



## 12 ANEXO II – GPS

---

### 12.1 Introducción

GPS o Global Positioning System es un sistema GNSS (Conjunto de Sistemas de Navegación por Satélite) basado en un mínimo de 24 satélites artificiales que formando una constelación permiten determinar la posición de puntos sobre la superficie terrestre, todo ello gracias a la información radioeléctrica que envían.



*Ilustración 12.1.1 - Logotipo representativo GPS*

Este sistema fue desarrollado por el DoD, Departamento de Defensa Americano en los años 70, con origen en aplicaciones exclusivamente militares y cobertura mundial.

Tras muchos estudios, en los años 90, esta tecnología comienza a utilizarse con fines civiles, siendo el GPS el único sistema de navegación por satélite completamente operativo.

El control exclusivo por parte del gobierno de los estados unidos de esta tecnología hace que el resto de naciones influyentes comiencen a investigar y desarrollar su propio sistema de navegación, para no tener que prescindir del sistema GPS, de esta manera nacen otros sistemas como el proyecto ruso GLONASS, el chino COMPASS, el indio IRNSS o el japonés QZSS [50].

### 12.2 Descripción del sistema GPS

El sistema GPS consta de tres sectores: los satélites, el sistema de control terrestre de los mismos, y los receptores de usuario que recogen las señales enviadas por los satélites y determinan las coordenadas del punto sobre el que se encuentran.

En la aplicación de la metodología GPS se diferencian esos tres elementos.

#### 12.2.1 Sector espacial

Está compuesto por la constelación de satélites NAVSTAR (Sistema de Navegación para Tiempo y Distancia) los cuales transmiten: señal de tiempos sincronizados, parámetros de posición de los satélites, información del estado de salud de los satélites sobre las dos portadoras y otros datos adicionales.

La constelación actual consta de entre 27 y 31 satélites distribuidos en seis órbitas con 4 o más satélites en cada una. Los planos orbitales tienen una



inclinación de 55 grados y están distribuidas uniformemente en el plano del ecuador. Con una órbita de 12 horas sidéreas, un satélite estará sobre el horizonte unas cinco horas.

El objetivo es que al menos 4 sean visibles al mismo tiempo, a cualquier hora del día y desde cualquier punto de la superficie terrestre.

La altitud de los satélites es de unos 20100 km a su paso por el zenit del lugar. Orbitan con un periodo de 12 horas sidéreas por lo que la configuración de un instante se repite el día anterior con una diferencia entre día sidéreo y día solar medio (3m56s).

Un satélite pueda quedar fuera de servicio civil por avería o envejecimiento de los paneles solares, falta de capacidad de los acumuladores, averías no conmutables de los sistemas electrónicos, agotamiento del combustible de maniobra o por intereses militares.

La información temporal y de posición están íntimamente relacionadas. El sistema GPS se basa fundamentalmente en la medida del tiempo de una forma muy precisa. Para ello los satélites contienen varios osciladores de alta precisión, con estabilizadores de máxima precisión capaces de dar medidas del tiempo del orden de  $10^{-12}$ , y de  $10^{-14}$  en los de última generación.

Una referencia de tiempos defectuosa afecta al conjunto de la información del receptor. La escala de tiempo se denomina GPS Time, siendo la unidad el segundo atómico Internacional.

El origen de la escala GPS se ha fijado como coincidente con el UTC a las 0 horas del día 6 de enero de 1980. El tiempo universal coordinado UTC es un tiempo atómico uniforme, cuya unidad es el segundo atómico (se trata de un híbrido entre tiempo atómico y tiempo universal).

### *Señal de los satélites:*

Cada satélite va provisto de un reloj-oscilador que provee una frecuencia fundamental sobre la que se estructura todo el conjunto de la señal radiodifundida por el satélite.

Los satélites poseen una serie de antenas emisoras que funcionan en la banda L del espectro electromagnético, que son las que recibiremos en nuestros receptores. El satélite emite información sobre dos movimientos ondulatorios que actúan como portadoras de códigos, la primera se denomina L1. La segunda se denomina L2. El poder utilizar las 2 frecuencias permite determinar por comparación de la diferencia de retardos, el retardo ionosférico, difícilmente predecible por otros sistemas.

Sobre estas dos portadoras se envía una información modulada compuesta por tres códigos y un mensaje de navegación, generados también a partir de la frecuencia fundamental correspondiente. El primer código que envían es el llamado código C/A (Coarse /Acquisition) y ofrece precisiones que en la



actualidad oscilan entre los 3m y los 10 m, y el segundo es el código P (precise) con precisiones métricas. Estos códigos son usados para posicionamientos absolutos en navegación; y el tercero L2C de precisión similar al C/A. En cuanto al mensaje, éste consta de 1500 bits, correspondientes a 30 segundos.

## 12.2.2 Sector control

La misión de este sector consiste en el seguimiento continuo de los satélites, calculando su posición, transmitiendo datos y controlando diariamente todos los satélites de la constelación NAVSTAR. Había 5 centros: Colorado, Hawaii, Kwajalein, Isla de Ascensión e Isla de Diego García. Desde 1995 hay 10 estaciones monitoras.

Todas ellas reciben continuamente las señales GPS con receptores bi-frecuencia provistos de relojes de H. También se registra una extensa información entre la que cabe destacar:

- Influencia que sobre el satélite tiene el campo magnético terrestre.
- Parámetros sobre la presión de la radiación solar.
- Posibles fallos de los relojes atómicos.
- Operatividad de cada uno de los satélites.
- Posición estimada para cada uno de los satélites dentro de la constelación global.

Todos estos datos se transmiten a la estación principal situada en Colorado Spring (USA) donde se procesa la información, obteniendo de esta manera todas las posiciones de los satélites en sus órbitas (sus efemérides) y los estados de los relojes que llevan cada uno de ellos para que con posterioridad los mismos satélites radiodifundan dicha información a los usuarios potenciales.

## 12.2.3 Sector usuario

Este segmento del sistema GPS varía según la aplicación que se esté tratando.

Está formado por todos los equipos utilizados para la recepción de las señales emitidas por los satélites, así como por el software necesario para la comunicación del receptor con el ordenador, y el pos procesado de la información para la obtención de los resultados.

Hemos de tener en cuenta que el sistema GPS fue creado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos con fines exclusivamente militares y por ello el objetivo principal del GPS es el posicionamiento de vehículos y tropas militares en cualquier parte del mundo.

Las primeras aplicaciones civiles llegaron de la mano de la Navegación, en lo que hoy conocemos como gestión y control de flotas [47].



## 12.3 Funcionamiento del sistema GPS

### *1. Multilateración del satélite:*

Se define MLAT o Multilateración como la técnica de navegación basada en la medición de la diferencia de distancia entre dos estaciones en posiciones conocidas, por señales de emisión en tiempos conocidos.

Si medimos la distancia de un grupo de satélites a una posición aleatoria de la Tierra, seremos capaces de calcular las coordenadas exactas de dicha posición.

Esto funciona debido a que la posición de un satélite se conoce en cada momento, por lo de forma teórica, es posible conocer unas coordenadas de manera precisa mediante el conocimiento de la posición de 4 satélites.

### *2. Alcance del satélite:*

Depende de la distancia entre el satélite y el receptor. Esta distancia se establece midiendo el tiempo que tarda en llegar la señal de radio entre uno y otro mediante la fórmula que relaciona la velocidad de la luz y de la onda.

### *3. Precisión de tiempo:*

Normalmente los satélites poseen relojes atómicos de precisión entre  $10^{-12}$  y  $10^{-14}$  segundos, mientras que los receptores suelen fabricarse con relojes de cuarzo de precisión  $10^{-6}$  segundos. Debido a esta diferencia de precisiones, podemos alcanzar imprecisiones de 300 metros en la medida de posición.

En el caso de utilizar un sistema de 4 satélites, esta imprecisión estará situada por debajo de 100 metros.

### *4. Posicionamiento del satélite:*

Controlado por el DoD tal como se explicó en el anterior apartado.

### *5. Corrección de errores:*

Necesitamos tener en cuenta posibles cambios en la velocidad de la onda por interferencias ambientales, errores o desajustes del reloj atómico, problemas con la órbita de los satélites, interferencias entre ellos y ruido en el receptor [48].



## 12.4 Programación de GPS en Android - SensorUVA

El tracking GPS es una interesante funcionalidad añadida a la toma de datos en la aplicación SensorUVA, se decidió su incorporación en este concepto debido a las posibilidades que añadía geoposicionar los datos para prácticas o experiencias fuera del laboratorio.

Esta función permite añadir una variable más a los problemas, poniendo así más en contacto la aplicación con su uso en ambientes informales, promoviendo como posibles experiencias la realización de mapas de datos interactivos, con el procesado de los datos a posteriori, o por ejemplo realizar comparativas entre resultados de la misma experiencia en dos localizaciones distintas.

El GPS está disponible en todas las herramientas del apartado TOOLBOX SENSORES y en la herramienta SONÓMETRO de TOOLBOX SONIDO.

El procedimiento seguido por SensorUVA para geoposicionar los datos es el siguiente:

1. Al pulsar sobre el CheckBox GPS, comienza el proceso, empezando por activar la ubicación del Smartphone. Para ello fue necesario conceder el permiso de ubicación cuando se inició la aplicación por primera vez. En caso de existir un fallo y el usuario no concedió dicho permiso aparecería un aviso por pantalla.
2. Antes de probar a activar la ubicación, se comprobarán los permisos utilizando el código:

```
ActivityCompat.checkSelfPermission(this,  
Manifest.permission.ACCESS_COARSE_LOCATION)
```

```
ActivityCompat.checkSelfPermission(this,  
Manifest.permission.ACCESS_FINE_LOCATION)
```

El primero COARSE\_LOCATION pregunta sobre la localización de la que hablamos en la página () con precisiones entre 3 y 10 metros y FINE\_LOCATION con precisiones métricas.

3. Si todo ha ido bien, se activará ubicación utilizando el siguiente método registrado por Android:

```
locationManager.isProviderEnabled(LocationManager.GPS_PROVIDER)
```



4. Con la ubicación activada, aparecerá un símbolo similar al de la ilustración 6.1.1 en la parte superior de la pantalla, en la zona donde se informa de la batería del dispositivo, reloj, etc.
5. Ahora la aplicación empezará a intentar localizar el dispositivo, para ello llamará al método:

```
locationManager.requestLocationUpdates(LocationManager.GPS_PROVIDER,  
100, 0, locationManager);
```

Este método pide que cada vez que exista un cambio de ubicación se notifique, además fija el intervalo de actualización en 10 veces por segundo, permitiendo así localizar el dispositivo incluso a altas velocidades.

6. Cuando el Smartphone consiga la primera localización, dependiendo del dispositivo y dónde se esté realizando la medida puede tardar entre 5 y 30 segundos, la pantalla se desbloqueará, permitiendo al usuario trabajar con normalidad, aunque en segundo plano se seguirán realizando tareas.
7. Por último para conseguir los datos necesarios, SensorUVA llama a los métodos `location.getLongitude()` y `location.getLatitude()`, consiguiendo así los valores de latitud y longitud.

Con el dispositivo geoposicionado, los datos se añadirán a las muestras en forma de dos columnas en los archivos CSV o en texto en los archivos TXT con los valores de latitud y longitud en el instante de las medidas [13].

| Instante (ms) | Latitud     | Longitud    | Luminosidad (lux): |
|---------------|-------------|-------------|--------------------|
| 12            | 41,65806486 | -4,70986424 | 1091               |
| 1028          | 41,65803822 | -4,70990542 | 1106               |
| 2061          | 41,65801577 | -4,7099386  | 1127               |
| 3024          | 41,65802511 | -4,70994827 | 13                 |
| 4043          | 41,65803921 | -4,70993102 | 1125               |
| 5054          | 41,65807035 | -4,70994485 | 1154               |
| 6002          | 41,6580792  | -4,70998703 | 1101               |

Ilustración 12.4.1 - Ejemplo de serie de datos geocalizados - CSV herramienta LUMINOSIDAD



## 12.5 Creación de mapas de datos - PowerMaps

Power Map nos permite explorar datos con cualquier tipo de mapa mediante la creación o importación de un mapa personalizado, en el caso que nos ocupa utilizaremos las cartas geográficas de Google Maps y nuestros datos de ubicación para colocar las medidas.

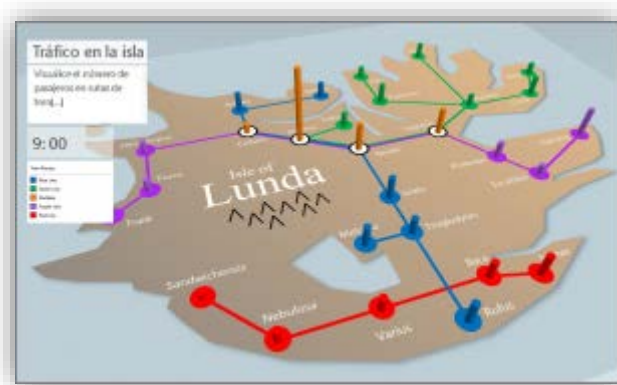


Ilustración 12.5.1 - Ejemplo de mapa personalizado

Para realizar esto, el archivo debe tener:

- Datos relacionados Latitud / Longitud en nuestro caso. Es posible crear el mapa de otras muchas maneras, pero esta es la más fiable.

Con el archivo Excel abierto, solo tenemos que hacer clic en **Insertar > Mapa**. En caso de que la opción Mapa 3D de Excel esté desactivada, copia y pega todas las columnas de datos en un libro de Excel vacío, ya que a veces en algunos archivos que provienen de series de datos con extensión CSV no está habilitado.



Ilustración 12.5.2 - Localización de herramienta Mapas 3D en Excel

Según se abra Power Maps nos aparecerá la pantalla de la ilustración 12.5.3, en ella podremos ver recorrido seguido ya geo-localizado en el mapa. Esto



ocurre porque Excel reconoce las columnas de latitud y longitud, asignándoles ya la función deseada.

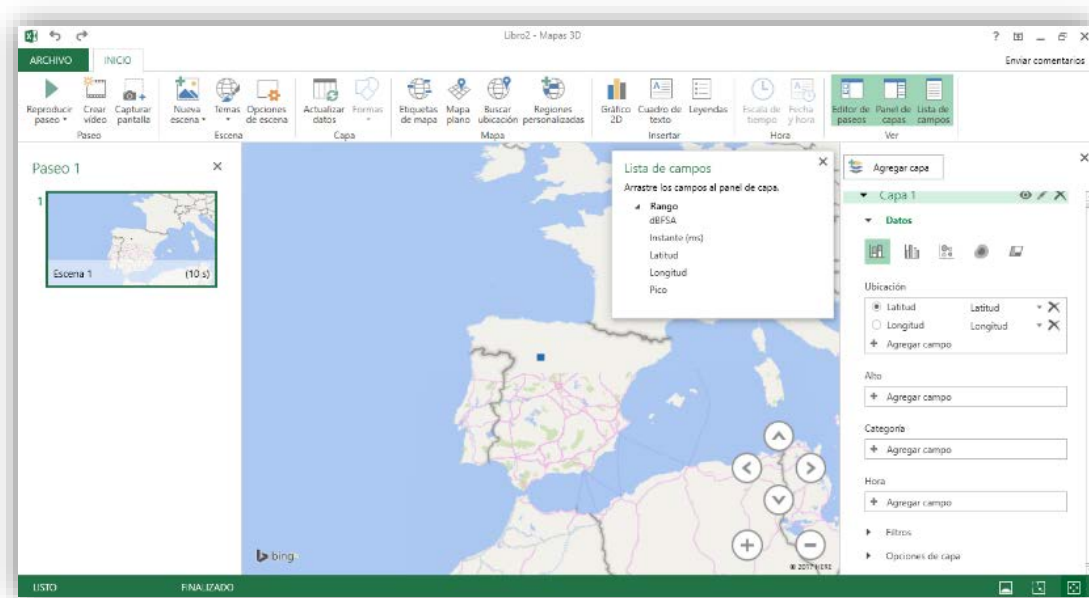


Ilustración 12.5.3 - Pantalla principal de Microsoft Power Maps

Ampliaremos la zona del mapa donde hemos tomado las medidas.

De momento solo nos mostrará la localización de nuestras muestras, es decir, el camino que hemos seguido durante la grabación, por lo que debemos agregar los datos del sensor que vayamos a utilizar.

Seleccionamos **Alto**, **Agregar campo** y ahí haremos clic sobre la opción con los datos que queremos. Por defecto se seleccionará la opción (Suma) así que lo cambiamos a (Media). Esto hará que el programa calcule la media de los valores en los puntos en los que haya varios valores para una misma coordenada.

Puedes seleccionar varios valores a la vez, ajustando las opciones de capa para una mejor visualización y moviendo el mapa para seleccionar la vista adecuada.

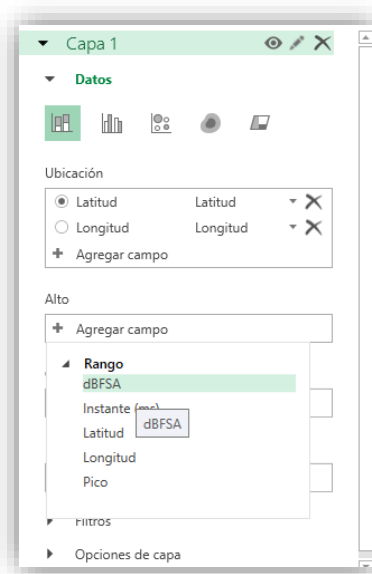


Ilustración 12.5.4 - Opciones de capa





A su vez hay varias formas de presentar los resultados, pero los idóneos para representar fielmente los cambios de valores que podemos capturar con SensorUVA son los siguientes:



*Ilustración 12.5.5 - Tipos de gráfico disponibles*

- ***Columna apilada:*** Datos en forma de columna puestas sobre el recorrido seguido. Para una mejor visualización elegir alto 10% y grosor 2%, aunque si el recorrido es muy amplio será adecuada otra configuración.
- ***Diagrama de calor:*** Escala de colores 100%, radio de influencia 2% y agregación visual Media. Es posible hacer más cambios de estilo, color y forma de representación de datos [55].