lo que se conoce como SA¹² (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 Estados Unidos.

⁽¹²⁾Del inglés *Selective Availability*

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 exactitud de 2,5 metros. Utilizando nuevas codificaciones y con el apoyo de señales de uso militar, se puede llegar a una precisión de 30 centímetros.

El futuro del GPS

No podemos predecir del todo la evolución que seguirá el GPS en los próximos treinta años. En todo caso, sí 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 permite más exactitud sin necesidad de sistemas de aumentación. Algunas de las mejoras que se prevé incorporar son unas nuevas y más potentes señales, lo que permitirá trabajar con una exactitud de entre uno y cinco metros. También se prevé interoperabilidad con el futuro sistema europeo Galileo y una transición completa al sistema GPS III para el año 2017.

2.1.3. Galileo

El **sistema de posicionamiento Galileo** es un proyecto europeo para el despliegue de un GNSS. Los impulsores del proyecto son la Unión Europea y la Agencia Espacial Europea (ESA¹³), aunque en los últimos años se han adherido otros países como China, Israel, Ucrania, La India, Arabia Saudí, Marruecos y Corea del Sur, como colaboradores. El nombre del proyecto se debe al astrónomo italiano Galileo Galilei.

⁽¹³⁾Del inglés *European Space Agency*

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 tiempos de guerra o de desacuerdos políticos. De esta manera, se quiere huir de la dependencia actual del sistema de posicionamiento GPS de Estados Unidos, en el cual no se puede basar la aviación o la navegación marítima europeas. Aunque Estados Unidos desactivó la SA del servicio GPS y se ha comprometido a no volver a activarla, su servicio de defensa sigue disponiendo de los medios para activarla, y en caso de guerra o desacuerdos políticos, se podría romper el acuerdo.

Galileo ofrecerá cinco servicios:

1) **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. Dispondrá de dos señales, lo que permitirá trabajar con una exactitud de cuatro metros en horizontal y ocho metros en vertical cuando se reciban ambas señales. Los usuarios que solo puedan recibir una de las dos señales trabajarán con una exactitud de 15 metros en horizontal y 35 en vertical, igual que el actual GPS con una sola señal.

2) **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.

3) **Comercial Service o CS (servicio comercial)**: servicio orientado al desarrollo de aplicaciones comerciales para distribuir informaciones de alto valor añadido y de pago.

4) **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.

5) **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 y 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).

Aunque el programa de desarrollo del sistema Galileo sufre continuos ajustes, en el momento de escribir estos materiales estaba previsto que Galileo fuese operativo en el 2014 y totalmente desplegado en el 2019. Cuando esté totalmente desplegado estará dividido en tres elementos, como cualquier sistema de posicionamiento:

1) **El centro de control**: Estará formado por dos estaciones de tierra: una en Munich (Alemania) y la otra en Fucino (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 senso-

res 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.

2) **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 tres 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.

3) **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.

2.1.4. GLONASS

GLONASS¹⁴ (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.

⁽¹⁴⁾Del inglés *Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*

GLONASS consta de 24 satélites (21 activos y tres en reserva) que orbitan sobre tres planos inclinados 64,8 sobre el Ecuador. Cada plano orbital consta de ocho 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 ocho 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 solo había ocho 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:

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 poder verse 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.

- 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. 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. Aunque todavía no es un sistema que disponga de muchas aplicaciones ni dispositivos para el uso civil, algunos fabricantes han apostado ya por GLONASS.

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 1 tenéis una recopilación de las características principales de los tres GNSS que hemos visto:

Tabla 1. Resumen de las características de los sistemas GNSS “actuales” y en desarrollo cuando se encuentren en fase operativa

	GPS	Galileo	GLONASS
Número de satélites	31	30	24
Satélites operativos	24	27	24
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

Los datos referentes al GPS y al GLONASS son los correspondientes al año 2008 y 2011 respectivamente. Los datos referentes al proyecto Galileo son los planificados para su entrada en funcionamiento en el 2014.

Referencia web

El siguiente enlace presenta un ejemplo de la utilización de GLONASS:

<http://en.rian.ru/business/20111118/168813972.html>

Referencia web

La siguiente imagen también os ayudará a comparar los tres sistemas entre sí y también con otras constelaciones o sistemas de satélites:

http://en.wikipedia.org/wiki/File:Comparison_satellite_navigation_orbits.svg

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; 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 exactitud 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:

1) **SBAS¹⁵ (sistema de aumentación basado en satélites)**: Son sistemas de aumentación que usan satélites geostacionarios para mejorar la calidad del posicionamiento en un área muy extensa.

⁽¹⁵⁾Del inglés *Satellite Based Augmentation System*

2) **GBAS¹⁶ (sistema de aumentación basado en tierra)**: Son sistemas de aumentación que usan un conjunto de infraestructuras terrestres comunicadas con señales VHF o UHF. Cubren solo un área pequeña, pero son más precisos que los SBAS.

⁽¹⁶⁾Del inglés *Ground Based Augmentation System*

Los mostramos con más detalle a continuación.

2.2.1. SBAS

En los **sistemas SBAS**, los errores se distribuyen a los receptores mediante los satélites geostacionarios. 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 seis segundos), lo que provoca que ya no sea fiable.

Algunos de los sistemas SBAS disponibles actualmente son:

WAAS¹⁷ (sistema de aumentación de gran alcance): Lo opera el Departamento de Defensa de EE. UU. y cubre principalmente América de Norte. El sistema consta de 24 estaciones de vigilancia, dos estaciones maestras, seis antenas de retransmisión de datos a los satélites y tres satélites geoestacionarios.

⁽¹⁷⁾Del inglés *Wide Area Augmentation System*

EGNOS¹⁸ (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*¹⁹ (estación de medición de distancias y de monitorización de la integridad o estación remota para la monitorización de la integridad), cuatro estaciones de control llamadas *MCC*, 3 antenas de retransmisión de datos a los satélites llamadas *NLES*²⁰ (estación terrestre para navegación terrestre) y tres satélites geoestacionarios.

⁽¹⁸⁾Del inglés *European Geostationary Navigation Overlay Service*

⁽¹⁹⁾Del inglés *Ranging and Integrity Monitoring Station* o *Remote Integrity Monitoring Station*

⁽²⁰⁾Del inglés *Navigation Land Earth Station*

Hay otros sistemas, como el MSAS en Japón, o el GAGAN, planificado por la India.

Con sistemas SBAS se puede llegar a una exactitud inferior a un 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 exactitud 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 exactitud 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.

2.3. Sistemas de posicionamiento terrestres

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

Ya sabéis que hay sistemas de aumentación que disponen solo de infraestructuras en la Tierra, conocidos como *GBAS*, pero estos 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, 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 exactitud ni por globalidad, pero es importante que los conozcáis, ya que los sistemas de posicionamiento híbridos usan combinaciones de los sistemas de posicionamiento terrestres y los GNSS para ir más allá de lo que se puede llegar con solo con los GNSS. Además, pueden dar más exactitud 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 LORAN²¹ (navegación de largo alcance), usado principalmente para la navegación marítima, y el ILS²² (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. Un claro ejemplo es el posicionamiento de teléfonos móviles que usan la red de repetidores de telefonía móvil.

⁽²¹⁾Del inglés *L*ong *R*ange *N*avigation

⁽²²⁾Del inglés *I*nstrument *L*anding *S*ystem

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 una mayor 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:

- **CID²³ (identificación de celda) o COO²⁴ (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.
- **AOA²⁵ (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.
- **TDOA²⁶ (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 estaciones. Con este método, el cálculo de la posición lo realizan las infraestructuras de comunicación y no el terminal móvil.
- **E-OTD²⁷ (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.

(23)Del inglés *Cell ID*(24)Del inglés *Cell Of Origin*(25)Del inglés *Angle Of Arrival*(26)Del inglés *Time Difference Of Arrival*(27)Del inglés *Enhanced-Observed Timed Difference*

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 LORAN²⁸ (navegación de largo alcance), que actualmente se encuentra en la versión LORAN-C. Este sistema es operado por los guardacostas de Estados Unidos desde 1979 y es descendiente del sistema LORAN-A, creado en 1942, durante la Segunda Guerra Mundial.

(28)Del inglés *LOng RAnge Navigation*

Actualmente, hay operativas unas 70 estaciones de LORAN-C con un alcance medio de unos 2.000 km cada una. LORAN-C no cubre todo el mundo, pero la cobertura es bastante buena en EE. UU., Europa y 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. Como respuesta, los defensores de LORAN-C argumentan 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-LORAN²⁹ (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.

⁽²⁹⁾Del inglés *Enhanced LORAN*

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 solo ocho metros. Eso hace que el sistema E-LORAN pueda ser una alternativa allí donde los GNSS no estén disponibles o donde la funcionalidad de estos esté degradada.

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

- **CHAYCA** es la alternativa rusa al sistema LORAN-C; también está operativo actualmente.
- **DECCA** fue un sistema usado por los británicos en la Segunda Guerra Mundial; 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; 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:

1) **VOR/DME**³⁰ (equipo de medida de distancias de alcance omnidireccional de muy alta frecuencia).

⁽³⁰⁾Del inglés *Very high frequency, Omnidirectional Ranging / Distance Measuring Equipment*

2) **ILS**³¹ (sistema instrumental de aterrizaje).

⁽³¹⁾Del inglés *Instrument Landing System*

La precisión es mucho mejor que en los sistemas de posicionamiento 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 exactitud 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 en los 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 modulada en amplitud a distintas frecuencias. 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; por eso se está esperando a las mejoras de los sistemas de posicionamiento GNSS y a los sistemas de aumentación para ahorrarse el coste.

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 solo 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* pueden constituir mini celdas 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.

- **WLAN³² (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.
- **RFID³³ (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.

⁽³²⁾Del inglés *Wireless Local Area Network*

⁽³³⁾Del inglés *Radio Frequency Identification*

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 "Funcionamiento de los sistemas de posicionamiento terrestres". Estos 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.

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.

- **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 exacto. La exactitud puede llegar a ser de 100 m en áreas urbanas con elevada densidad de estaciones base y de hasta 32 km en zonas rurales. Este método solo es accesible para la operadora, ya que la información de la estación base con la que estamos conectados no es pública.
- **E-CID³⁴ (identificación de célula mejorada)**. Se basa en el mismo principio que el método CID pero, aplicando un par de técnicas más, es capaz de mejorar su precisión. Se usan técnicas de adelanto temporal (TA³⁵) y de medición de potencia (PM³⁶) para determinar la distancia a la que se encuentra el teléfono móvil:

⁽³⁴⁾Del inglés *Enhanced Cell Identification*

⁽³⁵⁾Del inglés *Timing Advance*

⁽³⁶⁾Del inglés *Power Measurement*

- 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 remite 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 Estados Unidos para reducir el espacio de atención en llamadas al servicio de emergencia E-911.
- **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 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^{37} (unidades de medición de localización) y deben instalarse expresamente para realizar estos tipos de posicionamiento. Este sistema funciona para cualquier teléfono móvil y su exactitud 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 solo funciona con terminales con funcionalidades específicas para calcular el tiempo de llegada de las señales.

⁽³⁷⁾Del inglés *Location Measurement Units*

En la tabla 2 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 exactitud.

Tabla 2. Comparativa de la exactitud de los métodos de posicionamiento utilizados en telefonía móvil celular

Método	Entorno rural		Entorno urbano	
	Exactitud horizontal	Disponibilidad	Exactitud 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 INS³⁸ (sistemas de navegación inerciales).

⁽³⁸⁾Del inglés *Inertial Navigation Systems*

Un sistema de posicionamiento inercial es una ayuda a la navegación que usa un procesador 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. Actualmente, muchos *smartphones* incorporan estos sistemas.

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.

Indoor

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

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; 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.

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 exactitud 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 exactitud 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 solo 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.

Las combinaciones más habituales entre sistemas de posicionamiento para formar sistemas híbridos:

- A-GNSS
- GNSS + LORAN-C
- GPS + GLONASS + Galileo
- GNSS + INS.

3. Elementos de una aplicación geotelemática

Ya hemos visto los diferentes métodos que se utilizan para conocer la posición de un dispositivo móvil. Ahora cabe preguntarse por la utilidad práctica de dicha información, es decir, cómo puede ser utilizada por las aplicaciones.

Hay diversos tipos de aplicaciones, aunque todas ellas comparten una estructura y una infraestructura común. Ya sean aplicaciones de localización, de ayuda a la navegación, de búsqueda y rescate en caso de emergencia, etc., la mayoría de las aplicaciones incluyen cuatro elementos fundamentales:

- 1) El hecho de que el usuario en movimiento lleve consigo, o en su vehículo, un terminal geotelemático.
- 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 que se van a desplazar los terminales.
- 3) La existencia de proveedores de servicios de telecomunicaciones, servicios de contenidos y servicios de soporte (pago, pago por uso, etc.).
- 4) La existencia de un centro de control (CC), o de una aplicación informática, que se ejecuta localmente en un PC o en un servidor, al que podemos acceder vía Internet.

El esquema de la figura 8 representa gráficamente la relación existente entre estos cuatro elementos que componen la arquitectura global de una aplicación geotelemática.

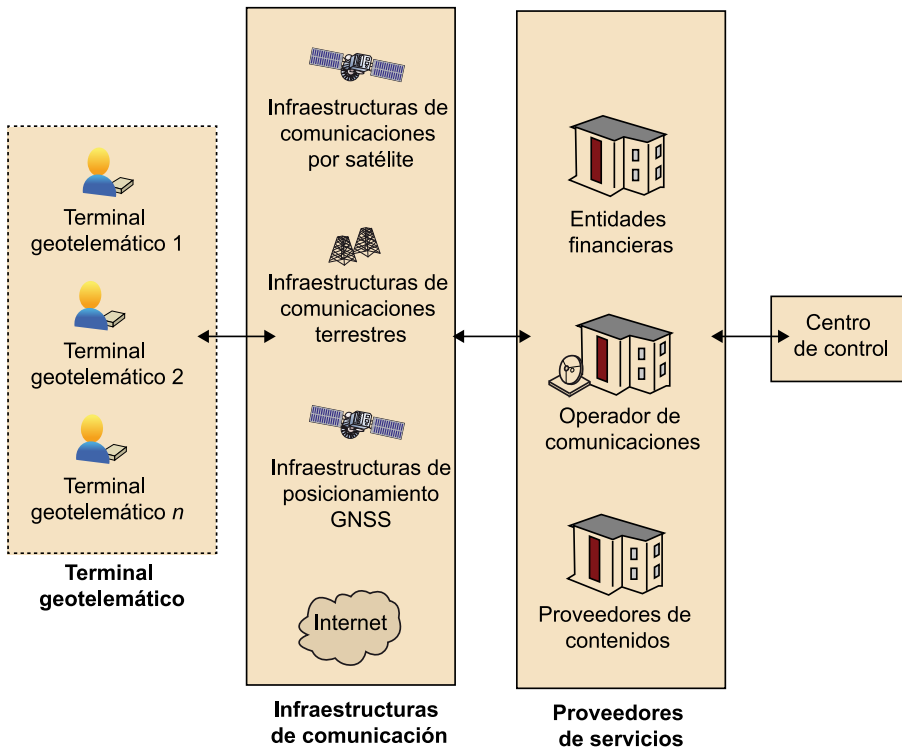


Figura 8. Arquitectura global de una aplicación geotelemática genérica

Estos cuatro elementos están presentes en mayor o menor grado en la mayoría de las aplicaciones de los sistemas de posicionamiento, que también podemos denominar *aplicaciones geotelemáticas*. En los siguientes apartados vamos a describir brevemente la función que cumple cada uno de estos elementos en una aplicación geotelemática.

3.1. Terminales geotelemáticos

Las aplicaciones de los sistemas de posicionamiento se basan en el hecho de que disponemos de un terminal geotelemático (TG) o dispositivo móvil, cuyo núcleo central es un microprocesador o CPU⁽³⁹⁾ (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 que 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, ya sea inmediatamente, periódicamente o a petición del centro de control.

⁽³⁹⁾Del inglés *Central Process Unit*

En el centro del control se analiza la información recibida para tomar las decisiones que correspondan. En algunas aplicaciones puede ser necesario enviar los datos adquiridos 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 9 tenéis los diferentes tipos de módulos y de elementos que pueden llegar a formar parte de un terminal geotelemático genérico.

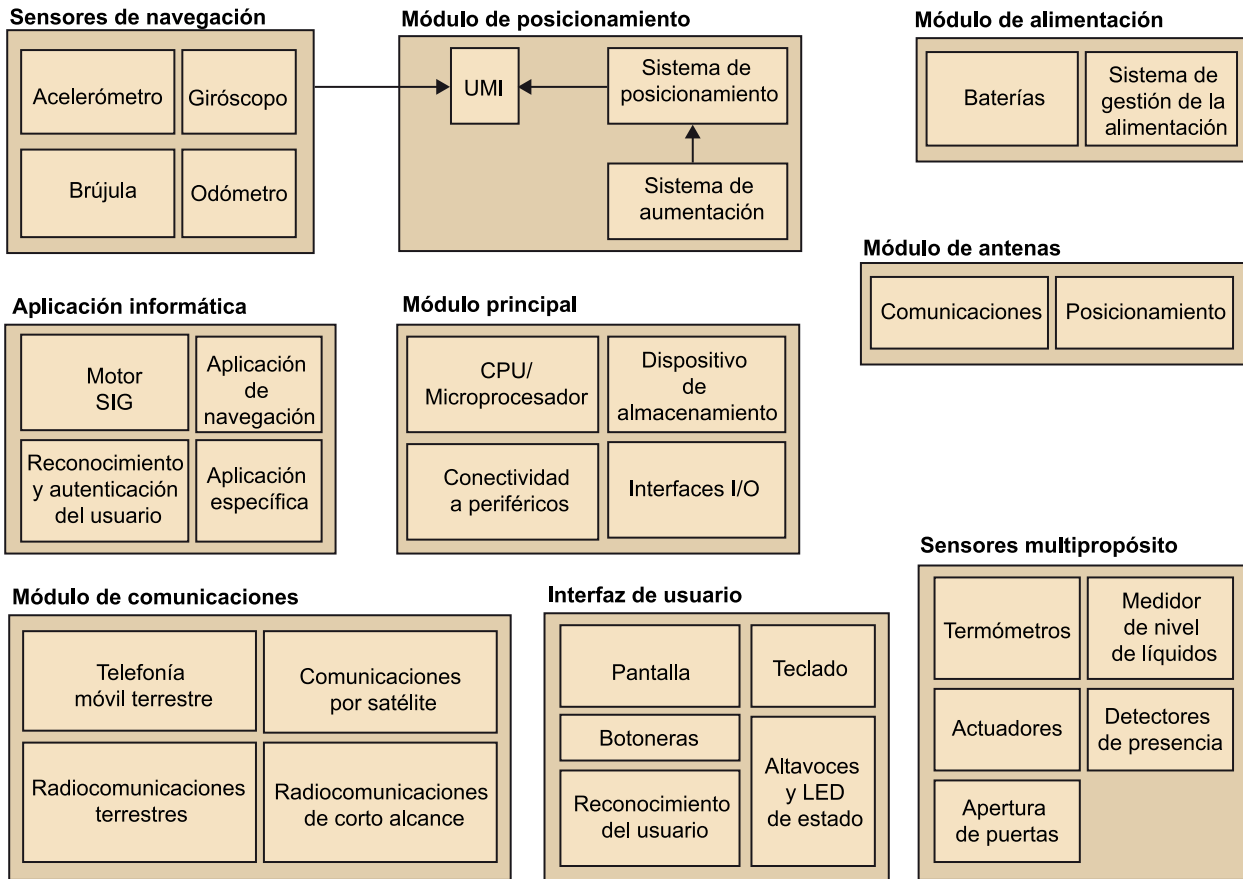


Figura 9. Elementos que componen un terminal geotelemático

3.1.1. Elementos de un terminal geotelemático

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

1) **Módulo principal:** En este módulo reside la inteligencia del equipo y desde él se controlan el resto de módulos que componen el sistema.

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).

El módulo principal está compuesto por 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/O⁴⁰ (entrada y salida de datos).

2) **Módulo de comunicaciones:** Este módulo permite la comunicación del terminal 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 terminal interactúe con el centro de control intercambiando mensajes y datos. Los medios de telecomunicación disponibles son los siguientes:

- **Telefonía móvil terrestre**, que, como ya hemos visto, también se utiliza 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 me-

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.

⁽⁴⁰⁾Del inglés *Input/Output*

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, cabe consultar las siguientes URL:

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

tros, mientras que si utilizamos bluetooth, el alcance se reduce a una decena de metros.

Corto alcance

Se pueden cubrir distancias cortas si se emplean las tecnologías de comunicaciones emergentes en estos momentos: Zigbee y UWB⁴¹ (banda ultraancha).

En aplicaciones de cobro automático de peajes se utiliza el sistema DSRC⁴² (comunicación de corto alcance). En España es habitual el pago de peajes a través del sistema Teletac o Vía-T. Este último 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.

⁽⁴¹⁾Del inglés *Ultra Wide Band*

⁽⁴²⁾Del inglés *Dedicated Short Range Communication*

3) 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 terminal. Cada aplicación en particular dispondrá de los elementos necesarios para cumplir con sus requisitos de funcionamiento. Componen este módulo la pantalla, el teclado, los conjuntos de pulsadores (o botoneras), los altavoces, las luces de aviso, los elementos para el reconocimiento del usuario (lectores de huellas dactilares, sistemas de reconocimiento de voz o del iris, una cerradura donde introducir una llave física, etc.). Una vez identificado el usuario, el terminal le da acceso a las funcionalidades del equipo.

4) Módulo de posicionamiento: Este módulo contiene las funcionalidades de posicionamiento, que en la mayoría de las aplicaciones se basarán en receptores GNSS y en sistemas de navegación inercial.

a) Sistema 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 terminal.

b) Unidad de medida inercial (UMI): La unidad de navegación inercial está compuesta de una pequeña CPU especializada en la adquisición y el procesamiento de los datos procedentes de sensores de navegación, tales como 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.

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.

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.

c) 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 un nivel de exactitud 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 donde el terminal va a tener su área de operación.

5) Módulo de aplicación informática: Este módulo contiene diferentes tipos de aplicaciones habituales en un terminal geotelemático, que pueden encontrarse aisladas o en cualquier tipo de combinación entre ellas.

a) 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 terminal todos los parámetros de posicionamiento con la periodicidad y secuencia que requiera la aplicación para la que ha sido diseñado.

b) Motor del sistema de información geográfica (SIG): Los terminales 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.

c) 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 el propio terminal geotelemático.

d) Reconocimiento y autenticación del usuario: aplicaciones que garantizan el acceso a las funciones del terminal por un usuario autenticado y correctamente identificado por el terminal. Estas funciones del módulo de interfaz de usuario dotan de seguridad al sistema y evitan que usuarios no autorizados utilicen los servicios que suministra el equipo.

6) **Módulo de sensores multipropósito:** Este módulo contiene los elementos que interactúan con el entorno del terminal geotelemático, ya sea midiendo parámetros físicos, ya sea interactuando con él a través de relés o elementos actuadores.

7) **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.

8) **Módulo de alimentación:** Este módulo suministra la energía necesaria para que el resto de los módulos cumplan la función para la que han sido diseñados.

a) **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.

b) **Sistema de gestión de la alimentación:** Controla el consumo de los diferentes módulos del terminal 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 terminal dentro de los valores de diseño durante más tiempo.

3.1.2. Criterios para la selección de un terminal geotelemático

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

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 terminal 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;

Sensores multipropósito

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).

- 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 constatar 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 terminal en los diferentes modos de funcionamiento para los que ha sido diseñado (modo de recepción de datos, modo de transmisión de datos, modo de espera o modo de navegación). Conociendo el consumo del terminal, 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 terminales geotelemáticos un funcionamiento en tiempo real son las más exigentes, pues deben tener siempre en funcionamiento la mayoría de los módulos que componen el terminal; 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 un 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 terminal 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.

3.1.3. Tipos de terminales geotelemáticos

Existe una gran diversidad de terminales geotelemáticos, casi tantos como posibles aplicaciones seamos capaces de imaginar. La tabla 3 presenta una pequeña muestra de receptores que podemos encontrar actualmente en el mercado.

Tabla 3

Terminal	Ámbito de aplicación
	Navegadores para vehículos. Navegadores que permiten seguir una ruta hasta el punto de destino proporcionado. Incorporan cartografía navegable.
	Terminal programable multipropósito. Dispone de distintas entradas/salidas, comunicación inalámbrica, receptor GPS, puerto serie, Ethernet, etc. Al ser programable se puede adaptar para casi cualquier propósito. Utilizado mayoritariamente en flotas de vehículos.
	Datalogger. Permite almacenar las coordenadas del trayecto realizado. No dispone de interfaz de usuario, pero tiene la posibilidad de comunicar mediante <i>bluetooth</i> con un terminal remoto con interfaz de usuario y aplicaciones de posicionamiento y navegación.
	Actividades al aire libre. Diversos dispositivos permiten la realización de deportes y actividades al aire libre con el soporte y las ventajas del posicionamiento continuado. <i>Trecking</i> , esquí, ciclismo, ... nos permiten seguir rutas ya realizadas o bien memorizar rutas nuevas. Disponen de diversos accesorios en función de la actividad a realizar: brújula, alímetro, pulsómetro, sensor de cadencia (para ciclistas), etc.
	Navegadores duales. Permiten tanto el seguimiento de rutas GPS y la carga de mapas como la navegación a través de una cartografía navegable.
	Relojes de deporte. Normalmente incluyen pulsómetro y diversas funciones de ayuda al entrenamiento habitual. Publicación en web de los <i>tracks</i> realizados, con buenas herramientas de visualización.
	Smartphones. Hoy en día la mayoría de teléfonos inteligentes incorporan un receptor GPS así como componentes inerciales, WLAN, <i>Bluetooth</i> , cámara de más de 5 megapíxeles, sensor de luz, acelerómetro y conectividad a la red de telefonía móvil 3G. Dada su inteligencia, se han convertido en uno de los dispositivos geotelemáticos más completos y que permiten una gran diversidad de aplicaciones.

Ahora ya conocemos la composición de un terminal geotelemático y tenemos unos criterios básicos para poder escogerlo en función de la aplicación a la que se dedique. Es el momento de ver ahora de qué módulos consta un centro de control y qué papel tiene en una aplicación geotelemática.

3.2. Centro de control

Podemos definir el **centro de control**⁴³ como una instalación desde donde se centralizan todos los aspectos relacionados con una aplicación concreta, se reciben los mensajes con los datos de los terminales geotelemáticos, se procesan dichos datos en el servidor de la aplicación y se almacenan en la base de datos para su posterior consulta.

⁽⁴³⁾En adelante CC

En la figura 10 incluimos los módulos constitutivos del CC.

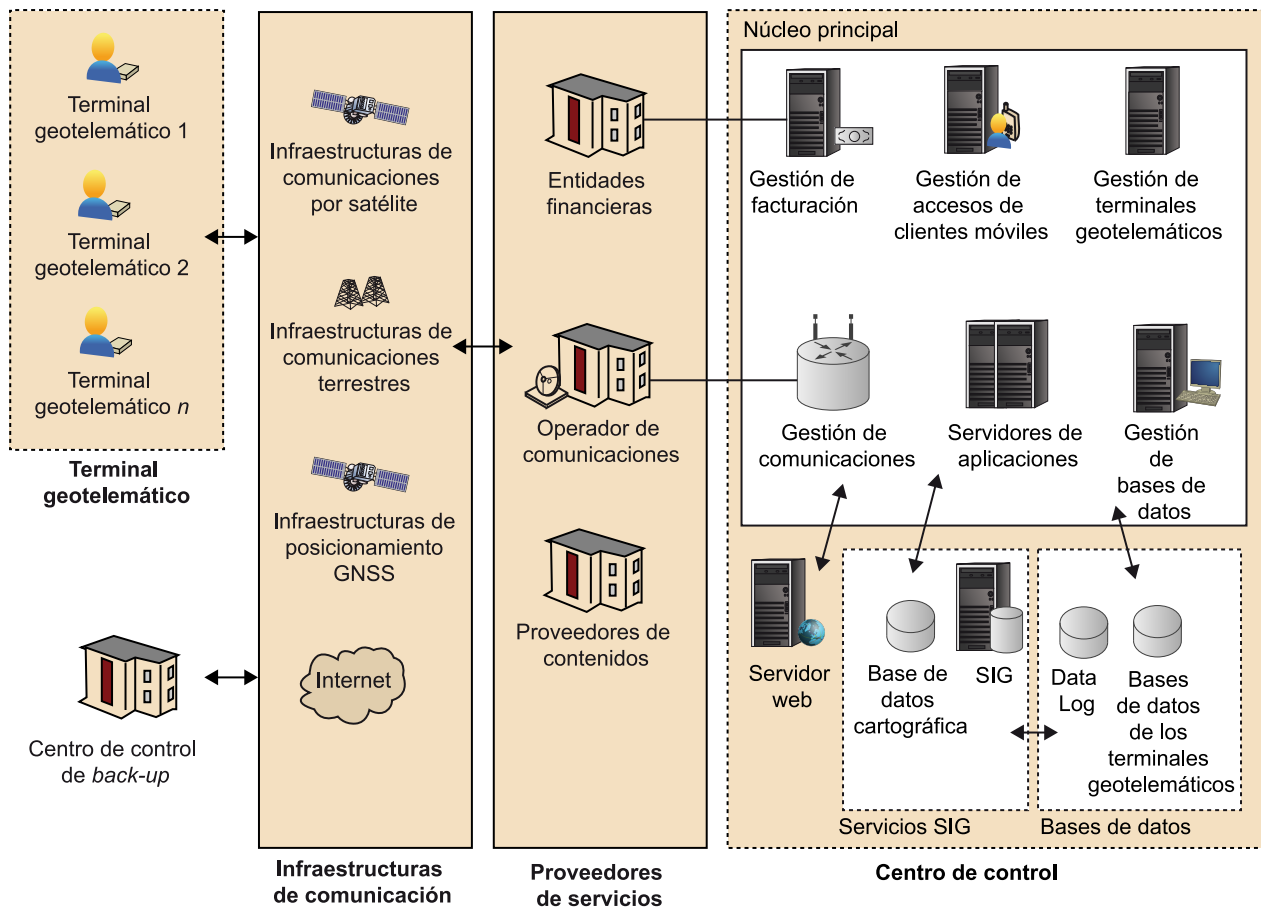


Figura 10. Composición de un CC de una aplicación geotelemática genérica

Las funcionalidades básicas del CC son:

- Realizar el seguimiento de la posición de los terminales geotelemáticos dispersos por el territorio.
- Prestar un determinado tipo y número de servicios a dichos terminales.
- 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 terminales,
 - subsistema de gestión de los accesos de los clientes móviles a los servicios del CC,
 - subsistema de gestión de las bases de datos.

- El módulo de servicios SIG:
 - servidor de la aplicación SIG,
 - bases de datos geográficas.

- El módulo de bases de datos:
 - bases de datos de los terminales geotelemáticos,
 - 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 subapartados 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 10, 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 terminales,

- el subsistema de gestión de los accesos de los clientes móviles a los servicios del CC,

- el subsistema de gestión de bases de datos.

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

1) **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.

2) **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 terminales instalados en vehículos. Cuando el terminal comunica al CC el consumo de dichos servicios, este realiza el cobro del servicio a la correspondiente entidad bancaria. 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 terminales 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 debe ser más elevado que el de un conductor esporádico.

3) **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 terminales a dicha aplicación de forma específica. A su vez, la aplicación enviará mensajes a los terminales 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 bases de datos.

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.

IRIDIUM

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.

GLOBALSTAR

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.

4) El subsistema de gestión de los terminales. Este subsistema controla el acceso de cada terminal a las funcionalidades y servicios del CC. Tras recibir el mensaje del centro de gestión de comunicaciones, comprueba la identidad y autenticidad del terminal 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).

5) El subsistema de gestión de los accesos de los clientes móviles a los servicios del CC. Este subsistema es apropiado en los casos en que los terminales son equipos de uso personal –como los *smartphones*, por ejemplo– desde los que el usuario puede solicitar servicios en tiempo real al CC. Así pues, es el responsable de controlar el acceso de cada terminal 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 a la ubicación proporcionada por el propio terminal.

6) El subsistema de gestión de las bases de datos. Este subsistema gestiona los accesos a las bases de datos por parte del resto de subsistemas y aplicaciones. Así, las peticiones de información y la actualización de información en las bases de datos 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.

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 bases de datos geográficas o cartográficas. En este módulo residen todas las capacidades de cálculo de la aplicación sobre la información cartográfica del territorio contenida en las bases de datos de que disponga. La potencia de proceso de este módulo SIG se debe 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 terminales 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 recalculas 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.

3.2.3. Módulo de base de datos y *data log*

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

El módulo de base de datos está compuesto por los datos particulares y operativos de todos los terminales y de un registro de las operaciones que se realizan en cada momento en el CC, el *data log* (registro de sucesos).

Como ya hemos visto anteriormente, la gestión del acceso a los datos para su lectura, grabación o modificación se lleva a cabo desde el subsistema de gestión de bases de datos. La existencia de una base de datos se justifica por la necesidad de hacer informes históricos de las actividades de los terminales. Estos informes son realizados por el operador del CC a petición del usuario o cliente con la periodicidad convenida.

Por último, cabe destacar la función que un *data log* puede desempeñar en un CC, donde se requiera una gestión de seguridad del servicio prestado. Su función es registrar en una base de datos de forma cronológica e independiente cualquier suceso que ocurra en el CC: accesos a la base de datos por parte de un operador del CC, recepciones de mensajes por parte de un terminal, gestión de facturación con la entidad bancaria, mensajes enviados a los terminales, etc. En dicha base de datos 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 donde 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 como cortafuegos para proteger el sistema de accesos a la base de datos y a los servicios por parte de personal no autorizado.

3.2.5. El *cloud* redefine el centro de control clásico

Actualmente, las capacidades de cálculo avanzadas de muchos dispositivos geotelemáticos (básicamente, los *smartphones*) y su capacidad de conexión de datos han redefinido el centro de control. Los terminales disponen de conexiones IP y acceden a los servidores como cualquier elemento de la red. Los servicios ofrecidos se pueden consultar con tecnologías totalmente abiertas y comerciales. El centro de control ha dejado de ser un centro específico para la gestión de recursos móviles para convertirse en un CPD o centro de proceso de datos, habitual en cualquier proyecto relacionado con las tecnologías de la información y la comunicación (TIC).

Las últimas tendencias en el sector de las TIC están evolucionando hacia el concepto de **nube**⁴⁴, una metáfora empleada para hacer referencia a servicios remotos que se utilizan a través de Internet. En el caso que nos ocupa, el **cloud computing** diluye el centro de control distribuyendo distintas partes o funciones entre distintos proveedores de servicios especializados.

⁽⁴⁴⁾ *Cloud computing*, en inglés

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 8. 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, a continuación, 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, 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.

Ved también

Véase figura 8 del apartado "Elementos de una aplicación geotelemática" de este módulo.

Las **infraestructuras de comunicación** son el medio por el cual el centro de control se comunica con cualquiera de los elementos exteriores: los terminales geotelemáticos, los proveedores de contenido, los proveedores de servicios 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 centran 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:** Están compuestas por 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 están dedicadas a las comunicaciones por satélite móviles personales. Dentro de esta categoría tenemos las constelaciones IRIDIUM, GLOBALSTAR, ORBCOMM, Inmarsat y Thuraya. Los operadores de estos servicios de satélites disponen de un centro de operaciones, desde donde 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:** Son 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:** Es 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.

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.

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 cuál sea la aplicación, 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 centro de control:

- **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 interceptados, 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 terminales 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.

VPN

Es una tecnología de red que permite una extensión de la red local sobre una red pública, como por ejemplo, Internet.

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.

3.3.3. Servicios de geolocalización globales

Gracias a los dispositivos móviles de uso generalizado –los *smartphones*–, la **geolocalización** se ha ido convirtiendo en un servicio cada vez más solicitado.

El W3C, consorcio internacional que produce recomendaciones para la World Wide Web, ya ha empezado a definir la especificación para la información de ubicación geográfica asociada con el dispositivo que visualiza la información.

Esto se traduce en la inclusión en los navegadores web del objeto *geolocation*, lo que quiere decir que todos los navegadores tendrán una propiedad de ubicación, disponible para que los programadores creen aplicaciones. Existen distintos métodos para obtener la ubicación del dispositivo que visualiza la información; la principal es el GPS. También se puede obtener la ubicación a partir de la información de la red, ya sea móvil o fija. En caso de ser móvil, el propio operador de comunicaciones puede proporcionar la ubicación en función de información de la red. En caso de ser fija, la dirección IP puede proporcionar la ubicación de la máquina en cuestión. En el pasado, este era el único medio para obtener la posible ubicación de los usuarios. Servicios como MaxMind o Ip2location son ejemplos de este servicio.

Obtener la posición de la red no proporciona ubicaciones tan exactas y precisas como los GNSS, pero muchas veces es suficiente para saber dónde se encuentra una persona (de vacaciones, de viaje de negocios, etc.). El punto destacable es que la posición de un usuario es universal, no existe solo en los dispositivos móviles, sino que se puede utilizar en todo tipo de aplicaciones.

La privacidad de la información es, asimismo, un aspecto importante en este tipo de aplicaciones. El usuario puede decidir si publica su posición o no para proteger su privacidad si lo cree oportuno.

Referencia web

Podéis encontrar la especificación para la información de ubicación geográfica asociada con el dispositivo que visualiza la información en la siguiente dirección web:
<http://dev.w3.org/geo/api/spec-source.html>

Facebook Places

La aplicación *Facebook Places*, por ejemplo, ha dejado de ser exclusiva para el *Facebook* para móvil; también se encuentra disponible en la aplicación web.

4. Aplicaciones de los sistemas de posicionamiento

Tal como hemos visto, existen diferentes sistemas de posicionamiento que envían información a los dispositivos para que estos puedan ser localizados. 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.

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

4.1. Aplicaciones en el sector aeronáutico y espacial

En primer lugar veremos los estrictos requisitos que se deben cumplir para poder utilizar los sistemas GNSS en el sector aeronáutico. A continuación veremos 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, exactitud e integridad para las necesidades de las aeronaves en las fases críticas del vuelo (la aproximación y el aterrizaje), razón por la que 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 **exactitud** la diferencia entre la posición estimada por el equipo de navegación y la posición real en ausencia de fallos. El sistema GPS proporciona una exactitud 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 exactitudes de seis a

siete metros en vertical (exactitud CATI), tampoco en los que requieren exactitudes de dos a tres metros en vertical (exactitud CATII), ni mucho menos en la categoría más exigente, que requiere exactitudes menores de un metro en vertical (exactitud 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 seis segundos de antelación.

Para superar estas limitaciones se utilizan, como ya hemos comentado, sistemas de aumentación SBAS y GBAS.

Con estas medidas de apoyo se consigue tener una exactitud en torno a los cuatro 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 exactitud CATI.

La puesta en funcionamiento del sistema Galileo permitirá conseguir los estrictos requisitos de disponibilidad, exactitud 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.

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 ATM⁴⁵ (gestión del tráfico aéreo). El programa se denomina **SESAR**⁴⁶ (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 al del 2005.
- Reducir los costes operativos a la mitad de los actuales.
- Mejorar los niveles de seguridad a un nivel diez 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 1.575 kg de CO₂.

Vamos a ver cómo 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 veinte años; en consecuencia, se generarán congestiones y cuellos de botella que lo ralentizarán.

⁽⁴⁵⁾Del inglés *Air Traffic Management*

⁽⁴⁶⁾Del inglés *Single European Sky ATM Research*

Referencia web

Podéis encontrar una referencia sobre los estándares y conclusiones de SESAR en:
<http://www.sesarju.eu/>

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 exactitud 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.

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. Si las aeronaves dispusieran de un terminal geotelemático 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 aparcamiento. 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 terminal geotelemático 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 centro de control 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:

- 1) la falta de legislación al respecto;

2) el gasto económico que supondría a los practicantes de estas actividades dotar a sus aeronaves de un terminal geotelemático 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.

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.

Posteriormente a las misiones Landsat, los transbordadores americanos Shuttle y la estación espacial internacional fueron equipados con receptores GPS para realizar un seguimiento y control continuo y de exactitud el 100% del tiempo.

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.

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.

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.

4.2. Aplicaciones en el sector marítimo

Es de sobras conocido que la mayoría de las mercancías viajan por barco y no solo son los grandes cargueros los que circulan por mares, canales y ríos. El tráfico marítimo (entendido en sentido amplio) es ingente, y por ello es de gran importancia gestionarlo de tal manera que se garantice su seguridad y eficiencia: el uso de sistemas geotelemáticos basados en GNSS solo 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 automática⁴⁷ 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 centro de control marítimo los reciban y los procesen adecuadamente.

La información proporcionada por AIS puede ser utilizada, a su vez, para múltiples propósitos, como la seguridad marítima, la lucha contra la contaminación y la identificación y seguimiento de buques. De todo esto se encarga la EMSA, Agencia Europea de Seguridad Marítima.

⁽⁴⁷⁾AIS en inglés

Referencia web

Organización Marítima Internacional (OMI):
www.imo.org.

Referencia web

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

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.

En el transporte de contenedores, una causa importante de pérdidas económicas no solo 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 terminales geotelemáticos 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. 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 exactitud 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 SAR⁴⁸: 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 exactitud 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:

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.

COSPAS-SARSAT

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.

⁽⁴⁸⁾Del inglés *Search And Rescue*

- DASS⁴⁹ (sistema de alerta de socorro por satélite) en la constelación GPS.
- SAR Galileo, en los satélites del sistema europeo.

⁽⁴⁹⁾Del inglés *Distress Alerting Satellite System*

Referencia web

Información relevante de DASS en:
<http://searchandrescue.gsfc.nasa.gov/dass/index.html>

4.2.5. Otras aplicaciones

A continuación os detallamos diversas 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;
- navegación de precisión en canales y ríos;
- oceanografía y topografía hidrográfica (datos del fondo marino adquiridos por sondas con GPS);
- aplicaciones pesqueras (localización y seguimiento de bancos de peces, recogida de redes y trampas dejadas en el mar, etc.).

En el subapartado "Aplicaciones en el sector terrestre" abordaremos 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 unas áreas en las que se han desarrollado aplicaciones geotelemáticas terrestres muy especializadas:

- agricultura,
- construcción y obra pública,
- automoción,

- sistemas inteligentes de transporte, ITS⁵⁰
- navegadores personales,
- entretenimiento y ocio,
- localización de equipos de rescate,
- servicios basados en la localización. LBS⁵¹

⁽⁵⁰⁾Del inglés *Intelligent Transportation Systems*

⁽⁵¹⁾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 transporte (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;
- centro de control y procesado de la información;
- infraestructuras de comunicación que permiten que se establezcan los siguientes canales de comunicación:
 - de la vía al centro de control,
 - del centro de control a la vía,
 - de la vía al usuario,
- del usuario a la vía;
- un terminal geotelemático 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

En el ámbito 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. El sistema 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 Vía T. 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.

Referencias webs

Algunas referencias sobre distintos sistemas ITS:

<http://www.ertico.com/>

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

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

Google

Relacionada con el sector de la automoción, cabe destacar la iniciativa de Google para conseguir un vehículo que se pueda conducir sin conductor, un buen ejemplo del uso de las tecnologías de posicionamiento:

http://en.wikipedia.org/wiki/Google_driverless_car

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. Su público potencial abarca cualquier perfil social. Algunas aplicaciones de los LBS son:

- 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.

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.

Servicios LBS

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:** 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.
- **Sports Tracker, Runkeeper, Endomondo:** utilidades basadas en el seguimiento de la actividad física del usuario. Son capaces de trazar la ruta recorrida y proporcionar información relativa a la velocidad, la distancia y el tiempo empleado para realizar la actividad. Permiten analizar y compartir todos los datos en las redes sociales, tanto de la actividad deportiva como de las rutas asociadas. En general están disponibles en todas las plataformas de desarrollo de aplicaciones móviles (Android, Blackberry, iPhone, Symbian, Windows phone, etc.).
- **TomTom Mobile:** 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 ruta y los puntos de interés cercanos a la ruta que el usuario haya escogido: gasolineras, restaurantes, hoteles, etc.
- **Foursquare:** servicio LBS aplicado a las redes sociales. Permite encontrar personas y servicios cercanos, mantenerse al día con los amigos y compartir experiencias con fotografías y comentarios. La idea principal de la red es hacer *check-ins* en un lugar específico donde uno se encuentre e ir ganando puntos por descubrir nuevos lugares. A partir de la información que los usuarios han ido introduciendo, el servicio ha ido evolucionando hacia un motor de recomendaciones.
- **MoviStar Localízame (España):** servicio que 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.

Servicios LBS inalámbricos

Ya están apareciendo también servicios comerciales basados en la localización que utilizan tecnologías inalámbricas (mayoritariamente wifi) para calcular la posición. El sistema se basa en la utilización de puntos de acceso como puntos de apoyo para el cálculo de la posición del usuario. Actualmente se ha desplegado para usos médicos y también relacionados con el ocio.

Un ejemplo de aplicación de esta tecnología la podéis encontrar en la siguiente página web, una aplicación con capacidad de localización en el interior de un centro comercial:

www.lamaquinista.com/W/do/centre/aplicacion-android



Figura 11. Ejemplo de aplicación basada en LBS inalámbrico.

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 y pará-

Referencias web

Podéis ver ejemplos de esta tecnología en las siguientes webs:

www.ekahau.com

www.insiteo.com

metros 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.

También se han creado los premios Galileo Masters, que premian iniciativas y proyectos relacionados con el uso de las tecnologías de posicionamiento.

A continuación presentamos algunas aplicaciones geotelemáticas de carácter científico:

- **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 postproceso 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 (10^{-9} segundos) 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 seísmo. Los sismólogos están estudiando la relación que hay entre los movimientos previos a un seísmo 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.

Referencia web

Podéis encontrar más información, así como los proyectos premiados, en:
www.galileo-masters.eu/

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 y 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.

Ganadería bovina

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.

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.

- **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 alzhéimer.** 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 alzhéimer 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 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.

4.6. Aplicaciones relacionadas con el ocio y el tiempo libre

Las actividades relacionadas con el ocio y el tiempo libre es un sector muy activo, en el que destacan las aplicaciones relacionadas con la ubicación, tal como hemos visto en las aplicaciones de servicios LBS.

La mayoría de estas aplicaciones incluyen mapas y cartografía sobre la que representar las rutas realizadas. Habitualmente disponen de herramientas para hacer análisis exhaustivos de las rutas (perfiles, desniveles, planificación de rutas, comparación de rutas, etc.). La representación de las rutas se basa en los *tracks*, una colección de puntos de posición que forman un recorrido, y en los *waypoints*, puntos de interés concretos de la propia ruta.

Todas ellas destacan por su rica funcionalidad, pero muestran los puntos débiles de la geolocalización hasta el momento: se basan en ficheros de *track*, de los que hay multitud de formatos. Esto complica el hecho de trabajar con ellos por parte de un usuario no experto. Por otro lado, hay diversas herramientas para convertir formatos entre sí. Quizás el formato GPX es el que tiene más adeptos, sin descartar el formato KML/KMZ de Google, gracias a la buena aceptación de las aplicaciones que lo utilizan. En cuanto al formato NMEA, es utilizado mayoritariamente para la comunicación entre equipos, no tanto como protocolo para compartir información entre aplicaciones.

GPX y NMEA

GPX, o *GPS eXchange Format* es un esquema XML designado para describir la información GPS entre aplicaciones software.

El protocolo NMEA 0183 es un medio normalizado a través del cual los instrumentos marítimos y también la mayoría de receptores GPS se pueden comunicar.

Lo definió la organización americana National Marine Electronics Association. Más información en www.nmea.org.

El uso de los mapas para que sirvan de base a estos *tracks* también ha sido un problema debido a su disponibilidad y –casi nula– universalidad. Gracias a tecnologías como la de Google Maps, o la más reciente de OpenStreetMap, este punto ha sido resuelto en la mayoría de los casos.

Las aplicaciones que hemos comentado en este apartado son, entre otras:

- CompeGPS
- OziExplorer
- IBP Index
- GPS2KML
- Treckbuddy
- GPSTabel

Destacan también aplicaciones como Wikiloc, que se definen como:

“un sitio para descubrir y compartir rutas al aire libre a pie, en bicicleta y de muchas otras actividades”.

Son aplicaciones web que permiten la compartición de rutas de distintas actividades entre usuarios. Un paso más hacia la universalización de la información.

4.7. Aplicaciones de masas: la nube y las redes sociales

Los *smartphones* han marcado un punto de inflexión en el uso de la geolocalización. Estos dispositivos móviles tan avanzados han convertido la geolocalización en un componente más de las aplicaciones de masas. Han aparecido una serie de aplicaciones que hacen uso de esta propiedad, como *Google Places*, *Facebook Places*, *Foursquare*, etc. Casi todas ellas vinculadas a las redes sociales, ya que la ubicación añade el componente que falta al "momento mágico": estar en un sitio determinado en un momento determinado. Esto también ha dado pie a aplicaciones de cuponaje (*ticketing*), de búsqueda de amigos de la red social, de servicios próximos, etc.; la mayoría de ellas pensadas desde un principio para ser ejecutadas en dispositivos móviles.

Esta masificación también ha venido favorecida por el concepto de nube y el hecho de tener la posibilidad de estar permanentemente conectado. Hay aplicaciones como Endomondo, RunKeeper, etcétera, que permiten publicar casi instantáneamente todo tipo de actividades en las que interviene la localización. La mayoría de ellas utilizan la cartografía universal: **Google Maps**. Ya nos podemos olvidar de los *tracks* y las herramientas de conversión de rutas, ya que desde el móvil (con GPS) puedo publicarlo y compartirlo con quien sea. Tampoco tenemos que pensar en si disponemos o no de cartografía de la zona; seguro que encontraremos la cartografía que necesitamos (Google Maps, OpenStreetMap). Entrenamientos, salidas con amigos, la salida en bicicleta del domingo..., todo lo podemos publicar y compartir con nuestros contactos en la red.

4.8. Aplicaciones de realidad aumentada

No podremos dejar de mencionar las aplicaciones de realidad aumentada relacionadas con la posición del usuario: Wikitude, Layar, etc. Estas aplicaciones permiten descubrir lo que hay alrededor de un usuario de una manera completamente nueva. Mediante el uso de la cámara, el GPS y los sensores inerciales, basta con sostener el *smartphone* para explorar los alrededores. En la pantalla de la cámara se superponen los objetos y la información de manera interactiva.

Estas plataformas permiten desarrollar nuevas aplicaciones muy interesantes, como la búsqueda de servicios cercanos, búsqueda de elementos de información, etcétera, con una interfaz totalmente nueva.

Hay otras aplicaciones de realidad aumentada en las que interviene la posición del usuario. Algunas pueden ser muy útiles para el propio contenido de esta asignatura, como **Satellite AR**, que permite ver la posición de los satélites en el cielo –también la constelación GPS, o, próximamente, la de Galileo.

Otras son de propósito general, como **Google Skymap**, que permite ver la situación de los astros en el cielo.

4.9. Aplicaciones de carácter militar

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

- **Gestión de cuerpos de seguridad.** Los cuarteles generales (móviles o fijos) disponen de salas de control 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 que 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 UAV⁵² (vehículos aéreos no tripulados).** 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 vigilan-

Referencias web

www.wikitude.com
www.layar.com
www.mixare.org

⁽⁵²⁾Del inglés *U manned Aerial Vehicles*

cia. 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 tomarán 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 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 tiempo breve, 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, *tablets*, 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.

Las aplicaciones de los sistemas de posicionamiento son muy variadas, y cada 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 módulo se ofrece 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.

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 centro de control.

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

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.

Abreviaturas

A-GNSS (*Assisted GNSS*) GNSS asistido

AOA (*Angle Of Arrival*) Ángulo de llegada

ARGOS (*Advanced Research and Global Observation Satellite*) Satélite para la observación y la investigación de la tierra

ATM (*Air Traffic Management*) Gestión del tráfico aéreo

BBDD Bases de datos

CC (*Control Centre*) Centro de control

CID o **CELL ID** (*Cell Identification*) Identificación de celda

COO (*Cell of Origin*) Celda de origen

COSPAS/SARSAT (*Cosmitcheskaja Sistema Poiska Awarinitsch Sudow (Russian Space System For Search Of Vessels In Distress)/ Search And Rescue Satellite Aided Tracking*) Organización SAR internacional

CPU (*Computer Unit Process*) Unidad central de proceso

CS (*Commercial Service*) Servicio comercial de Galileo

DAB (*Digital Audio Broadcast*) Difusión de audio digital, o también denominada radio digital

DASS (*Distress Alerting Satellite System*) Sistema de alerta de socorro por satélite

DSRC (*Dedicated Short Range Communication*) Comunicación de corto alcance

EC (*European Commission*) Comisión europea

EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*) Servicio Europeo de aumentación para la navegación basado en satélites geoestacionarios

E-OTD (*Enhanced Observed Time Difference*) Observación de la diferencia de tiempo mejorada

ESA (*European Space Agency*) Agencia Espacial Europea

EU (*European Union*) Unión Europea

EUA Estados Unidos de América

FM (*Modulated Frequency*) Frecuencia modulada

FTP (*File Transfer Protocol*) Protocolo de transferencia de archivos

GAGAN (*GPS And Geo Augmented Navigation*) Navegación GPS con aumentación basada en satélites geoestacionarios

GBAS (*Ground Based Augmentation System*) Sistema de aumentación basado en tierra

GEO (*Geosynchronous Earth Orbit*) Órbita terrestre geoestacionaria

GIOVE (*Galileo In Orbit Validation Element*) Elemento de validación en órbita para Galileo

GLONASS (*Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema or Global Navigation Satellite System*) Sistema de navegación global por satélite

GNSS (*Global Navigation Satellite System*) Sistema global de navegación por satélite

GPRS (*General Packet Radio Services*) Servicios generales de radio por paquetes

GPS (*Global Positioning System*) Sistema de posicionamiento global

GSM (*Global System for Mobile Communications*) Sistema global de comunicaciones móviles

- GSTB V1** (*Galileo System Test Bed VI*) Test de base para el sistema Galileo versión 1
- HSPA** (*High Speed Packet Access*) Acceso de alta velocidad de paquetes
- HTTP** (*Hypertext Transfer Protocol*) Protocolo de transferencia de hipertexto
- HTTPS** (*Hypertext Transfer Protocol Secure*) Protocolo “seguro” de transferencia de hipertexto
- I/O** (*Input/Output of Data*) Entrada/salida de datos
- ILS** (*Instrument Landing System*) Sistema instrumental de aterrizaje
- INS** (*Inertial Navigation Systems*) Sistemas de navegación inercial
- IP** (*Ingress Protection Code*) Índice de protección
- ISS** (*Internacional Space Station*) Estación espacial internacional
- ITS** (*Intelligent Transportation Systems*) Sistemas inteligentes de transporte
- IVS** (*Invehicle Signing*) Señalización en el interior del vehículo
- JPALS** (*Joint Precision Approach and Landing System*) Sistema conjunto de precisión para la aproximación y el aterrizaje
- LBS** (*Location Based Services*) Servicios basados en la localización
- LAAS** (*Local Area Augmentation System*) Sistema local de aumentación GNSS
- LED** (*Light Emitter Diode*) Diodo emisor de luz
- LEO** (*Low Earth Orbit*) Órbita terrestre de altura baja
- LBS** (*Location Based Services*) Servicios basados en la localización
- Loran C** (*Long Range Radio Aid to Navigation C*) Radioayuda de largo alcance para navegación versión C
- M2M** (*Machine to Machine*) Protocolo de comunicaciones de máquina a máquina
- MCC** (*Master Control Center*) Centro de control principal
- MEO** (*Medium Earth Orbit*) Órbita terrestre de altura media
- MSAS** (*Multi-Functional Satellite Augmentation System*) Sistema de aumentación por satélite multifuncional
- NASA** (*National Aeronautics and Space Administration*) Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio
- NAVSTAR GPS** (*Navigation System with Timing And Ranging Global Positioning System*) Sistema de posicionamiento global y sistema de navegación con sincronización y medida de distancia
- NLES** (*Navigation Land Earth Station*) Estación terrena para navegación terrestre
- OMEGA** (*Optimized Method for Estimated Guidance Accuracy*) Método optimizado para guiado aproximado. Basado en un sistema de navegación VLF (*Vlf Navigation System*)
- OP** (*Open Service*) Servicio abierto o libre de Galileo
- PC** (*Personal Computer*) Ordenador personal
- PMR** (*Private or Professional Mobile Radio*) Radiomóvil privada o profesional
- PoI** (*Point of Interest*) Punto de interés
- PPP** (*Public Private Partnership*) Sociedad participada por el sector público y el privado
- PPS** (*Precise Positioning Service*) Servicio de posicionamiento preciso

- PRS** (*Public Regulated Service*) Servicio público regulado de Galileo
- RAID** (*Redundant Array of Inexpensive Disks*) Conjunto redundante de discos baratos, o también conjunto redundante de discos independientes
- RFID** (*Radio Frequency Identification*) Identificación por radiofrecuencia
- RIMS** (*Ranging and Integrity Monitoring Station or Remote Integrity Monitoring Station*) Estación de medida de distancias y de monitoreo de la integridad, o estación remota para el monitoreo de la integridad
- SA** (*Selective Availability*) Disponibilidad selectiva
- SAE** Sistemas de ayuda a la explotación
- SAR** (*Search And Rescue*) Servicio de búsqueda y rescate
- SBAS** (*Satellite Based Augmentation System*) Sistema de aumentación basado en satélites
- SESAR** (*Single European Skyatm Research*) Investigación en ATM y espacio aéreo único europeo
- GIS (SIG)** (*Geographic Information System*) Sistema de información geográfico
- SMTP** (*Simple Mail Transfer Protocol (Internet Email)*) Protocolo simple para transferencia de correo por Internet
- SoL** (*Safety of Life*) Servicio de integridad de Galileo
- SPE** (*Signal Preemption*) Aviso de ocupación de la vía
- SPS** (*Standard Positioning Service*) Servicio de posicionamiento estándar
- SS** (*Space Segment*) Segmento espacial
- SSH** (*Secure SHell*) Conjunto de comandos para realizar comunicaciones seguras en Unix
- TCP/IP** (*Transmission Control Protocol / Internet Protocol*) Protocolo de control de transmisión / protocolo de Internet
- TDOA** (*Time Difference of Arrival*) Diferencia en el tiempo de llegada
- TETRA** (*Trans European Trunked*) Radio sistema de comunicaciones vía radio *trunking*. De alcance transeuropeo
- TG** (TTGG, en plural) (*Geotelematic Terminal*) Terminal geotelemático
- UHF** (*Ultra High Frequency*) Frecuencia ultraalta
- IMU (UMI)** (*Inertial Measurement Unit*) Unidad de medida inercial
- TIC** Tecnologías de la información y las comunicaciones
- UMTS** (*Universal Mobile Telecommunications System*) Sistema universal de telecomunicaciones móviles
- UWB** (*Ultra Wide Band*) Banda ultraancha
- VHF** (*Very High Frequency*) Muy alta frecuencia
- VLF** (*Very Low Frequency*) Frecuencia muy baja
- VOR/DME** (*Very High Frequency, Omnidirectional Ranging/Distance Measuring Equipment*) Equipo de medida de distancias de alcance omnidireccional de muy alta frecuencia
- VPN** (*Virtual Private Network*) Red privada virtual
- WAAS** (*Wide Area Augmentation System*) Sistema de aumentación de gran alcance
- WIMAX Access** (*Worldwide Interoperability For Microwave*) Grupo de Trabajo para Interoperabilidad para Acceso a las Comunicaciones de Microondas de Banda Ancha

WLAN (*Wireless Local Area Network*) Red inalámbrica de área local

Bibliografía

Bibliografía básica

El Rabbany, A. (2002). *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 complementaria

Kaplan, E. D.; Hegarty, C. J. (2006). *Understanding GPS: Principles and Application*. Boston: Artech House.

Pratap, M.; Enge, P. (2006). *Global Positioning System: Signals, measurements & Performances*. Gangajamuna.

Wellenhof, B. H.; Lichtenegger, H.; Wasle, E. (2007). *GNSS: GPS, Glonass, Galileo and more*. Viena: Springer.

Enlaces de interés

1) 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/>

<http://www.galileo-masters.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

2) 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>

3) Asociaciones profesionales

American Geophysical Union (AGU)

German Institute of Navigation (DGON)

Institute of Navigation (ION)

International Association of Geodesy (IAG)

International Association of Institutes of Navigation (IAIN)

International GPS Service (IGS)

National Marine Electronics Association (NMEA)

Radio Technical Commission on Aviation (RTCA)

Radio Technical Commission on Maritime Services (RTCM)

4) Organismos públicos

Department of Transportation (U.S. DoT)

Center for Advanced Aviation System Development (CAASD)

NASA's GPS applications Exchange

5) Universidades y centros de investigación

University NAVSTAR Consortium

University of Arkansas. Centre for advanced Spatial Technologies. GPS Program

University of Calgary. Department of Geomatics Engineering

University of New Brunswick. Geodetic Research Laboratory

University of New Brunswick. Department of Geodesy and Geomatics Engineering

6) Fabricantes de *chipsets* GPS

SIRF

UBLOX

FASTRAX

EVERMORE

MICRO MODULAR TECHNOLOGIES

7) Fabricantes de receptores GNSS

Garmin

Javad

Leica

Magellan

Novatel

Septentrio

Topcon

Trimble

8) Aplicaciones

Agricultura de precisión:

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

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

Relacionadas con los LBS:

<http://www.wikitude.com>

<http://www.layar.com>

<http://www.mixare.org>

<http://www.openstreetmap.org>

<http://www.wikiloc.com>

<http://www.ibpindex.com>

<http://www.trekbuddy.net/>

<http://www.gpsbabel.org>

<http://www.sports-tracker.com>

<http://www.runkeeper.com>

<http://www.endomondo.com>

<http://www.tomtom.com>

<http://www.foursquare.com>

LBS wifi:

<http://www.ekahau.com>

<http://www.insiteo.com>

9) ITS

ERTICO ITS Europe

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

ITSA – ITS America

