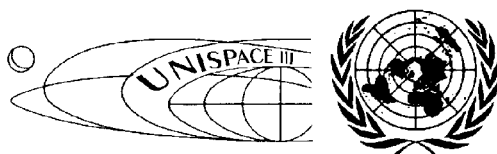


Distr. LIMITADA



A/CONF.184/BP/4
27 de mayo de 1998

ESPAÑOL
Original: INGLÉS

**TERCERA CONFERENCIA DE LAS NACIONES UNIDAS
SOBRE LA EXPLORACIÓN Y UTILIZACIÓN DEL ESPACIO ULTRATERRESTRE CON FINES PACÍFICOS**

SISTEMAS DE NAVEGACIÓN Y LOCALIZACIÓN POR SATÉLITE

Documento de antecedentes N° 4

Lista completa de los documentos de antecedentes:

1. La Tierra y su medio ambiente en el espacio
2. Actividades de predicción, alerta y acción paliativa en casos de desastre
3. Gestión de los recursos terrestres
4. Sistemas de navegación y localización por satélite
5. Las comunicaciones espaciales y sus aplicaciones
6. La ciencia espacial básica y las investigaciones sobre microgravedad y sus beneficios
7. Aspectos comerciales de la exploración del espacio, comprendidos los beneficios secundarios
8. Sistemas de información para investigación y aplicaciones
9. Misiones con pequeños satélites
10. Enseñanza y capacitación en materia de ciencia y tecnología espaciales
11. Beneficios económicos y sociales
12. Fomento de la cooperación internacional

ÍNDICE

	<i>Párrafos</i>	<i>Página</i>
PREFACIO		3
RESUMEN		4
I. BREVE HISTORIA DE LOS SISTEMAS DE RADIONAVEGACIÓN	1-3	4
II. PANORAMA GENERAL DE LA NAVEGACIÓN POR SATÉLITE	4 -36	5
A. Sistema Mundial de Determinación de la Posición	4-21	5
B. Sistema Mundial Diferencial de Determinación de la Posición	22-25	7
C. Sistema Orbital Mundial de Navegación por Satélites	26-32	8
D. Servicio Geoestacionario Complementario Europeo de Navegación	33-36	9
III. SISTEMAS CONEXOS	37-55	10
A. Sistema de búsqueda y salvamento	37-41	10
B. ARGOS	42-47	10
C. DORIS	48-50	11
D. Telemetría de láser por satélite	51-55	12
IV. APLICACIONES DEL SISTEMA MUNDIAL DE DETERMINACIÓN DE LA POSICIÓN	56-97	12
A. Aplicaciones en la aviación	57-58	13
B. Utilización marítima	59-60	13
C. Aplicaciones al transporte terrestre	61-64	13
D. Aplicaciones de cartografía geodesia y topografía (rastreo de fase de la portadora)	65-70	14
E. Aplicaciones a las ciencias de la Tierra	71-73	15
F. Aplicaciones meteorológicas y climáticas	74-77	15
G. Teleobservación y sondeos atmosféricos	78-80	16
H. Agricultura	81-83	16
I. Aplicaciones cronométricas y de telecomunicaciones	84-91	17
J. Utilización del GPS en naves espaciales	92-95	18
K. Prospección minera	96	19
L. Seguridad pública	97	19
V. BENEFICIOS ECONÓMICOS Y SOCIALES	98-104	19
A. Necesidades	98	19
B. Promoción de la cooperación internacional	99-101	20
C. Problemas y preocupaciones	102-104	20

PREFACIO

La Asamblea General, en su resolución 52/56, convino en que la Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Exploración y Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos (UNISPACE III) se celebrara en la Oficina de las Naciones Unidas en Viena del 19 al 30 de julio de 1999 como período extraordinario de sesiones de la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos, abierto a la participación de todos los Estados Miembros de las Naciones Unidas.

Los principales objetivos de UNISPACE III serán los siguientes:

- a) Fomentar medios eficaces de utilizar la tecnología espacial para contribuir a solucionar problemas de importancia regional o mundial;
- b) Fortalecer las capacidades de los Estados Miembros, en particular los países en desarrollo, para utilizar las aplicaciones de la investigación espacial con fines de desarrollo económico y cultural.

UNISPACE III también tendrá los siguientes objetivos:

- a) Brindar a los países en desarrollo oportunidades de definir sus necesidades de aplicaciones espaciales para fines de desarrollo;
- b) Examinar formas de acelerar la utilización de aplicaciones espaciales por los Estados Miembros para fomentar el desarrollo sostenible;
- c) Abordar las diversas cuestiones vinculadas con la enseñanza, la capacitación y la asistencia técnica en materia de ciencia y tecnología espaciales;
- d) Proporcionar un foro de suma utilidad para una evaluación crítica de las actividades espaciales y potenciar la sensibilidad entre el público en general en lo referente a los beneficios de la tecnología espacial;
- e) Fortalecer la cooperación internacional en el desarrollo y la utilización de la tecnología espacial y sus aplicaciones.

Como parte de los preparativos de UNISPACE III, la Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre de la Secretaría ha preparado una serie de documentos de antecedentes que brindan a los Estados Miembros participantes en la Conferencia, así como a las reuniones preparatorias regionales, información sobre la situación más reciente y las tendencias de la utilización de las tecnologías vinculadas con el espacio. Los documentos se han preparado basándose en las aportaciones de organizaciones internacionales, organismos espaciales y expertos de todo el mundo. Se ha publicado una serie de 12 documentos de antecedentes complementarios que deben consultarse en su conjunto.

Los Estados Miembros, las organizaciones internacionales y las industrias espaciales que tengan proyectado asistir a UNISPACE III deberían examinar el contenido del presente documento, en particular al decidir acerca de la composición de su delegación y al formular aportaciones a la labor de la Conferencia.

Para preparar el presente documento se han utilizado aportaciones de las siguientes organizaciones: Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), Organización Meteorológica Mundial (OMM), Agencia Espacial Europea (ESA), Organización Internacional de Telecomunicaciones Móviles por Satélite, Departamento del Espacio del Gobierno de la India, Organización de Investigación Espacial de la India (ISRO) y la Agencia Espacial Rusa.

Se reconoce con agradecimiento la ayuda prestada por M.J. Rycroft (Universidad Internacional del Espacio, Estrasburgo, Francia, y Universidad de Cambridge, Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte) en calidad de editor técnico de los documentos de antecedentes 1 a 10 (A/CONF.184/BP/1 a 10).

RESUMEN

El Sistema Mundial de Navegación por Satélite (GNSS) es un sistema de radiolocalización desde el espacio con una o más constelaciones de satélites que aumentan según las necesidades de apoyo a la operación prevista y con los que se suministra información tridimensional las 24 horas del día acerca de la posición, velocidad y hora a usuarios debidamente equipados en cualquier parte de la superficie, o cerca de la superficie, de la Tierra (y a veces lejos de ella). Los sistemas de navegación por satélite tienen dos elementos básicos, a saber: el Sistema Mundial de Determinación de la Posición (GPS) (explotado por los Estados Unidos de América) y el Sistema Orbital Mundial de Navegación por Satélites (GLONASS) (a cargo de la Federación de Rusia).

En la navegación por satélite se utilizan los satélites como punto de referencia para calcular la posición con un margen de error de sólo algunos metros. En las formas avanzadas de la navegación por satélite, la medición se puede hacer incluso con un margen de error de apenas algunos centímetros.

Las principales ventajas de la navegación y localización por satélite son económicas, además de un mejor servicio, sobre todo en el ramo de los transportes, pero no sólo en él. Frecuentemente surgen nuevas aplicaciones en una amplia variedad de sectores, a medida que la tecnología evoluciona. El futuro de la navegación por satélite es ilimitado.

Los receptores del GNSS se han miniaturizado hasta convertirse en tan sólo unos cuantos circuitos integrados y están empezando a ser muy económicos, lo que permite que prácticamente cualquiera tenga acceso a esa tecnología. La tecnología del GNSS se ha convertido en un recurso que supera con creces los objetivos de su diseño original. Actualmente, científicos, deportistas, agricultores, militares, pilotos, agrimensores, excursionistas, repartidores a domicilio, marinos, despachadores, leñadores, bomberos y profesionales de muchas más ramas utilizan el GNSS para que su labor resulte productivo, más seguro y a veces más fácil. El equipo del GPS se incorpora en automóviles, naves, aviones, equipos de construcción, aparatos para rodar películas, maquinaria agrícola e incluso computadoras portátiles. Pronto, la navegación por satélite se convertirá en una herramienta universal.

El mercado mundial de receptores del GNSS tiene actualmente un volumen de ventas de casi 2.000 millones de dólares de los Estados Unidos al año y se prevé que, con su rápido crecimiento, ascienda a 8.000 millones de dólares para el año 2000. De las estimaciones más prudentes sobre los mercados de servicios de valor añadido se desprende que aquellos serán por lo menos tan vastos como el mercado de receptores.

Tanto el GPS como el GLONASS se desarrollaron al principio con fines militares y todavía están sujetos al control militar de los Estados Unidos y la Federación de Rusia. Sin embargo, se ha ofrecido a los usuarios civiles la utilización gratuita de ambos sistemas militares de navegación por satélite. Actualmente, ninguno de los dos sistemas satisface las necesidades de todas las categorías de usuarios, en particular de la aviación civil, y es preciso mejorarlos mediante su ampliación; ya se ha iniciado la labor preparatoria con miras a un sistema complementario.

Si bien los sistemas existentes se pueden empezar ya a aplicar al desarrollo de un futuro sistema mundial de navegación por satélite, aún hay varios problemas políticos institucionales, jurídicos y económicos por resolver antes de que pueda desplegarse cualquier sistema nuevo.

I. BREVE HISTORIA DE LOS SISTEMAS DE RADIONAVEGACIÓN

1. La radionavegación se originó en el decenio de 1930. Los primeros sistemas se basaban simplemente en la capacidad de un receptor de radio, con una antena de cuadro, de determinar la dirección de llegada de una señal de radio y su ángulo de demora con el transmisor. Más adelante, varios sistemas de radionavegación se basaron en transmisores en tierra que enviaban señales moduladas que caracterizaban la dirección de la transmisión. Otros radiosistemas determinaban la dirección o la distancia del equipo de navegación a un transmisor fijo.

2. Ha habido también sistemas de navegación a gran distancia que medían la diferencia temporal entre las señales recibidas de pares sincronizados de transmisores en diferentes lugares o las diferencias entre las fases de transmisiones de onda continua provenientes de pares de transmisores.

3. Los transmisores de navegación en tierra utilizan una amplia gama de frecuencias. Las ondas de radio de baja frecuencia no son fáciles de modular y están sujetas a error debido a perturbaciones meteorológicas y de la ionosfera. Las radiotransmisiones de alta frecuencia se limitan a la distancia visual, de modo que se necesitan muchos transmisores en tierra y es imposible instalar transmisores en el mar. Sin embargo, un satélite es el lugar ideal donde instalar un transmisor de radionavegación, y una constelación de satélites, en órbitas apropiadas, puede abarcar toda la Tierra con sus señales de navegación. La primera vez que se usaron satélites para determinar la posición fue con un sistema llamado TRANSIT.

II. PANORAMA GENERAL DE LA NAVEGACIÓN POR SATÉLITE

A. Sistema Mundial de Determinación de la Posición

4. El GPS es el término más conocido con que se describen los sistemas de navegación por satélite; sin embargo, solamente es uno de los diversos elementos que integran el GNSS. En la navegación por satélite se utilizan los satélites como punto de referencia para calcular la posición con una precisión de algunos metros. Con técnicas avanzadas y las correspondientes ampliaciones, en la navegación por satélite se pueden hacer mediciones con un margen de error de apenas algunos centímetros.

5. Se ha logrado miniaturizar los receptores del GNSS de forma que ya constan de tan sólo unos cuantos circuitos integrados, por lo que prácticamente cualquiera puede tener acceso a esa tecnología. El equipo de GPS se instala ya en automóviles, naves, aviones, equipo de construcción, aparatos para rodar películas, maquinaria agrícola e, incluso, computadoras portátiles. Pronto, el GPS será un servicio universal.

6. La navegación por satélite es un sistema de radiolocalización desde el espacio con una o más constelaciones de satélites que aumentan según las necesidades de apoyo a la operación prevista y con los que se suministra información tridimensional las 24 horas del día acerca de la posición, velocidad y hora a usuarios debidamente equipados en cualquier parte de la superficie, o cerca de la superficie, de la Tierra (y a veces lejos de ella). Los sistemas de navegación por satélite suministran a los usuarios información suficientemente precisa y completa para emplearla en aplicaciones de navegación de importancia crítica. El GPS es el primer elemento básico de los sistemas de navegación por satélite que está a disposición de muchos usuarios civiles. GLONASS, el sistema ruso de navegación por satélite, que funciona de forma parecida, es otro elemento de la constelación de satélites del GNSS.

7. Esos sistemas entrañan la promesa de mejoras radicales en muchos otros sistemas que inciden en la vida de todo el mundo. Al combinar el GNSS con las técnicas actuales y futuras de cartografía informatizada se mejorará la localización y ordenación de los recursos naturales. Gracias a los sistemas inteligentes de localización de vehículos y navegación, los usuarios de automóviles y camiones podrán evitar las carreteras atascadas y encontrar rutas más eficientes hacia su destino, con lo cual se ahorrarán millones de dólares en combustible y se evitarán toneladas de aire contaminado. Los viajes a bordo de buques y aeronaves serán más seguros en todas las condiciones meteorológicas. Las empresas con muchas instalaciones externas (por ejemplo, los ferrocarriles y los servicios de utilidad pública) podrán administrar más eficientemente sus recursos y reducir los gastos del consumidor.

8. La cartografía y la geodesia de precisión son otras esferas en que se amplía el uso del GPS. Las empresas cartográficas y geodésicas utilizan mucho el GPS. Para la ordenación de la fauna silvestre, las especies en peligro de extinción reciben receptores y minúsculos transmisores del GPS para ayudar a determinar las modalidades en que se distribuye su población y las posibles fuentes de sus enfermedades.

9. Los globos con equipo del GPS vigilan los agujeros de la capa de ozono sobre las regiones polares y la calidad del aire se vigila con receptores del GNSS. Las boyas que rastrean importantes derrames de petróleo transmiten sus datos utilizando el GNSS. Los arqueólogos y exploradores utilizan también el sistema. El futuro del GNSS es ilimitado. Seguirán surgiendo nuevas aplicaciones a medida que evolucione la tecnología. Conforme siga disminuyendo el costo de los receptores del GNSS, cada vez más empresarios inventarán usos del sistema.

10. El GPS es un sistema de navegación por satélite desarrollado y explotado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Gracias al GPS, a los usuarios en tierra, mar y aire pueden determinar de manera tridimensional la posición, la velocidad y la hora. El servicio está a disposición de los usuarios militares y civiles las 24 horas del día, en todo tipo de condiciones meteorológicas y en todo el mundo.
11. En el GPS se utilizan satélites de navegación que suministran información sobre la hora y la distancia (NAVSTAR). La constelación actual consta de 21 satélites operacionales y tres satélites activos de repuesto. El GPS ya está plenamente en funcionamiento. Los satélites se encuentran en órbitas con períodos de aproximadamente 12 horas, a una altura de 20.200 kilómetros. La constelación orbital consta de seis planos orbitales, cada uno con una inclinación de aproximadamente 55 grados respecto al plano ecuatorial. Esa colocación asegura que en todo momento haya por lo menos cuatro (y como máximo 12) satélites por encima del horizonte, disponibles para mediciones simultáneas.
12. Por ello, los receptores del GPS pueden resolver instantáneamente cuatro ecuaciones para determinar la latitud, la longitud, la altura (por encima del nivel del mar) y la hora. El GPS no es solamente un instrumento para determinar la posición sino, probablemente, el mejor sistema disponible de medición del tiempo. Los relojes atómicos dentro de los satélites estabilizan las señales que se transmiten. Esas señales permiten determinar el tiempo de los usuarios con una precisión de una diezmillonésima de segundo.
13. El GPS procede por etapas muy lógicas; cada uno de los satélites en órbita emite a la Tierra una señal de radio continua, que recibe un receptor del GPS a fin de obtener las distancias midiendo la velocidad de las señales de radio. La velocidad se puede medir con suma exactitud gracias a cronómetros muy precisos que están a bordo de todos los satélites y las correcciones del resultado abarcan cualquier demora que la señal experimente al viajar a través de la ionosfera y la atmósfera.
14. La señal de los satélites del GPS contiene información que se utiliza para identificar el satélite, así como la posición, la hora, los datos de telemetría, la situación del satélite y la efeméride actualizada (parámetros orbitales). Los satélites se reconocen por la matrícula del vehículo espacial o un número de código elegido de manera pseudoazarosa.
15. Los satélites del GPS transmiten en dos frecuencias de la banda L: 1,57542 Ghz (L1) y 1,22760 Ghz (L2). La señal L1 tiene una secuencia codificada en la frecuencia portadora con una técnica de modulación que contiene dos códigos, uno de precisión (P) y otro de aproximación/adquisición (C/A). La portadora L2 contiene solamente un código P que se cifra para los usuarios militares y civiles autorizados. La mayor parte de los receptores GPS comercialmente disponibles utiliza la señal L1 y el código C/A.
16. Los usuarios del código P determinan instantáneamente su posición geocéntrica con un margen de error de aproximadamente 5 metros, mediante un solo receptor portátil de señales de satélite. Los militares han cifrado los códigos P alterando su fórmula matemática subyacente y solamente los usuarios autorizados saben en qué consiste ese cambio. Como consecuencia de ello, los usuarios civiles no pueden observar directamente los códigos P.
17. Los códigos C/A se repiten cada milisegundo y están a disposición de todos los usuarios. Esos códigos también se pueden utilizar para determinar la posición, pero su precisión sólo es de 20 a 30 metros. Los militares han provisto al sistema de otra característica: la disponibilidad selectiva. El efecto combinado de la disponibilidad selectiva, es decir, de la vibración de la señal de reloj y la adulteración del mensaje de navegación, degrada a 100-150 metros la precisión que obtienen los usuarios de un solo receptor. Se trata de una política oficialmente autorizada.
18. Actualmente, los militares financian y explotan todo el GPS, pero el sector civil ha impulsado muchos avances tecnológicos de la localización por GPS. Los usuarios civiles suelen tratar de lograr la más alta precisión de localización. Algunas técnicas se basan en dos estaciones que coobservan simultáneamente a los satélites del GPS y permiten lograr una precisión casi increíble de 1 cm en 10.000 kilómetros. Esa precisión se debe sobre todo al

interés científico en estudiar, por ejemplo, las deformaciones de la corteza terrestre y los movimientos de las placas tectónicas.

19. Si bien las técnicas estáticas del GPS con receptores estacionarios son muy útiles en muchos casos, el GPS funciona igualmente bien cuando un receptor o ambos están en movimiento, mediante las técnicas cinemáticas del GPS. Las aplicaciones de una localización cinemática precisa son ilimitadas.

20. El segmento de control del GPS consiste en un sistema mundial de estaciones de rastreo y vigilancia. Las estaciones de vigilancia miden las señales de los satélites del GPS y retransmiten la información a la estación maestra de control. La estación maestra de control utiliza los datos para calcular modelos orbitales precisos destinados a toda la constelación del GPS. Luego se formatea la información en mensajes de navegación actualizados para cada satélite.

21. El segmento para los usuarios consiste en los receptores, procesadores y antenas del GPS que se utilizan para localización y temporización. El receptor del usuario mide el tiempo en que el receptor recibe la señal. Cuando se conoce la distancia a cuatro puntos (los satélites) en el espacio, el receptor del GPS puede triangular una posición tridimensional (latitud, longitud y altura).

B. Sistema Mundial Diferencial de Determinación de la Posición

22. Se ha desarrollado un sistema para aumentar aún más la precisión del GPS. El GPS diferencial (DGPS) es el GPS con una señal de corrección adicional. En el DGPS se utiliza una estación de referencia en un punto conocido para calcular y corregir los errores sistemáticos. La estación de referencia calcula las correcciones de cada señal de los satélites y transmite esas correcciones al receptor remoto del GPS. Éste aplica las correcciones a cada satélite utilizado para calcular su posición.

23. El DGPS puede brindar mediciones con un margen de error de un par de metros en el caso de las aplicaciones móviles y con una precisión aun mayor en el de las estacionarias. Ese aumento de la precisión influye profundamente en la importancia del GPS como recurso. Con él, el GPS se convierte en algo más que simplemente un sistema para la navegación de buques y aviones en todo el mundo, pues pasa a ser un sistema universal de medición capaz de localizar objetos a una escala muy precisa.

24. El GPS diferencial en tiempo real utiliza una estación básica situada en un punto de control conocido donde se calcula continuamente la diferencia entre su posición conocida y la posición sobre la que se informa más o menos en cada segundo. Luego, se envía esa información de corrección a un radiotransmisor, que la transmite en una frecuencia de radiodifusión existente. El receptor GPS del usuario ha de tener un segundo receptor de radio que reciba la transmisión diferencial y corrija la posición registrada 1 ó 2 segundos antes. Debido a que los errores en el sistema, o explorador, no saltan simplemente al azar, sino que “desaparecen” paulatinamente de acuerdo con modalidades direccionales, los sistemas pueden determinar la posición en tiempo real con la precisión requerida de 2 a 5 metros.

25. El GPS de fase portadora es un segundo método de determinación de la posición, capaz de una precisión tal que el margen de error es de tan solo escasos centímetros, y es muy utilizado por topógrafos y expertos en geodesia a fin de establecer hitos topográficos y controles geodésicos precisos. Rastrea y registra las ondas radioeléctricas de 19 centímetros, que corresponden a la frecuencia portadora L1, transmitida desde los satélites. Los receptores son mucho más complejos y caros que los receptores manuales del GPS, basados en un código. Se coloca un receptor sobre un marcador geodésico conocido y el otro se instala donde se requiere el nuevo punto de control o marcador. Esta técnica se convierte rápidamente en el medio de realizar levantamientos de precisión centimétrica para varios fines prácticos y científicos, entre ellos la fotogrametría, controles de fototopografía aérea e incluso las mediciones de desplazamientos minúsculos de las placas tectónicas o las cúpulas de lava volcánica.

C. Sistema Orbital Mundial de Navegación por Satélites

26. El GLONASS tiene mucho en común con el GPS en cuanto a la constelación de los satélites, las órbitas y la estructura de las señales. En ambos sistemas se transmite señales de espectro ensanchado en dos frecuencias de la banda L (1,2 Ghz y 1,6 Ghz), y existe el compromiso de poner un conjunto parcial de señales a disposición de los civiles, sin ningún cobro a los usuarios por lo menos en los próximos 10 años. Los satélites del GLONASS se despliegan en tres planos orbitales. Los satélites del GPS transmiten en la misma frecuencia portadora, utilizando códigos ortogonales; los satélites del GLONASS transmiten el mismo código pero en distintas frecuencias.

27. A diferencia del GPS, el GLONASS no tiene una degradación deliberada de la señal para uso civil. Las diferencias en la calidad de las estimaciones de la posición que obtienen el GPS y el GLONASS se deben principalmente a esa imprecisión deliberada de las señales del GPS, conocida como disponibilidad selectiva. Al igual que el GPS, el GLONASS ofrece dos niveles de servicios. El Canal de Precisión Normal, disponible para todos los usuarios civiles, brinda una precisión horizontal de 60 metros y una precisión vertical de 75 metros en la determinación de la posición. El Canal de Alta Precisión solamente está a disposición de los usuarios autorizados.

28. El GLONASS aún está en proceso de desarrollo. En enero de 1996, por primera vez, el sistema tuvo en funcionamiento una constelación completa de 24 satélites. Ese año, asimismo, empezaron a aparecer en el mercado nuevos receptores del GLONASS. Sin embargo, no se lanzaron satélites en 1996 ó 1997 y, a comienzos de 1998, el número de satélites en funcionamiento en la constelación era de 13.

29. Un complejo control en tierra se encarga del funcionamiento de la constelación del GLONASS. Consiste en el centro de control del sistema (SCC) y varias estaciones de mando de rastreo (CTS), situadas en una zona muy extensa de la Federación de Rusia. Las CTS rastrean los satélites del GLONASS que están a la vista y acumulan datos de distancia y telemetría a partir de las señales de los satélites. La información de las CTS se procesa en el SCC para determinar los estados de reloj y de órbita del satélite, así como actualizar el mensaje de navegación de cada satélite. Esa información actualizada se transmite a los satélites por conducto de las CTS, que se utilizan también para transmitir información de control.

30. Los usuarios del GPS podrían obtener beneficios importantes de las señales adicionales de un GLONASS en funcionamiento. El principal beneficio consistiría en la robustez del sistema combinado, en el sentido de que no es probable que las pequeñas perturbaciones del GPS o el GLONASS tengan efectos graves para ningún usuario en particular. La fuente de esa ventaja es el aumento del número de satélites a la vista. Incluso en el supuesto conservador de que el GPS y el GLONASS mantengan cada uno una constelación de 21 satélites, todos los usuarios tienen la garantía de un mínimo de ocho satélites a la vista, sobre un ángulo de elevación de 7,5; el 99% de los usuarios de todo el mundo tiene la garantía de 10 satélites a la vista; y la mitad de los usuarios vería 14 satélites o más.

31. El GLONASS, de estar en funcionamiento, eliminaría una grave preocupación de los actuales usuarios del GPS relativa a un único punto crítico, desde el punto de vista técnico o el político. Ambos sistemas transmiten en diferentes frecuencias y brindan mayor inmunidad contra la interferencia, deliberada o accidental, de las radiofrecuencias. Esa inmunidad aumenta además por la diversidad de frecuencias de las señales del GLONASS. La consideración de la robustez es básica para la utilización de un sistema en cualquier operación ordinaria y continua, en particular si puede relacionarse con cuestiones de seguridad. La caracterización de la robustez puede adoptar la forma de la integridad de las estimaciones de la posición y de la continuidad y disponibilidad de los servicios del GNSS con arreglo a hipótesis cautas sobre las perturbaciones en el funcionamiento del sistema.

32. Para mejorar el rendimiento del GNSS, a fin de cumplir los requisitos de aplicaciones de seguridad críticas, actualmente se desarrollan varios aumentos en los satélites y en tierra. Un modo de aumentar la cobertura en grandes extensiones de terreno es utilizar los satélites, por ejemplo, en órbita geoestacionaria y transmitir a los usuarios mensajes de corrección diferencial o de integridad. Ese tipo de sistemas de aumento abarca el Servicio Geoestacionario Complementario Europeo de Navegación (EGNOS) (Unión Europea), el Sistema de Aumento de Zona Amplia (WAAS) (Estados Unidos) y el MSAS (Japón).

D. Servicio Geoestacionario Complementario Europeo de Navegación

33. Dadas las inversiones hechas por una gran variedad de usuarios y con el objetivo de desarrollar el uso de las señales de navegación, Europa ha decidido aplicar un GNSS inicial sobre la base de un aumento regional del GPS y el GLONASS, e iniciar paralelamente una labor preparatoria con miras a un sistema complementario.

34. La contribución europea al GNSS se basa en la utilización de cargas útiles de navegación en satélites geoestacionarios (dos Inmarsat-3 y Artemis de la Agencia Espacial Europea) y se conoce como EGNOS. Con el sistema EGNOS, en particular, se atenderán las necesidades de navegación de la aviación civil en todas las fases de vuelo, desde vuelo en ruta hasta la precisión en la aproximación hacia los aeropuertos y el aterrizaje.

35. Los satélites Inmarsat-3 están equipados con transpondedores de navegación para recibir, desde una estación en tierra, señales de navegación del GPS y el GLONASS que luego se transmiten a los usuarios. El conjunto para la navegación constará de cuatro servicios diferentes: i) vigilancia de la integridad; ii) aumento de la telemetría geoestacionaria; iii) correcciones diferenciales de zona amplia y iv) referencia temporal precisa. La Organización Internacional de Telecomunicaciones Móviles por Satélite (Inmarsat) se propone ofrecer una capacidad similar, pero mejorada, en materia de navegación en sus futuras generaciones de satélites.

36. Se prevé que la segunda generación del GNSS esté bajo control civil y se adecúe a las necesidades a largo plazo de las comunidades de usuarios civiles y al aumento del rendimiento de la navegación, y que siga manteniendo su compatibilidad con el GPS y el GLONASS. Desde un punto de vista técnico, la segunda generación del GNSS representará una importante mejora para los usuarios civiles. El sistema tendrá que diseñarse de modo tal que satisfaga las necesidades de los usuarios civiles en los años 2005 a 2020 y se prevé que aumente la demanda de integridad, precisión y disponibilidad mayores. El futuro GNSS tendrá que atender a las necesidades relacionadas con todos los medios de transporte por carretera, ferrocarril, mar o aire, así como las necesidades de los sistemas espaciales. Muy probablemente abarcará mejores medios de transmisión y se vinculará con las funciones complementarias de comunicaciones, que se requerirán para las aplicaciones telemáticas (información y predicción sobre el tráfico en las carreteras y sistemas de gestión de parque móvil) y la vigilancia dependiente automática para la gestión del tráfico aéreo. Para el GNSS-2, pueden tenerse en cuenta varias opciones: una constelación en órbita terrestre baja o en órbita media de la Tierra, con o sin el complemento de una órbita geoestacionaria de la Tierra. La segunda generación del GNSS puede introducirse como medio complementario de navegación en los años 2005 a 2010 y, ulteriormente, puede funcionar como medio principal de todas las fases de vuelo en los años 2010 a 2015. Desde un punto de vista institucional, el GNSS podría desarrollarse conjuntamente con algunos de los socios principales o con todos (en concreto, los Estados Unidos y la Federación de Rusia) o la Unión Europea, con carácter regional o mundial, lo podría desarrollar independientemente.

III. SISTEMAS CONEXOS

A. Sistema de búsqueda y salvamento

37. El Sistema Internacional de Satélites de Búsqueda y Salvamento (COSPAS-SARSAT) consiste en una constelación de satélites en órbita polar y una red de estaciones receptoras en tierra que alertan sobre situaciones de peligro e informan a las autoridades encargadas del salvamento de la posición de los usuarios marítimos, aéreos y terrestres en peligro.

38. El sistema COSPAS-SARSAT alerta sobre situaciones de peligro y suministra datos sobre la posición de los afectados a los centros de coordinación del salvamento, a radiobalizas de una frecuencia de 121,5 Mhz dentro de la zona de cobertura de las estaciones terrestres de COSPAS-SARSAT (terminales de usuarios locales) y a radiobalizas que funcionan a 406 Mhz y que pueden activarse en cualquier parte del mundo. Se puede lograr una cobertura completa de la Tierra, incluidas las regiones polares, utilizando simplemente radiobalizas de emergencia para emitir señales de socorro.

39. Hay tres tipos de radiobalizas, a saber, los transmisores de localización para casos de emergencia aérea, las radiobalizas que indican la posición en situaciones marítimas de emergencia y las radiobalizas localizadoras

personales. Las radiobalizas transmiten señales que detectan las naves espaciales de COSPAS-SARSAT en órbita polar equipadas con receptores apropiados. Las señales se retransmiten a los terminales de los usuarios locales de COSPAS-SARSAT, que las procesan para determinar la ubicación de las radiobalizas. Luego, desde un centro de control de la misión (CCM), las señales de socorro, junto con datos sobre la posición, se retransmiten ya sea a otro CCM o al punto de contacto apropiado de búsqueda y salvamento o centro de coordinación del salvamento.

40. La posición Doppler (que se obtiene utilizando el movimiento relativo entre las naves espaciales y las radiobalizas) es el medio empleado para ubicar esos instrumentos muy simples. La frecuencia portadora transmitida por la radiobaliza es razonablemente estable durante el período de visibilidad mutua entre la radiobaliza y el satélite. Las frecuencias que se utilizan actualmente son la frecuencia aeronáutica de emergencia de 121,5 Mhz, asignada también a las radiobalizas de socorro, y las frecuencias en la banda de 406,0-406,1 Mhz, exclusivamente reservada para las radiobalizas de socorro que funcionan con sistemas por satélite.

41. Desde 1982, el sistema se ha utilizado en más de 2.000 casos de búsqueda y salvamento y ha permitido salvar más de 7.000 vidas en todo el mundo. Actualmente, COSPAS-SARSAT estudia la posibilidad de utilizar un satélite de búsqueda y salvamento en órbita geoestacionaria de la Tierra (GEOSAR) como posible mejoramiento del sistema existente de órbita polar. En los últimos años, los participantes en COSPAS-SARSAT han experimentado con cargas útiles de 406 Mhz en satélites geoestacionarios, junto con estaciones experimentales en tierra. Esos experimentos han mostrado la posibilidad de alertas casi inmediatas con identidad en 406 Mhz. COSPAS-SARSAT ha desarrollado un plan de demostración y evaluación del GEOSAR.

B. ARGOS

42. ARGOS es un sistema de localización y reunión de datos por satélite para vigilar y proteger el medio ambiente. ARGOS localiza cualquier plataforma equipada con un transmisor apropiado, en cualquier parte del mundo, con un margen de error de 150 a 1.000 metros. Se pueden reunir también datos de sensores conectados con el transmisor. Más de 5.000 transmisores ARGOS funcionan actualmente en todo el mundo. El sistema ARGOS funciona desde 1978. Se estableció en virtud de un acuerdo entre la Administración Nacional del Océano y la Atmósfera (NOAA) y la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA), ambas de los Estados Unidos, y el Centre National d'Études Spatiales (CNES) de Francia.

43. El sistema, para cumplir su misión, utiliza recursos en tierra y en satélites. Los recursos abarcan instrumentos a bordo de los satélites ambientales operacionales en órbita polar de la NOAA, estaciones receptoras en todo el mundo y grandes instalaciones de procesamiento en los Estados Unidos y Francia. El sistema, plenamente integrado, localiza adecuadamente y transmite datos de las plataformas más remotas a las computadoras de los usuarios, frecuentemente en tiempo casi real.

44. ARGOS es fácil de usar. Un transmisor empieza a enviar señales tan pronto como se lo enciende. Uno de los satélites del sistema reúne los datos y los retransmite a los centros de ARGOS para su procesamiento. El acceso a los datos es igualmente fácil. Los resultados pueden recuperarse desde cualquier parte del mundo mediante redes públicas de datos, frecuentemente a los 20 minutos de su transmisión.

45. Otra característica interesante del sistema ARGOS son sus transmisores pequeños: la corriente eléctrica diaria media requerida es de apenas unos cuantos miliamperios; los modelos miniaturizados pueden ser tan compactos como una pequeña caja de fósforos y pesar apenas 20 gramos. Debido a esas características, ARGOS puede utilizarse para rastrear pequeños animales.

46. ARGOS se utiliza para reunir datos y localizar muchas aplicaciones destinadas a proteger el medio ambiente, incluidos el rastreo de flotas pesqueras en todo el mundo, la vigilancia del movimiento de material peligroso en sí o en potencia, la vigilancia de oleoductos y gasoductos para detectar fugas o roturas en los sistemas de protección, la vigilancia de los vertidos de petróleo o su predicción y la vigilancia de otros tipos de contaminación.

47. La India ha utilizado las plataformas de su propio Sistema Nacional de Satélites (INSAT) para obtener datos meteorológicos de lugares remotos desprovistos de vigilancia, instalando para ello un transpondedor de retransmisión de datos a bordo de sus satélites geoestacionarios. Recientemente, la utilización de plataformas de reunión de datos se ha ampliado también para vigilar los niveles de inundación de algunos de los principales ríos del país.

C. DORIS

48. El sistema DORIS (Francia) abarca un conjunto de instrumentos a bordo, una red de radiobalizas y un centro de control y elaboración de datos para realizar su doble misión de restituir la órbita de las naves espaciales y localizar las radiobalizas en tierra. Se basa en la medición precisa del efecto Doppler sobre las señales de radiofrecuencia emitidas por las balizas en tierra y recibidas a bordo de las naves espaciales. Las mediciones se hacen en dos frecuencias, 2036,25 Mhz para medir en forma precisa el efecto Doppler y 401,25 Mhz en el caso de la corrección ionosférica. La frecuencia de 401,25 MHz se utiliza también para mediciones del tiempo y transmitir datos auxiliares.

49. La selección de un sistema de enlace ascendente permite un funcionamiento plenamente automatizado de las radiobalizas, así como fáciles enlaces de comunicación con el sistema general, ya que los datos se centralizan mediante el satélite y su segmento en tierra en el centro de elaboración de datos DORIS. DORIS vuela actualmente a bordo de los satélites de observación de la Tierra SPOT-2 y SPOT-3, así como del satélite oceanográfico TOPEX, y se prevé que vuele a bordo de SPOT-4 en 1998 y de los satélites complementarios ENVISAT, SPOT-5 y TOPEX.

50. Todas las misiones DORIS comparten el segmento en tierra. Las radiobalizas de determinación de órbita se despliegan en una densa red a nivel mundial. Para la misión de localización de DORIS, se dispone concretamente de radiobalizas de localización en tierra, que se instalan según las diferentes necesidades de los usuarios. Están destinadas a usarse sobre el terreno y están equipadas con su propia fuente de energía eléctrica.

D. Telemetría de láser por satélite

51. La telemetría de láser por satélite (SLR) es una técnica para medir la distancia entre una estación de rayos láser en la Tierra y un satélite en órbita equipado con espejos especiales (retroreflectores) con un margen de error de menos de 1 centímetro. Cuando múltiples estaciones láser están distribuidas a nivel mundial y reúnen datos de un mismo satélite, la posición precisa del satélite puede determinarse junto con la posición de las estaciones láser. Esa técnica se llama determinación precisa de la órbita. Al rastrear satélites durante varios años, no solamente se puede calcular la distancia entre las estaciones láser con un margen de error de unos cuantos milímetros, sino que también la tasa de movimiento entre los haces láser se puede vigilar con la misma precisión. Los datos de la SLR también se utilizan en muchas otras aplicaciones científicas, incluidos los estudios del sistema de la Tierra, la atmósfera y los océanos, la geofísica y la transferencia de patrones de tiempo entre los continentes.

52. La precisión de las mediciones depende del sistema de rastreo con láser y el complejo de retroreflectores del satélite y puede tener un margen de error de 1 a 3 milímetros como en el caso del Satélite Geodinámico Láser (LAGEOS). Esa precisión se logra mediante la compresión estadística de los datos.

53. Las aplicaciones de los datos de la SLR obtenidos de satélites geodésicos abarcan la detección y vigilancia de los movimientos de las placas tectónicas, las deformaciones de la corteza terrestre, la rotación y el movimiento polar de la Tierra; la elaboración de modelos de las variaciones espaciales y temporales del campo gravitacional de la Tierra; la determinación de las mareas oceánicas a nivel de las cuencas; la vigilancia de las variaciones milimétricas en la ubicación del centro de la masa del sistema total de la Tierra (la Tierra firme/la atmósfera/los océanos); el establecimiento y mantenimiento del sistema internacional de referencia terrestre; la detección y vigilancia de la recuperación y el asentamiento posglaciales del suelo; y la vigilancia de la respuesta de la atmósfera a las variaciones estacionales en el calor solar.

54. Los datos de la SLR obtenidos de satélites de teleobservación, combinados con los datos de varias otras técnicas de rastreo, brindarán mapas topográficos precisos de las cuencas oceánicas. Gracias a esos datos, se podrán

realizar estudios cuantitativos de los cambios en las corrientes oceánicas, que son muy importantes para comprender el cambio climático a nivel mundial. Los datos de la SLR también se usarán para calibrar los altímetros radáricos a bordo de las naves espaciales. Además, la SLR ha resultado un medio rentable de brindar duplicación a prueba de fallos a los sistemas espaciales de rastreo radiométrico como el GPS, DORIS y el dispositivo de precisión de medición de la distancia y de la velocidad radial (PRARE).

55. Los datos de la SLR obtenidos de satélites localizadores se utilizan para mejorar la precisión de la red internacional de servicio del GPS y las transferencias de tiempo entre los satélites del GPS y el GLONASS, así como los receptores del GPS y el GLONASS.

IV. APLICACIONES DEL SISTEMA MUNDIAL DE DETERMINACIÓN DE LA POSICIÓN

56. La primera y más evidente aplicación del GPS es la simple determinación de la posición, o localización. El GPS es el primer sistema de determinación de la posición que ofrece datos de localización muy precisos en cualquier punto del planeta y en todo tipo de condiciones meteorológicas. Eso bastaría para que fuera considerado como servicio de gran utilidad pública, pero su precisión y la inspiración de sus usuarios están llevándolo a esferas sorprendentes.

A. Aplicaciones en la aviación

57. El GNSS es un elemento importante del sistema de comunicaciones, navegación, vigilancia y gestión del tráfico aéreo de la OACI, que brinda cobertura mundial en materia de navegación en apoyo de todas las fases de vuelo. Con sistemas apropiados de aumento, el GNSS permitirá a las aeronaves debidamente equipadas navegar de embarcadero a embarcadero y funcionar en todo tipo de tiempo. La plena aplicación del GNSS ofrecerá la posibilidad de dismantelar los sistemas aeronáuticos terrestres existentes, en parte o en su totalidad.

58. Al brindar instrumentos de navegación y sistemas de aterrizaje más precisos, el GNSS no sólo aumenta la seguridad de los vuelos, sino también su eficiencia. Con una navegación precisa entre puntos fijos, el GNSS permite ahorrar combustible y aumenta el radio de acción de las aeronaves, asegurando así que los pilotos no se aparten de la ruta más directa a su destino. La precisión del GNSS permitirá también reducir la separación entre aeronaves en las rutas más directas, lo cual a su vez significará un uso más eficiente del espacio aéreo. La Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos trata activamente de utilizar radiobalizas del DGPS en la navegación en ruta, la aproximación y aterrizaje de precisión, así como para levantar mapas de la ubicación precisa de los aviones en tierra, mientras ruedan hacia las pistas o salen de ellas.

B. Utilización marítima

59. En general, los marinos usan el GPS para la navegación o la localización, aunque recientemente se ha aplicado también a la vigilancia. El GPS y el DGPS se utilizan para suministrar información precisa de localización que se integra con otras tecnologías de determinación de la posición, comunicación e informática.

60. El Servicio de Guardacostas de los Estados Unidos está instalando un DGPS marítimo en tiempo real. Consta de una serie de estaciones básicas del DGPS que transmiten en un sistema de radiobalizas marítimas de aproximación existentes. Hay planes para establecer una serie completa de 45 radiobalizas del DGPS de la misma índole en todos los Estados Unidos. Un sistema operacional de radiobalizas del DGPS ya se utiliza en Escandinavia y se están instalando varios más, algunos con bandas laterales de radio en FM para transmitir los datos, lo cual evita la necesidad de radiobalizas especializadas.

C. Aplicaciones al transporte terrestre

61. Muchas aplicaciones del GPS en la esfera automotriz se enmarcan en la descripción de los sistemas inteligentes de transporte (ITS). Los programas de los ITS están destinados a lo siguiente: i) mejorar la seguridad

de los viajeros; ii) mejorar la eficiencia de los viajes al reducir los atascos; iii) ahorrar energía al reducir el consumo de gasolina; y iv) paliar el impacto ambiental de los viajes.

62. Las aplicaciones de navegación de automóviles ayudan a los conductores a tomar decisiones más eficientes sobre la ruta por la que han de optar. Algunos fabricantes de automóviles ofrecen como opción en los nuevos vehículos mapas móviles guiados por receptores GPS. Esos monitores pueden desmontar y llevarse a casa para planear un viaje.

63. Una tendencia relativamente reciente es la utilización del GPS en relación con teléfonos celulares instalados en los autos para localizar automáticamente los que se han visto envueltos en un accidente. Con ese sistema, una microcomputadora vigila el sistema de bolsas de aire instalado en los nuevos autos. La computadora, si detecta que la bolsa se ha inflado, llama a un centro de servicios mediante el teléfono celular del auto y le comunica la más reciente ubicación conocida del vehículo según lo haya determinado el receptor del GPS. Luego, el centro de servicios transmite la información a los servicios locales de emergencia para que presten ayuda.

64. Muchas empresas tienen grandes parques de vehículos. Dos de los problemas vinculados con su mantenimiento consisten en conocer la posición y el estado material de cualquier vehículo. Los sistemas de rastreo de parques móviles intentan resolver ambas cuestiones. Un sistema de ese tipo consiste en lo siguiente:

a) Un dispositivo localizador de vehículos. En algunos sistemas, los receptores del GPS realizan esa función. Se pueden utilizar otros sistemas, como el Loran. Hay sistemas como el servicio Omnitrac que utilizan sistemas de marca registrada de localización por satélite, que suministra Qualcomm;

b) Un aparato de comunicaciones montado en el vehículo. El vehículo que se rastrea debe poder transmitir su ubicación por algún medio al centro de control del parque. Algunos sistemas nacionales de gestión de parques móviles utilizan redes de datos obtenidos por satélite de bajo régimen binario. Otros utilizan alguna forma de telefonía celular. Los parques situados en zonas pequeñas y geográficamente contiguas pueden recurrir a radiotransmisores-receptores de VHF o UHF. El módulo de comunicaciones puede tener otros componentes que permitan vigilar la condición del vehículo y transmitir breves mensajes a su conductor o recibirlos de él;

c) Una red de comunicaciones. Los datos que se transmiten desde el vehículo pueden retransmitirse a la administración del parque móvil por uno de varios medios. Los sistemas patentados de comunicaciones por satélite pueden requerir que se alquilen líneas de datos compatibles del proveedor de los servicios por satélite. Los sistemas de rastreo con teléfonos celulares pueden depender de los sistemas telefónicos públicos. Los sistemas de radio de VHF y UHF utilizados por la policía, los bomberos y las ambulancias pueden utilizar redes de datos de propiedad municipal o mantenidos por los ayuntamientos o, posiblemente, la radiotransmisión de paquetes;

d) Un sistema de información computadorizado. La información sobre la ubicación y condición del vehículo se transmite a un sistema informatizado. El sistema puede estar diseñado para vigilar el vehículo en forma autónoma y alertar al administrador del parque en caso de anomalías.

D. Aplicaciones de cartografía geodesia y topografía (rastreo de fase de la portadora)

65. La utilización del GPS para levantar mapas y hacer estudios topográficos permite ahorrar tiempo y dinero con esta aplicación, la más exigente de todas. Actualmente, el equipo del GPS permite que un solo topógrafo realice en un día la labor que antes le tomaba varias semanas a todo un grupo. Además, la labor puede completarse con un nivel de precisión mayor que nunca.

66. Durante cientos de años, los topógrafos se han basado en instrumentos ópticos y aparatos de medición física. Los instrumentos ópticos (y los instrumentos de medición electrónica a distancia más recientes) requieren una línea de mira directa hasta el objetivo. Las cintas o cadenas para medir requieren que los topógrafos crucen a pie todo el terreno en cuestión para medir la distancia entre dos puntos. La gran ventaja del GPS es que no se tiene que establecer una línea de mira entre dos estaciones. En consecuencia, el estudio puede realizarse con cualquier tiempo

o en las faldas opuestas de una montaña. Otra ventaja es que la precisión de los datos obtenidos no depende tanto como antes de la habilidad de quien utiliza el instrumento.

67. Como no hay que establecer una línea de mira entre las estaciones del GPS, se pueden hacer grandes economías en proyectos voluminosos en los que participan numerosos equipos de topógrafos en una extensión limitada. Se puede instalar un solo receptor del GPS como estación de referencia, que puede servir para muchos topógrafos, dedicado cada uno a una tarea distinta. Ello contrasta con el material topográfico convencional, con el cual por lo menos dos personas deben realizar una misma tarea (una a cada extremo).

68. El rastreo de fase de la portadora de las señales del GPS ha desatado una revolución en la topografía. Ya no es necesaria una línea de mira a lo largo del terreno para determinar la posición en forma precisa. Se puede medir la posición a 30 kilómetros de un punto de referencia, sin puntos intermedios. Ese uso del GPS requiere receptores de rastreo de la portadora especialmente equipados.

69. Las señales de las portadoras L1 ó L2 se utilizan en la topografía de fase de portadora. Los ciclos de portadora L1 tienen una longitud de onda de 19 centímetros. Las señales de portadora, si se rastrean y miden, pueden brindar mediciones de telemetría con un margen de error relativo de sólo algunos milímetros, en circunstancias especiales.

70. El rastreo de las señales de la fase de portadora no aporta información acerca del momento de la transmisión. Las señales de portadora, si bien se modulan con códigos binarios que llevan asignado un intervalo de tiempo, no lo indican de manera que se distinga un ciclo de otro. Las mediciones utilizadas en el rastreo de la fase de portadora son las diferencias entre los ciclos de la fase de portadora y las fracciones de ciclos en el curso del tiempo. Por lo menos dos receptores rastrean las señales de portadora al mismo tiempo. Las diferencias en el retraso ionosférico en ambos receptores deben ser suficientemente pequeñas para asegurar que los ciclos de la fase de portadora se tengan debidamente en cuenta. Ello requiere en general que ambos receptores estén aproximadamente a 30 kilómetros el uno del otro.

E. Aplicaciones a las ciencias de la Tierra

71. Un objetivo común de las ciencias de la Tierra es comprender procesos dinámicos y, frecuentemente, complejos. Si bien con algunas investigaciones de las ciencias de la Tierra se tiene el objetivo de obtener un registro preciso del pasado, el GPS brinda una oportunidad única de medir procesos terráqueos en curso en diversos entornos. La evolución de las ciencias de la Tierra que ha permitido el GPS en el último decenio ha sido enorme.

72. El objetivo inicial de los especialistas en ciencias de la Tierra fue utilizar el GPS para ensayar modelos de la cinemática tectónica que se podían predecir con el paradigma tectónico de las placas. Las predicciones se basaban en la interpretación del magnetismo marino, los rastros de “puntos calientes” y los mecanismos focales de los terremotos, y en ellas se basa gran parte de las investigaciones geocientíficas actuales. Los estudios cinemáticos de las placas con el GPS permitieron observaciones detalladas de sus movimientos y confirmaron los modelos geológicos, a la vez que los ampliaron a regiones donde eran débiles las limitaciones de los datos geológicos.

73. Los esfuerzos de los especialistas en ciencias de la Tierra se centran actualmente en la utilización de una resolución mejorada, disponible del GPS, para documentar fenómenos cada vez más complejos en los sistemas de la Tierra. Muchos objetivos científicos actuales no se hubieran podido alcanzar en los comienzos de los estudios con el GPS. Los problemas que se estudian abarcan las variaciones de la tensión en todo el ciclo de los terremotos, los procesos volcánicos, la dinámica glacial y el cambio del nivel del mar, además de la geodesia de los fondos marinos.

F. Aplicaciones meteorológicas y climáticas

74. El GPS ha hecho una gran contribución a los aspectos meteorológicos y climáticos de la vigilancia del medio ambiente y tiene vastas posibilidades de contribuir mucho más. En la esfera de la meteorología operacional, ya se ha convertido en el principal sistema de localización para globos sonda y, en consecuencia, para medir la altura de

los globos y obtener información sobre la velocidad del viento. Los receptores del GPS en tierra pueden estimar el total del agua precipitable en la columna encima del receptor y, en consecuencia, el total del calor latente disponible.

75. Los receptores basados en satélites pueden medir perfiles verticales de temperatura de 5 a 40 kilómetros o más, utilizando el llamado método de radio-ocultación, por el cual la refracción de la señal del GPS a través del limbo atmosférico se determina dos veces por órbita del receptor para cada satélite del GPS. Con ello se pueden obtener hasta 500 perfiles al día, distribuidos de manera uniforme en toda la Tierra, y, en consecuencia, ofrece la alentadora perspectiva de una cobertura mundial completa espaciotemporal desde una constelación de receptores utilizados junto con un subconjunto del actual, y costoso, sistema de radiosondas. Esa aplicación espacial del GPS se ha llamado GPS/MET y la investigación continua ampliará su capacidad más allá de los actuales resultados, ya muy prometedores.

76. El GPS/MET también hará una importante contribución a la vigilancia del clima porque puede brindar mediciones a largo plazo, precisas y coherentes de las temperaturas medias a escala regional y mundial, lo cual es muy difícil de hacer desde sensores terrestres, cuando no imposible. Las mediciones de las temperaturas estratosféricas contribuirán a la comprensión del problema de la capa de ozono, en particular con respecto a predecir la formación de nubes estratosféricas polares en condiciones de frío extremado. Los datos del sondeo del limbo con el GPS pueden también ser útiles para estudiar las ondas de gravedad que transportan energía y cantidad de movimiento por toda la mesosfera, contribuyendo así más a las investigaciones sobre el cambio mundial.

77. En la esfera de la reunión de datos, el sistema ARGOS de los satélites meteorológicos de órbita polar y la capacidad de retransmitir datos de los satélites geoestacionarios son indispensables para reunir y localizar datos ambientales para una variedad de aplicaciones desde plataformas fijas y móviles en todo el mundo.

G. Teleobservación y sondeos atmosféricos

78. La señal del GPS es sensible al índice de refracción de la atmósfera. Ese índice depende de la presión, la temperatura y la humedad. Por ello, el GPS se puede utilizar para detectar las propiedades de la atmósfera. Ya que pequeñas cantidades de vapor de agua atmosférico afectan considerablemente a la velocidad de propagación de la señal del GPS, este sistema está particularmente bien dotado para detectar el vapor de agua atmosférico, que desempeña un papel importante en procesos atmosféricos que abarcan desde el cambio climático mundial hasta la micrometeorología.

79. Si bien con el GPS se han desarrollado técnicas de observación atmosférica que permiten lograr más precisión en los estudios verticales, la investigación futura del uso del GPS para vigilar el vapor de agua atmosférico puede beneficiar asimismo a las ciencias de la Tierra firme. Se desarrollan ya estaciones permanentes del GPS para vigilar el clima, que potenciarán las actuales redes de estudio de la deformación de la corteza terrestre y un mayor conocimiento del vapor de agua atmosférico quizá produzca otras mejoras de los estudios con el GPS. Los datos de las estaciones atmosféricas se darán a conocer para determinar con alta precisión las órbitas del GPS y quizá se brinden órbitas más precisas al GPS.

80. Las técnicas cinemáticas del GPS pueden utilizarse para localizar con precisión aeronaves en vuelo. Si la posición del avión y, lo que es aún más importante, su aceleración vertical e inclinación pueden comprobarse con el GPS, las mediciones gravimétricas desde el aire pueden corregirse en relación con las aceleraciones no gravitacionales. Cuando sea posible corregir las aeromediciones gravimétricas en el aire hasta 1 miligal con una resolución de 1 kilómetro, los datos gravimétricos aéreos se convertirán en una herramienta muy útil y potente para la investigación científica y la exploración de los recursos naturales.

H. Agricultura

81. Recientemente, gracias al GPS, los agricultores han logrado acceder a la tecnología concretamente destinada a un determinado lugar. El GPS puede localizar maquinaria agrícola con un margen de error de 1 metro con respecto a su ubicación real. La utilidad práctica de conocer la ubicación precisa con un margen de error de unos cuantos

centímetros es la siguiente: la ubicación de las muestras del suelo y los resultados de laboratorio pueden compararse con un mapa edafológico; se puede prescribir el uso de fertilizantes y plaguicidas para tener en cuenta las propiedades (arcilla y contenido de materia orgánica) así como las condiciones (relieve y drenaje) de los suelos; se pueden hacer ajustes en la labranza según varíen las condiciones sobre el terreno; y se pueden vigilar y registrar los datos sobre el rendimiento de los campos.

82. Un mapa computadorizado del suelo de un determinado campo en una computadora instalada en un tractor y conectada con el GPS puede indicar a los agricultores en qué parte del campo están y permitirles ajustar la velocidad de siembra mientras lo recorren. Utilizando el GPS junto con un mapa digital del drenaje, los agricultores pueden aplicar plaguicidas de manera más segura. Los pulverizadores pueden programarse previamente para que se apaguen automáticamente cuando se alcance una determinada distancia o una determinada zona de drenaje. Además, los agricultores pueden programar previamente la cantidad de plaguicidas o fertilizantes que han de aplicar, de modo que sólo se dispense la cantidad requerida, determinada por las condiciones del suelo; esa cantidad puede variar de una zona a otra de los campos, lo que permite ahorrar dinero y utilizar el material en forma más segura.

83. El uso del GPS para ajustar la maquinaria a diferentes tipos de suelo significará un mayor rendimiento y una producción más segura, a un costo más bajo. Esta parte de la agricultura de precisión aún está en sus inicios. En un futuro próximo, las empresas especializadas anunciarán aperos de labranza conectados con el GPS y algunos sistemas de mando destinados a la agricultura de precisión.

I. Aplicaciones cronométricas y de telecomunicaciones

84. Como marcador universal, la hora indica cuándo ha ocurrido u ocurrirá algo. Como modo de sincronizar a las personas, los acontecimientos e incluso otros tipos de señales, la hora ayuda a mantener ordenado el mundo. Además, como modo de indicar cuánto durará algo, la hora brinda una medición precisa e inequívoca de la duración de las cosas.

85. Los satélites del GPS llevan a bordo relojes atómicos sumamente precisos. Para que el sistema funcione, los receptores del GPS en tierra se sincronizan con esos relojes, lo que significa que, en esencia, todo receptor del GPS es un reloj atómico preciso. Los astrónomos, las empresas de energía eléctrica, las redes de computadoras, los sistemas de comunicaciones, los bancos y las estaciones de radio y televisión pueden beneficiarse de esa capacidad de determinar la hora en forma precisa.

86. Dado que el método de seudotelemetría que utiliza el GPS para determinar la posición en forma tridimensional exige un patrón de tiempo sumamente preciso, el sistema se adecúa de modo ideal a las aplicaciones que requieren temporización de precisión y transferencias de tiempo precisas. Las mediciones de seudotelemetría del GPS se basan en el tiempo de transmisión de una señal del satélite del GPS al usuario. En consecuencia, si se conoce la posición tanto del satélite como del observador, la diferencia entre el tiempo indicado en el reloj del usuario y el indicado en el satélite puede determinarse fácilmente.

87. Los especialistas en transferencias de tiempo fueron de los primeros en darse cuenta de los beneficios del GPS, ya que no se requiere toda una constelación de satélites para la mayor parte de los métodos de transferencia del tiempo. El método más preciso de transferencia del tiempo que se conoce hasta la fecha, conocido como visión conjunta del GPS, se basa en la capacidad de dos usuarios en la Tierra de observar el mismo satélite del GPS de manera simultánea, a pesar de su gran separación geográfica. La visión conjunta del GPS se utiliza actualmente en los 55 centros internacionales de determinación de la hora que realizan la tarea de mantener en todo el mundo la hora atómica internacional y la hora universal coordinada (UTC).

88. Muchas empresas de telecomunicaciones utilizan también cada vez más el GPS para sincronizar sus redes de telecomunicaciones digitales en tierra. Muy a menudo, esos usuarios comparan directamente un reloj de referencia con la hora del GPS, observando uno o más satélites, en lugar de transferir la hora de un reloj de referencia a otro.

89. La determinación precisa del tiempo por el GPS también puede mejorar significativamente las comunicaciones con teléfonos celulares. Actualmente, la mayor parte de las redes de teléfonos celulares está sujeta a una degradación de la transmisión cuando una llamada se transfiere de un canal de célula a otro; el problema se eliminaría si todas las células de una red utilizaran el mismo canal. Ello puede lograrse asignando a cada célula un código único en vez de una frecuencia única, con la utilización de una técnica conocida como acceso múltiple por división de códigos (AMDC). Los principales fabricantes de AMDC han reconocido que el GPS es un medio eficaz de brindar la sincronización temporal precisa requerida por su sistema. Para esta aplicación basta una precisión temporal similar a la requerida para las redes digitales.

90. Las señales celulares también están sujetas a las condiciones locales en cada célula, como las meteorológicas o de la geometría terrestre, condiciones que pueden variar de célula a célula. Si se instalan en el receptor móvil medios del GPS de determinar la posición y se transmite información sobre la posición al centro móvil de control y operaciones del sistema móvil, las operaciones de control de la red pueden determinar la posición del usuario y la dirección de su desplazamiento. Cuando se dispone de esa información, quien controla la red puede realizar transferencias óptimas, así como optimizar el rendimiento dinámico en tiempo real en cada posición. Sin embargo, cuando se trate de células pequeñas y de forma irregular, o cuando se intente levantar un mapa de las señales y las características de propagación en una zona compleja, como un “cañón urbano”, puede requerirse una precisión con un margen de error de unos cuantos metros, en tres dimensiones.

91. En el futuro, quizá muchos servicios de información requieran información sobre “la hora actual” con un grado mucho más alto de precisión que los servicios típicos de hoy en día. Los servicios universales de comunicaciones personales y las redes digitales de servicios integrados de banda ancha pueden requerir esa información a fin de que haya una interfaz con varios tipos diferentes de sistemas de comunicaciones que transmiten gran cantidad de información en forma digital. Probablemente se requerirá una precisión temporal de 100 a 300 nanosegundos con respecto a la UTC.

J. Utilización del GPS en naves espaciales

92. Ya se empieza a aplicar el GPS a la navegación y el control de naves espaciales, que entraña la posibilidad de ahorrar gastos en naves espaciales y operaciones de misiones, en sistemas gubernamentales y comerciales de naves espaciales. Actualmente se ensaya o utiliza el GPS en varias aplicaciones en naves espaciales, incluidas la determinación de la órbita y la orientación, la localización del lanzamiento y la reentrada de los vehículos, la determinación de su trayectoria y la sincronización de la hora.

93. La utilización del GPS para determinar en tiempo real los parámetros orbitales brinda un medio económico de determinar muy precisamente la órbita de una nave espacial. Un receptor del GPS adecuadamente diseñado y equipado para el espacio puede reemplazar a varios sensores convencionales para la determinación de la posición orbital de las naves espaciales, reduciendo así el peso y el costo y, en algunos casos, eliminando el requisito de estaciones en tierra, en todo el mundo, para rastrear las posiciones orbitales. Además, en algunos casos, los parámetros orbitales determinados con el GPS pueden colocarse en un sistema informatizado y de propulsión para el control a bordo, a fin de permitir un mantenimiento autónomo de la estación. Ello eliminaría o reduciría la necesidad de que el personal de operaciones de las misiones controlara la posición en órbita de una nave espacial desde la Tierra.

94. En los últimos años, varios fabricantes de receptores GPS han empezado a colaborar con los fabricantes de naves espaciales para diseñar receptores GPS destinados a utilizarse como sensores de actitud a bordo de las naves espaciales. La determinación de la orientación a bordo es un requisito de prácticamente toda nave espacial moderna y la mayor parte de ellas requiere también un sistema de control automático de la actitud. La serie tradicional de sensores utilizada para determinar la actitud abarca desde los magnetómetros y sensores del horizonte, cuyo costo es relativamente bajo, hasta giroscopios precisos, sensores del Sol y rastreadores de estrellas. El GPS puede resultar un complemento o incluso una alternativa, rentable con respecto a muchos de esos sistemas existentes.

95. El GPS también se aplica a los vehículos de lanzamiento espacial como sensor en el sistema de navegación de los vehículos y, además, suministra información sobre la posición a los controladores en tierra con fines de seguridad en el lanzamiento. La mayor parte de los rastreos de seguridad en el lanzamiento se realiza actualmente con un sistema costoso y complicado de radares de rastreo en tierra y equipo conexas. Los datos sobre la trayectoria derivados del GPS podrían ser más eficaces en función de los costos.

K. Prospección minera

96. El GPS se utiliza mucho en la actualidad en la prospección minera aérea, que permite mediciones a una altura de 100 metros o menos con un espaciamiento estrecho de unas cuantas docenas de metros entre vuelos sucesivos, mediante complejas técnicas de medición electromagnéticas, magnéticas y de gravedad. Es necesario determinar en forma precisa la trayectoria de vuelo para evaluar la magnitud, profundidad y ubicación de los yacimientos de minerales a lo largo de la vía elegida.

L. Seguridad pública

97. Si el GPS se utiliza conjuntamente con enlaces de comunicaciones y computadoras, puede constituir la base de sistemas destinados a aplicaciones tales como los servicios urbanos de reparto, la seguridad pública y el rastreo de navíos y vehículos. Por ello, los departamentos de policía, bomberos y ambulancias adoptan el GPS para localizar las situaciones de emergencia y los vehículos de respuesta más cercanos en un mapa computadorizado. Con una clara imagen visual de la situación, los despachadores pueden reaccionar de inmediato y con seguridad. El GPS ayuda a salvar vidas humanas.

V. BENEFICIOS ECONÓMICOS Y SOCIALES

A. Necesidades

98. La comunidad mundial debería desempeñar un papel activo en los servicios de navegación y localización por satélite, participando en el desarrollo y la explotación de un sistema mundial que satisfaga las necesidades de todos los usuarios civiles. Hay tres razones para ello:

a) *Sociales y económicas.* El posible mercado de las señales de navegación es enorme e, incluso si el transporte aéreo genera actualmente la mayor parte del interés en la navegación por satélite, otros sectores, en particular el transporte terrestre, la gestión del tráfico y la agricultura, representarán la mayor parte de los ingresos a corto y mediano plazo. Entre las ventajas de un sistema mundial de navegación por satélite están la simplificación por el uso de un sistema único que pueda atender a todas las necesidades de los usuarios y funcione a nivel mundial las 24 horas del día. Un sistema en el espacio también permitirá mediciones más precisas de la posición y la velocidad, lo cual, a su vez, reducirá el tiempo de espera, economizará combustible, mejorará la protección ambiental y reducirá el número de accidentes;

b) *Industriales.* Ya que la duración de los satélites es limitada, los segmentos espaciales deben mantenerse y actualizarse continuamente. Los segmentos en tierra deben ampliarse para brindar mayor cobertura geográfica y mejorar los servicios. La industria debe encargarse de ambas cosas. Los nuevos servicios derivados de la utilización de las señales de navegación abarcan las aplicaciones de transportes, la agricultura de precisión, la seguridad pública, las geociencias y las actividades de esparcimiento. El mercado de los receptores GPS, que actualmente se evalúa en más de 2.000 millones de dólares, aumentará a 8.000 ó 9.000 millones de dólares para el año 2000 y a 50.000 millones de dólares para el año 2005. Según se prevé, la cuota de las aplicaciones será de un 92% en el caso de las terrestres (sobre todo, navegación de automóviles y aplicaciones para los consumidores/celulares), un 4,5% en el caso de las aeronáuticas, un 2% en el caso de las marítimas y un 1,5% en el de las militares;

c) *Regulatorias*. La certificación de un sistema espacial plantea nuevos retos a los reguladores, en particular los encargados de los servicios relacionados con la seguridad de las vidas humanas. Las autoridades competentes deben adoptar una decisión acerca de su política de certificación para el futuro GNSS.

B. Promoción de la cooperación internacional

99. La navegación por satélite, por su índole, se presta a la cooperación regional y mundial. En efecto, es esencial un amplio grado de cooperación para que un sistema multimodal de radionavegación y localización por satélite funcione sin huecos en todo el mundo. La transición de varios sistemas en tierra y en el espacio a un sistema común de navegación por satélite requerirá un alto grado de cooperación entre las autoridades civiles internacionales, los gobiernos y los representantes de la industria.

100. Los posibles planes para el desarrollo del GNSS-2 abarcan lo siguiente: el desarrollo independiente de un sistema mundial por un solo país o entidad (como en la actualidad); el desarrollo conjunto con algunos de los principales socios o con todos ellos (los Estados Unidos, la Federación de Rusia, la India, el Japón, y la Unión Europea), o el desarrollo independiente de varios sistemas regionales que interactúen entre sí, con posibilidades de crecer hasta convertirse en un sistema mundial. Muchos Estados están interesados en el desarrollo de las tecnologías del GNSS. En un esfuerzo por ampliar a nivel internacional los beneficios del GPS y hacer progresos con miras a la aplicación del GPSS, algunas organizaciones han ayudado muy activamente a otras con respecto a la aplicación del GPS y sus respectivos aumentos.

101. Enmarcar el GPS y el GLONASS en los desarrollos actuales (y futuros en el caso del GNSS) a nivel mundial de aplicaciones requerirá mucha habilidad y coordinación. Los Estados Miembros empiezan a observar los beneficios que se derivan del aumento del GPS y adoptan las medidas apropiadas para desarrollar una capacidad similar a nivel nacional y regional.

C. Problemas y preocupaciones

102. En los próximos años, la comunidad internacional debe esforzarse mancomunadamente si ha de hacerse realidad, sin huecos, un sistema de navegación mundial basado en el aumento del GPS y el GLONASS. A largo plazo, se requerirán nuevos marcos para la legislación, los reglamentos, la certificación, la normalización y la recuperación de los gastos.

103. Es probable que las organizaciones internacionales y los diversos países deseen hacer vigilar en forma independiente los aumentos del GPS que realicen. Esa vigilancia puede enmarcarse en acuerdos internacionales o regionales.

104. Aunque se comprenden y aceptan los beneficios de la navegación por satélite, existe la preocupación de que no todas las clases de usuarios (aéreo, marítimo, transporte por carretera, ferrocarriles, etc.) puedan lograr que se tengan en cuenta sus necesidades en el diseño de la segunda generación del sistema. Otra gran preocupación es cómo dividir equitativamente entre los diferentes usuarios el costo de la construcción y el funcionamiento del sistema.