

## **CAPÍTULO SEGUNDO**

# **PERSPECTIVAS PARA EL AÑO 2000 DE LOS SATÉLITES DE NAVEGACIÓN**

## **2. PERSPECTIVAS PARA EL AÑO 2000 DE LOS SATÉLITES DE NAVEGACIÓN**

POR JOSÉ LUIS DEL HIERRO ALCÁNTARA

### **2.1. Introducción histórica.**

Cuando el hombre en plena Edad Media se arriesgó por primera vez en la historia a navegar fuera de la vista de la costa, sintió la imperiosa necesidad de conocer su situación en el océano para ajustar el rumbo que le arribara a su destino. Siglos después, cuando los pioneros de la aviación remontaron el vuelo por encima de las nubes, sintieron idéntica necesidad.

Tanto marinos como aviadores han aprovechado inmediatamente cuantos adelantos científicos y técnicos han sido aplicables a la navegación. Así ocurrió con el campo magnético terrestre y la brújula, la medición del tiempo y la ampolleta, la observación astronómica y el astrolabio, instrumentos que, perfeccionados, se siguen utilizando como bitácora, cronómetro y sextante. Estos instrumentos, junto con la aguja giroscópica, siguen siendo los habitualmente utilizados en la navegación convencional marítima, también en la aérea e incluso en la terrestre. Sin embargo, estos ingenios solos o combinados son insuficientes para facilitar la situación geográfica de forma continua, exacta y segura, por ser instrumentos imprecisos, sujetos a fenómenos naturales variables y condicionados por la meteorología y el ambiente.

El descubrimiento de las ondas radioeléctricas y el invento de la radio por Marconi abrió inmediatamente el campo de la radionavegación y marcó el principio de una época. Se comenzó con el sencillo radiogoniómetro, que permite obtener la situación por el «corte» de las direcciones en que se reciben las emisiones de estaciones transmisoras de posición conocida.

Siguieron a los radiogoniómetros procedimientos más perfeccionados, como el CONSOL, y posteriormente otros más exactos, cómodos y

sofisticados, como el DECCA, LORAN y OMEGA, sistemas que en general calculan la situación mediante la medición de la diferencia en el tiempo con que se reciben las señales radio emitidas simultáneamente desde diferentes puntos geográficos.

Aunque en los últimos modelos se ha llegado a cierta precisión, seguridad y automatismo, todos resultan afectados por las perturbaciones que afectan a la radio en la baja atmósfera, tienen un alcance limitado y, por razones económicas, sólo están disponibles en pocas áreas geográficas mundiales.

Después de la Guerra Mundial, se generalizó el uso del radar en sus muchas variantes, aplicado a la navegación marítima y aérea. No obstante, por su inexactitud relativa, corto alcance y subordinación a objetos que proporcionen ecos, su empleo se reduce a las zonas costeras y a prevenir la seguridad respecto a otros móviles y a la meteorología.

Como excepción, el radar Doppler podría considerarse el procedimiento ideal para la navegación aérea militar. Es un sistema compacto, preciso, que se lleva íntegramente a bordo y puede utilizarse tanto sobre tierra como sobre la mar, y además no resulta excesivamente caro. Sin embargo, desde un punto de vista operativo tiene un fallo crítico: es un emisor activo, indiscreto y, por consiguiente, poco seguro en zonas de combate.

Los sistemas de navegación inercial nacieron como respuesta a la necesidad de los submarinos nucleares estratégicos de contar con una buena situación en todo momento, y a la obligación de permanecer continuamente sumergidos, incluso bajo los hielos polares. Por su coste, generalmente los sistemas inerciales convencionales han quedado relegados a la navegación militar.

En el año 1957, al observar el efecto Doppler en las señales emitidas por el satélite ruso *Sputnik*, se concibió la idea de que los satélites podrían ser plataformas ideales para instalar sistemas de navegación de cobertura mundial de extraordinaria precisión, dado que desde su privilegiado emplazamiento las ondas de alta frecuencia (UHF) tienen un gran alcance, son virtualmente imperturbables y permiten una gran exactitud en las mediciones.

Pocos años después, se pone en funcionamiento el TRANSIT, primer sistema de navegación por satélite, creado para servir a las necesidades de la Navy, especialmente a los submarinos nucleares, pero que, con el tiempo y dado sus buenos resultados, se ha generalizado su utilidad civil y militar. El TRANSIT emplea técnicas radio-doppler que calculan la situación del buque

por observación de los cambios de frecuencia de las emisiones transmitidas por los satélites que cruzan el espacio sobre ellos. Normalmente, ha venido funcionando con seis satélites situados en órbitas circulares a 1.100 km de altura.

Aunque el TRANSIT lleva veinte años funcionando satisfactoriamente y existían proyectos para su perfeccionamiento, sólo permanecerá en servicio hasta el momento que esté operativo el nuevo sistema *Global Positioning System* (GPS).

El GPS tiene su origen en dos programas distintos, el «Programa 621 B» de la USAF y el proyecto *Timation* de la Navy, que perseguían idénticos objetivos. En 1973 el Departamento de Defensa, con buen criterio, instó a los dos ejércitos a unir sus esfuerzos para conseguir un nuevo sistema de navegación mundial. La técnica del GPS es, en concepto, más simple que la radio-doppler, pero de más difícil desarrollo. Se basa en la medición del tiempo que las ondas radio, viajando a la velocidad de la luz, tardan en cubrir la distancia existente entre el satélite y el observador.

El corazón de los satélites de navegación NAVSTAR del sistema GPS es un reloj atómico (tres en cada satélite por redundancia) —que mantiene la exactitud de la hora, por referencia a un oscilador de átomo de rubidio— y que alcanza una estabilidad de un segundo en treinta mil años o, lo que es lo mismo, una precisión de una millonésima de segundo.

Los dieciocho satélites que compondrán el sistema operativo estarán sincronizados en el mismo «tiempo» GPS. Cada satélite emitirá una señal característica y al mismo instante la señal que indica su situación exacta. Midiendo el lapso de tiempo transcurrido entre la emisión de la señal desde el satélite y el instante de su recepción por el receptor GPS, y multiplicando dicho lapso por la velocidad de la luz, la computadora del receptor calculará la distancia entre él y el satélite.

Si el receptor GPS tiene su propio reloj atómico puesto en «tiempo GPS», necesitará tres distancias simultáneas a otros tantos satélites para triangular su situación en tres dimensiones. Pero si no es factible que el receptor tenga un costoso reloj atómico, puede tomar tiempo y distancia a cuatro satélites a la vez y de esta manera el computador del receptor compensará el error de su propio reloj, resolviendo una operación de «cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas», siendo tres de dichas incógnitas las tres coordenadas de su situación y la cuarta el error de su reloj.

Además de la situación geográfica, el receptor GPS puede calcular también su velocidad con una precisión de una décima de milla por hora

(una décima de nudo), utilizando para ello el efecto «doppler», como los satélites de navegación TRANSIT.

Las instalaciones en tierra del sistema GPS se componen fundamentalmente de una estación de control principal *Master Control Station* en Colorado Sprigs y varias estaciones monitoras secundarias en Hawaii, Kwajalein, Diego García y Ascensión. Todas las estaciones monitoras —excepto Hawaii— están equipadas con antenas en tierra para comunicar con los satélites NAVSTAR del sistema. Las estaciones monitoras siguen pasivamente a todos los satélites NAVSTAR que tienen a la vista, obteniendo los datos de distancia y tiempo de reloj de cada satélite. Esta información se retransmite a la estación de control principal, donde se calculan y predicen las efemérides y el tiempo. Los datos de efemérides y reloj se inyectan en cada satélite por medio de un mensaje NAV.

## 2.2. Los sistemas de navegación del futuro.

A partir del año 1990, con cierto retraso por las razones que se explicarán más adelante, comenzará la década de implantación del *Global Positioning System* (GPS), también conocido como NAVSTAR, sistema de navegación del Departamento de Defensa de los EE.UU. de Norteamérica, que promete ser en cierto modo la solución total, ya que será capaz de proporcionar a buques, aeronaves, misiles, vehículos terrestres o simples observadores su situación exacta, en todo momento y en cualquier lugar del mundo, sean cual sean las condiciones ambientales y meteorológicas.

Existe, sin embargo, la posibilidad que las señales GPS puedan ser perturbadas intencionadamente o que el sistema falle en ciertos lugares muy concretos donde las señales queden enmascaradas (1). En estos casos el GPS puede integrarse con otros procedimientos pasivos de navegación. La solución lógica, al menos militarmente hablando, es el navegador inercial, el *Ring Laser Gyro* (RLG) o los giróscopos de fibra óptica, que harán posible en un futuro próximo combinar la robustez con la exactitud.

Estas nuevas tecnologías están llamadas a fundamentar la navegación aérea y marítima de los años 2000. No obstante, por estar este trabajo específicamente enfocado al espacio, nos limitaremos a describir aquellos sistemas de navegación que utilizan satélites.

---

(1) El GPS incluirá medidas COMSEC bajo control del Departamento de Defensa, que impedirá sea utilizado en su plena exactitud por los usuarios no autorizados.

## 2.3. Sistema de posición global (GPS).

### 2.3.1. Resumen.

El GPS es un sistema de posición global que, sin duda, se convertirá en el procedimiento de radio-navegación más extendido en el mundo, cuando a partir del año 1990 se ponga gradualmente en servicio en el curso del próximo decenio. Las ventajas del GPS: excelente precisión, disponibilidad mundial, características «todo tiempo» y simplicidad de manejo, le aseguran un rápido éxito, y el gran mercado que creará, garantizará una variedad de equipos a precios interesantes.

Es previsible que el GPS, por sus excelencias y ventajas, provoque en poco tiempo la práctica desaparición de los demás sistemas de radio-navegación y arrincone en el olvido otros procedimientos tradicionales.

En este trabajo describiremos el estado actual del GPS y los progresos previstos para su completa realización. Citaremos el impresionante número de aplicaciones que se perfilan y la constelación actual de satélites NAVSTAR de ensayo. Finalmente, una breve referencia al «GPS Diferencial», modalidad que asegurará una precisión de cinco metros en ciertas zonas. En fin, la exposición trata de viajar al porvenir, imaginando el momento que el GPS esté listo, utilizado ampliamente y con gran variedad de equipos disponibles, todo ello en el principio del próximo siglo XXI.

### 2.3.2. Situación actual.

El GPS, como antes se apuntó, fue promocionado por el Departamento de Defensa en los EE.UU. con una finalidad eminentemente militar, para garantizar la navegación precisa, continua, mundial y tridimensional que al mismo tiempo pudiera tener aplicaciones terrestres, navales y aéreas. La ejecución del proyecto se dividió en tres fases, y que, si todo hubiese marchado sin contratiempos, debería haber concluido en el próximo año 1989. La catástrofe ocurrida en el transbordador espacial el 28 de febrero de 1986 retrasó fatalmente todo el programa, sin poder por ahora predecirse todas las consecuencias que la tragedia tendrá sobre la puesta en órbita de los satélites y, por tanto, del sistema.

Si bien la finalidad original y prioritaria del GPS era militar, es indudable que tendrá numerosas aplicaciones civiles, y en el futuro se espera que el número de utilizadores civiles sea mucho mayor que el de militares.

Actualmente se están utilizando siete satélites prototipo dentro de un programa de ensayos. Sus órbitas están concebidas para asegurar la

cobertura completa del sistema durante muchas horas al día, lo que ha permitido efectuar profundos ensayos sin el gasto de una constelación de satélites de serie. Se espera que de cuatro a siete satélites de ensayo puedan continuar disponibles hasta el lanzamiento de los satélites de serie. Estos, más grandes y pesados que los prototipos, se pondrán en órbita por medio de los trasbordadores espaciales, dos por cada vuelo. Cuando se hayan lanzado y puesto en órbita los doce primeros satélites, se asegurará la navegación mundial, continua y bidimensional, que es suficiente para las aplicaciones navales puras.

### 2.3.3. *Perspectiva a medio plazo.*

Cuando se complete la puesta en órbita de los 18 satélites operativos que forman el sistema será posible la navegación mundial, continua y tridimensional. El conocimiento de la altura sobre el suelo es imprescindible para la navegación aérea y para ciertas aplicaciones terrestres.

Además de los 18 satélites operativos existe el proyecto de poner en órbita otros tres satélites activos de «reserva», que harían un total de 21 en el espacio. La Secretaría de Estado de los EE.UU., quiere ampliar la constelación del GPS hasta 24 satélites para aumentar la fiabilidad por encima del 98 por 100.

Los satélites operativos GPS orbitarán en seis planos a 20.200 kilómetros sobre la superficie de la Tierra, de tal suerte que sólo se precisará la mitad del tiempo de rotación de la Tierra (11h 58m 02s) para que cada satélite efectúe una órbita completa. Gracias a esta constelación de satélites, cualquier observador podrá recibir simultáneamente las señales de cuatro satélites a la vez, como mínimo. El equipo receptor del utilizador mide los tiempos de llegada de las señales emitidas simultáneamente por los satélites y determina automáticamente cuatro parámetros: latitud, longitud, altitud y tiempo.

### 2.3.4. *Frecuencias y códigos de emisión.*

Los satélites GPS emiten en dos frecuencias distintas con el propósito de corregir los errores por refracción ionosférica. Las frecuencias del GPS se denominan L1 (1.575,42 Mhz) y L2 (1.227,6 Mhz).

La señal en frecuencia L1 se transmite en dos códigos diferentes en tanto que en la frecuencia L2 sólo se transmite en uno.

El código P (preciso) es una secuencia pseudo-aleatoria de unos y de ceros con un ritmo de transmisión de 10,23 Mhz (número de veces que

puede pasar a cero y viceversa). El código C/A (adquisición gruesa) cambia cada 1.023 Mhz y se repite todos los milisegundos (lo que es lo mismo que decir que el código tiene una longitud de 1.023 bits). Ambos códigos de la frecuencia L1, P y C/A, transmiten el mensaje numérico propio de cada satélite al ritmo de 50 bits por segundo.

Se prevé que los equipos de navegación más baratos funcionen con la frecuencia L1 y utilizando sólo el código C/A. Los receptores más costosos, preparados para utilizar el código P, presentan tres importantes ventajas:

- a) Acceso a la frecuencia L2 para corrección de la refracción ionosférica.
- b) Mejor protección contra las interferencias (particularmente importante en aplicaciones militares).
- c) Precisión más elevada en la medida de distancias.

### 2.3.5. *Satélites de ensayo. Resultados.*

Hasta el momento en que finalice el despliegue de la constelación de satélites operativos, podrá contarse algunas horas cada día en la mayor parte del mundo con los satélites de ensayo. Según declaraciones del capitán de navío Catalán, director del Observatorio de Marina de San Fernando y jefe de la expedición española a la Antártida, se están obteniendo grandes resultados prácticos, tales como situar con exactitud las tierras de aquel continente, cuya cartografía disponible tiene errores importantes.

### 2.3.6. *Política de empleo.*

Dos importantes cuestiones que afectan a la política de empleo del GPS, que deben conocer los utilizadores potenciales del sistema. La primera cuestión bautizada «antipiratería» (AS) por el Departamento de Defensa de los EE.UU., se refiere a la intención de cifrar los códigos P que transmitan los satélites de serie.

El código resultante a transmitir se denominará código Y. Con esta política se pretende impedir el acceso al código P (y por consiguiente a la frecuencia L2) a la generalidad de los usuarios, con excepción de aquellos privados que estén oficialmente autorizados a guardar el secreto, y para los cuales se juzgue de interés para la seguridad de los EE.UU. que empleen el código Y. Es obvio que esta restricción orientará la demanda de los usuarios civiles hacia equipos del código C/A, con frecuencia única.

La segunda cuestión se refiere a la limitación en la precisión accesible a los utilizadores civiles, por cuanto pueda afectar a la seguridad nacional, y se denomina «sindegradación voluntaria» (SA). La máxima precisión autorizada se fija en 100 m, aun cuando esta postura podrá revisarse en el futuro, mejorándola. En este momento, los civiles que necesiten una precisión más elevada, deberán optar por las técnicas del «GPS Diferencial», que se describirán más adelante.

### 2.3.7. *Comercialización.*

Está prevista la aparición inmediata de equipos de navegación GPS relativamente baratos, compuestos de dos módulos electrónicos solamente: un oscilador y una antena. La tendencia mundial actual se inclina por la fabricación de equipos de navegación electrónica muy simples y de bajo costo, como está sucediendo con el TRANSIT. Aun contando con la complejidad relativa del GPS, en comparación con el TRANSIT, se puede estimar que en el año 1995 se podrá adquirir un equipo GPS por 500 dólares.

Cuando el GPS esté totalmente operativo y el gran público compruebe sus enormes ventajas, la demanda crecerá y disminuirán los precios como ha sucedido con otros aparatos electrónicos de consumo.

Las compañías especialistas están gastando millones de dólares en investigación y desarrollo de nuevos equipos, en tecnología de fabricación y en crear redes de comercialización y servicio en todo el mundo.

### 2.3.8. *Funcionamiento y manejo.*

La simplicidad de funcionamiento y manejo son cualidades importantes para lograr el éxito entre los utilizadores civiles. A este respecto el GPS es más fácil de utilizar que todos los demás sistemas de navegación electrónica ahora disponibles (LORAN-C OMEGA, TRANSIT, etc.). el GPS no causa preocupación alguna en cuanto ajustes, calibraciones, deslizamiento de canales, interferencia de ondas celestes o filtraje de ondas locales.

El usuario enciende su equipo y sin ningún otro ajuste comienza a recibir los datos para una navegación continua y precisa. Naturalmente existen algunas limitaciones, la configuración del terreno e incluso la cercanía de grandes edificios o buques pueden perturbar las señales, no obstanté, en general y en todo lugar su funcionamiento será de una gran simplicidad.

Las repetidas cualidades del GPS, que facilitará la navegación precisa y segura, las 24 horas del día en el mundo entero, con cualquier clase de meteorología, a un bajo coste y fácil manejo garantizan un enorme mercado

potencial. Se prevé que los utilizadores se contarán por millones y la navegación electrónica se convertirá en una práctica tan común como ahora lo son las radiocomunicaciones.

### 2.3.9. Posibles aplicaciones.

Aún cuando el sistema no esté operativo, la cobertura experimental actualmente disponible ha permitido numerosísimas aplicaciones prácticas. El Servicio de Guardacostas de los EE.UU. *Cost Guard* lo viene utilizando desde 1984, para la navegación aérea, y otros particulares en tareas tan diversas como la localización del *Titanic*, el posicionamiento de plataformas petrolíferas *Off shore* y la recuperación de los restos del malogrado *Challenger*.

La tendencia comercial de los fabricantes es la de integrar dentro de un mismo chásis los sistemas actuales en uso, OMEGA y TRANSIT, con el futuro GPS. De esta forma el navegante continúa utilizando los sistemas operativos y experimenta las ventajas del nuevo. Cada sistema controla a los otros, se reducen gastos y en un momento dado podrá pasar fácilmente de esta situación a la plena explotación del GPS.

La casa *Magnavox* en colaboración con la *Wild Heerbrugg* de Suiza, han puesto a punto el equipo transportable WM-101, que ya está a la venta, que permite a los geodestas posiciones relativas con una exactitud cercanas al centímetro.

### 2.3.10. Los satélites NAVSTAR del Sistema GPS.

Los siete NAVSTAR que funcionan actualmente en la constelación de pruebas son del tipo *Block-1* y los futuros operacionales serán del tipo *Block-2*. Esta nueva generación de satélites son más resistentes contra agresiones electromagnéticas y han mejorado su supervivencia. Diseñados para permanecer en órbita durante siete años y medio —dos años de vida más que los *Block-1*— pesan 1.862 libras y por lo tanto son un 87 por 100 más pesados que sus predecesores.

Los satélites NAVSTAR *Block-2* representan la producción más larga de un mismo tipo de satélite jamás fabricado. Un total de 28 unidades al coste de 1.200 millones de dólares repartidos así:

- 18 operativos que reemplazarán a los de prueba.
- 3 que se colocarán en órbita inactivos, como repuestos.
- 3 para cubrir fallos en los lanzamientos.
- 4 que se mantendrán en tierra como repuestos.

Todos los satélites NAVSTAR han sido construidos por la Compañía *Rockwell* Internacional en su factoría de California. Los satélites tienen forma de cilindro de 1,5 metros de diámetro, con dos paneles solares de 5,3 metros de envergadura que le proporcionan una potencia de 580 vatios. El satélite está estabilizado de tal forma que presenta una de las bases del cilindro hacia la Tierra, mientras que los paneles solares están orientados para seguir al Sol. Para contar con energía eléctrica durante los eclipses va dotado de tres baterías de níquel-cadmio. El satélite cuenta con un sistema de control de altitud y órbita impulsado por cohetes de hidrazida.

### 2.3.11. *El GPS Diferencial.*

El sistema GPS «standard» proporciona suficiente exactitud para la mayoría de sus aplicaciones civiles y militares relacionadas con la navegación y el conocimiento de la situación geográfica. Sin embargo, determinados usuarios precisan todavía mayor exactitud, que se puede conseguir utilizando la modalidad denominada «GPS Diferencial».

El «GPS Diferencial» se basa en la instalación de un receptor GPS normal en una estación fija en tierra, cuya situación geográfica naturalmente se conoce y se introduce en el sistema como dato inicial de referencia. Por correlación entre dicha situación exactamente conocida y las señales, que en cada momento se reciben de los satélites que están a la vista de la estación, se calculan los errores en distancia de cada uno de los referidos satélites.

Acto seguido, la estación «GPS Diferencial» radio retransmite a los usuarios que puedan encontrarse en su misma área geográfica, los errores en distancia calculados, los que, aplicados como correcciones, mejoran la exactitud de las mediciones y en consecuencia aumentan la precisión del sistema GPS.

Otra manera de actuación consiste en que la estación compara su situación geográfica conocida con la obtenida por medio de su receptor GPS, deduciendo de su diferencia una corrección de índice en longitud y latitud, que retransmite a los usuarios. Este procedimiento puede no ser el más adecuado cuando los usuarios y la estación pueden haber utilizado diferentes satélites.

Contando con el equipo adecuado se puede alcanzar una precisión de 2 a 3 metros (5 metros garantizados al 95 por 100), a distancias de 200 kilómetros o más de una estación de control. Estas técnicas diferenciales

podrán utilizarse para conseguir una precisión óptima en ciertas zonas, cuando se requiera.

El «GPS Diferencial» es de gran interés para los pozos petrolíferos *Off-shore*, porque asegura la necesaria precisión a distancias aceptables y protege de errores accidentales en esta fase de ensayo del GPS, o de aquellos intencionados cuando el sistema sea operativo.

Los Gobiernos e Instituciones oficiales muestran gran interés por el «GPS Diferencial» que servirá para mejorar la seguridad en la navegación en sus aguas territoriales, especialmente en estrechos y entradas de puertos.

Con objeto de planificar el empleo del «GPS Diferencial» se ha constituido un comité especial en el seno del *Radio Technical Commission for Maritime Service* (RTCM), que cuenta con la participación masiva de usuarios, fabricantes y representantes de las naciones más importantes. El Comité ha recomendado la utilización de frecuencias diferentes para los diferentes servicios, formatos de mensajes, velocidad mínima de transmisión (50 bits/segundo), etc.; normalizaciones que posibilitarán que los equipos de cualquier fabricante puedan utilizar el sistema.

#### 2.4. **Perspectivas de futuro.**

Como anteriormente queda dicho, desde el momento en que estén en órbita y convenientemente espaciados los 12 primeros satélites sería factible la navegación bidimensional, continua y mundial (longitud y latitud). No obstante esta esperanza podría malograrse porque:

- a) El Gobierno de los EE.UU. no declarase operativo el sistema en tanto no estén situados los 18 satélites.
- b) La constelación de 12 satélites continuará presentando algunas lagunas en la cobertura mundial, según lugar y la hora del día.
- c) Los utilizadores más conservadores adoptarán una actitud de expectativa antes de tomar la decisión de adquirir los equipos.

Respecto a los numerosos equipos GPS que van a fabricarse podría establecerse la clasificación siguiente:

- a) Equipos poco costosos, alimentados por baterías, transportables, empleados preferentemente por excursionistas y exploradores.
- b) Productos también poco costosos, concebidos para su instalación permanente a bordo de embarcaciones o aeronaves de recreo, que podrían también aplicarse a otras actividades comerciales y militares ligeras. Estos equipos deberán estar concebidos para soportar

condiciones marinas y alimentarse con las fuentes de energía existentes.

- c) Equipos para aplicaciones militares y comerciales duras, que precisen funcionar continuamente durante años, sin averías. el utilizador deberá encontrar personal técnico capacitado y piezas de recambio en todo el mundo.
- d) Equipos GPS diseñados para formar parte de sistemas de navegación y situación integrados.

Además, se diseñarán y fabricarán interconexiones de los equipos GPS con la aguja giroscópica, piloto automático o los radares.

Según todos los indicios, un gran número de fabricantes proyectan lanzar sobre la marcha equipos de navegación GPS, lo que beneficiará a fin de cuentas a los usuarios que podrán elegir entre los de mejores características, a precios interesantes. Es probable que muchas compañías ante la presión de esa competencia a la baja se retiren del mercado como ocurrió en el caso del TRANSIT.

Como sucede siempre que aparecen nuevas tecnologías, algunos emplearán el GPS en todo cuanto crean posible, y otros más conservadores se retraerán en principio. A largo plazo sin embargo, la evidencia de las ventajas y comodidad que proporciona acabará convenciendo a los más reticentes.

En el campo civil, la economía de personal y de combustible son factores de consideración. Se calcula que un gran buque mercante —si dispone de GPS— puede ahorrar en un solo viaje oceánico la cantidad de combustible equivalente al precio de un equipo de navegación GPS.

Las diferencias políticas con los EE.UU. de Norteamérica no deben ser un obstáculo que retraiga a los usuarios potenciales. El sistema mejora de forma tan radical todos los demás procedimientos o sistemas de navegación existentes que sería absurdo que nadie renunciara a él, por meras posturas ideológicas o políticas. Otra cosa es la seguridad nacional que puede verse afectada si civil y militarmente una nación se entrega en exclusiva al sistema olvidando la navegación convencional u otras alternativas.

El GPS en definitiva, es algo más que una innovación tecnológica, es la solución definitiva —al menos en el campo civil— a un problema que ha ocupado al hombre durante siglos y que ha costado muchos esfuerzos y vidas. Es un hito en la historia de la humanidad, comparable al descubrimiento del fuego, la rueda, la escritura o las vacunas.

## 2.5. **Aspectos legales y jurídicos del uso del GPS.**

En un futuro próximo, el uso del GPS deberá estar regido por disposiciones gubernamentales e internacionales. Se conoce, por ejemplo, que cuando el sistema esté operativo, se adoptará como referencia reglamentaria por el Servicio de Guarda Costas de los EE.UU.

La Conferencia del Mar, los Convenios de Pesca, los Reglamentos de Circulación Aérea y en general todos los acuerdos internacionales que tengan relación con la navegación pueden llegar a exigir el uso del GPS o un sistema equivalente en determinados lugares y circunstancias.

El GPS tendrá una aplicación muy práctica en la determinación de la situación exacta de pesqueros en alta mar, origen de numerosas fricciones con los buques guardapescas e incluso de conflictos internacionales.

Igualmente se aplicará intensamente en la defensa de la soberanía nacional en la Zona económica exclusiva (200 millas) en relación con la vigilancia fiscal, represión del contrabando, control de la explotación de recursos y de vertidos, etc...

## 2.6. **Otras iniciativas.**

La URSS ha anunciado la puesta en marcha de un sistema de situación global propio que denominará GLONASS, del que se carece de información por el momento, pero que no puede diferir demasiado del concepto GPS.

Realmente, desde un punto de vista civil o mundial, parece una redundancia innecesaria, superponer dos sistemas con igual finalidad, considerando que el GPS supera las propias necesidades del usuario.

No obstante, esta decisión soviética bien sea por motivos militares, por rivalidad o simple prestigio, redundará en un mejor servicio a la comunidad mundial que gozará de mayor precisión, seguridad y disponibilidad.

Cuando estén funcionando ambos sistemas, ruso y norteamericano, es factible que los equipos se fabriquen preparados para recibir indiferente o simultáneamente el GPS y/o el GLONASS.

## 2.7. **Oferta comercial de receptores.**

Ante la gran demanda que se avecina los fabricantes más importantes están haciendo un duro esfuerzo para copar el mercado.

Solamente la *Collins, División de Rockwell Internacional*, ha vendido equipos al Departamento de Defensa de los EE.UU. por valor de 152

millones de dólares, como primer pedido y tiene opciones por 434 millones más.

Todos los receptores militares de la *Collins* reciben en la banda L y tienen códigos P y C/A. Disponen de dos a cinco canales y cubren todas las necesidades, desde un vehículo terrestre hasta un avión de combate. Las señales del GPS pueden representarse en un *display*, almacenarse en la memoria de un ordenador y generar información para la investigación, o si se quiere integrarse en un sistema inercial.

Un receptor *Collins* de dos canales después de 572 horas de pruebas en un helicóptero UH-60 *Black Hawk* obtuvo una exactitud promedio de 8 metros en horizontal y 9 en vertical.

Asociado con un sistema inercial el GPS de *Collins* puede mantener la exactitud en la navegación durante el período que se encuentre bajo los efectos de un interferidor.

Aunque los receptores GPS de *Collins* son razonablemente compactos (el modelo *standard* mide 19 X 19 X 37 cm), está trabajando en nuevas tecnologías para reducir el tamaño y el peso, y pronto pondrá en servicio un prototipo miniaturizado.

Además de *Collins*, otras importantes empresas tienen sus equipos en el mercado, citaremos a:

— *Sperry y Motorola* (EE.UU.)

Han lanzado conjuntamente el receptor GZ-810, que computariza la situación y la velocidad una vez por segundo. Las entradas a los mandos de vuelo son similares a los de otros sensores.

— *SEL* (Alemania)

Ha logrado alcanzar una exactitud de 10 metros con su receptor en el código C/A, y es uno de los participantes en el proyecto de receptor europeo.

— *RACAL* (Reino Unido)

Ha desarrollado un receptor con arquitectura digital muy avanzado. Con la utilización de una antena adaptativa, una antena orientable de seguimiento digital y una estrecha integración con otros sensores consigue unas buenas características anti perturbación.

— *Plessey*

En cooperación con *Magnavox* fabrica el receptor de dos canales PA-9050.

- *Smiths Industries y Polytechnis Electronis*  
El receptor GP6 PEL XR-1 de un solo canal (C/A solamente) y está desarrollando el XR-3, para el helicóptero EH-101.
- *Crouzet (Francia)*  
Prepara un receptor que funciona en conjunción con un inercial para su instalación en aviones y helicópteros.

Además de las ya citadas empresas, *Canada Marconi, King Radio, Texas Instruments, Tracor y Trimble Navigation* también están desarrollando sus propios receptores GPS.

## 2.8. Conclusiones.

En el año 2000 cuando con toda probabilidad el GPS esté totalmente operativo y comercializado, se convertirá en el único sistema de navegación radio civil en el mundo, desplazando a todos los demás que irán quedando obsoletos (con la excepción del GLONASS ruso si llega a entrar en servicio).

En la esfera militar la cuestión es diferente. El GPS es resistente a las perturbaciones convencionales, pero no es invulnerable, incluso los satélites en órbita pueden sufrir agresiones hostiles. Por lo tanto ni el bloque occidental ni el soviético podrán confiarse absolutamente a sus respectivos sistemas GPS y GLONASS.

Por tanto, la navegación militar marítima y aérea deberá fundamentarse en otros sistemas autónomos, exactos y discretos como los inerciales, giróscopos láser y de fibra óptica, aunque por supuesto los GPS se generalizarán en todo tipo de vehículos militares.

En último caso, todos los países del mundo, incluso EE.UU. y la URSS, no deberían olvidar los procedimientos tradicionales de navegación astronómica y de estima, lentos, imprecisos, pero que no fallan y dependen sólo de Dios.