

ESTATUS Y CARACTERÍSTICAS

# Posicionamiento GNSS

Actualmente, los receptores GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) tienen decenas – e incluso cientos – de canales, que les permiten realizar un seguimiento de señales GPS, Glonass, Galileo y Compass simultáneamente. El rastreo de las señales satelitales para el cálculo de las coordenadas de la posición en un sistema de referencia seleccionado puede ser efectuado automáticamente en tiempo real. Desde que los primeros receptores GPS salieron al mercado comercial en 1982, el precio de estos dispositivos ha disminuido constantemente a través del tiempo. En relación con los resultados de la encuesta más reciente de productos GNSS (disponible en [www.geo-matching.com](http://www.geo-matching.com)), el autor presenta las características de los receptores GNSS disponibles y su proyección futura.

Para el 2020, habrá cuatro sistemas GNSS completamente operativos con cobertura mundial: el europeo Galileo y el chino Beidou (Compass) que se han unido al estadounidense GPS, que desde julio de 1995 está plenamente operativo, y luego el ruso Glonass que ha sido finalizado

y entró en pleno funcionamiento en Octubre de 2011. Mientras tanto, en India y Japón están trabajando en la operación de constelaciones GNSS regionales. El sistema indio consistirá en siete satélites que operarán hasta 2.000 km en torno a las fronteras del subcontinente y que permitirá el posicionamiento con una precisión superior a 20 m. Por otra parte, Japón está trabajando en el Sistema Quasi-Zenith por Satélite (QZSS) diseñado para superar los errores de posicionamiento, producidos por señales GNSS alteradas por edificios en altura en ciudades o por montañas empinadas. Los satélites QZSS circularán en una órbita cercana al zenit sobre Japón, lo cual incrementará el número de satélites GNSS en la línea visible en las inmediaciones de Japón (Figura 1). El primer satélite, Michibiki, fue lanzado el 11 de

## ENCUESTA DE PRODUCTO PARA RECEPTORES GNSS

Conjuntamente con este artículo sobre el estatus y las características de los GNSS, la encuesta de producto más reciente para receptores GNSS se encuentra disponible en [www.geo-matching.com](http://www.geo-matching.com).

septiembre de 2010. Una vez finalizada esta operación, la constelación estará formada por tres satélites.

## GALILEO Y BEIDOU

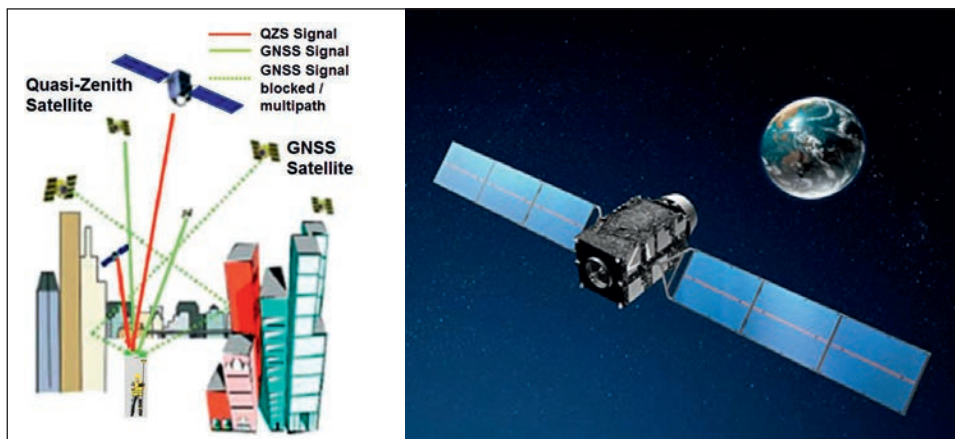
El 28 de diciembre de 2005, el satélite Giove A de Galileo fue puesto en órbita, seguido el 27 de abril de 2008 por el Giove B. El 21 de octubre de 2011, dos satélites de Capacidad Operativa Inicial (IOC) comenzaron a funcionar y, en el momento de redactar este



**Mathias Lemmens** tiene un Ir. (MSc) licenciatura en geodesia y recibió su doctorado en la Universidad Tecnológica de Delft, Holanda, donde actualmente se desempeña como profesor asistente. Trabaja como consultor internacional centrado en los países emergentes y en desarrollo. Fue editor en jefe de

*GIM International* durante 10 años y ahora contribuye como editor senior.

✉ [m.j.p.m.lemmens@tudelft.nl](mailto:m.j.p.m.lemmens@tudelft.nl)



▲ *Figura 1, En conjunto con los sistemas GNSS con cobertura global, los satélites QZSS circularán en una órbita cercana al zenit que permitirá un posicionamiento más preciso y más fiable en corredores urbanos de Japón (fuente: Jaxa, modificada).*



▼ *Figura 2, Una vista de la tarjeta AsteRx3 OEM (fuente: Septentrio).*



documento (a mediados de septiembre de 2012), el segundo par de satélites Galileo se estaba preparando para su lanzamiento en octubre de 2012. Estos cuatro satélites de validación en órbita han sido diseñados para evaluar el desempeño del sistema, tanto para el espacio como en tierra. La constelación completa constará de 30 satélites (27 operativos y 3 activos de repuestos). Desde el año 2000 al 2007, China lanzó cuatro satélites de navegación, llamados BeiDou-1. A diferencia de sus predecesores, el quinto satélite – lanzado el 12 de abril 2007 - no fue posicionado en una órbita geoestacionaria a 35.800 kilómetros de la superficie de la tierra, sino que orbita en círculos a una altitud de 21.500 km. En el 2009, esta constelación Beidou-2 o Compass se extendió con un segundo satélite; en el 2010 cinco satélites más fueron incorporados, seguidos posteriormente por otros tres en 2011, dando como resultado que Compass desde diciembre 2011 cubre la región del Asia Pacífico. Por lo tanto, China cuenta con un sistema GNSS que abarca su territorio con 13 satélites en órbita. La constelación completa -se espera que finalice en 2020- estará integrada

por cinco satélites geoestacionarios y de órbita-mediana, previstos para uso civil y gubernamental de China/ propósito militar. El servicio gratuito para civiles tendrá una precisión de 10 m; inferior a la disponible para los usuarios autorizados.

**PROGRAMA DE MODERNIZACIÓN DE GPS**

El programa de modernización de GPS en EE.UU., tiene como propósito mejorar los servicios para los usuarios civiles. Para reducir los efectos de los errores introducidos por retrasos ionosféricos, un receptor tiene que recoger al menos dos señales emitidas a diferentes frecuencias. Debido a que la ionosfera influye sobre las señales en función de sus frecuencias, sus efectos pueden ser removidos a través de la medición de dos o más señales portadoras. En contraste, los retrasos troposféricos y los errores orbitales tienen el mismo efecto sobre todas las señales portadoras, independientemente de sus frecuencias. Para la constelación GPS de EE.UU., estas señales son L1 y L2; pero solamente el código C/A transmitido por la portadora L1 es accesible a usuarios civiles. El programa de modernización añade

una segunda señal de uso civil – la señal L2C. El primer satélite GPS emitido con L2C se lanzó el 26 de septiembre de 2005 como parte de la serie de satélites IIR (M) (la M significa “modernizado”). Para rastrear L2C es necesario un receptor de frecuencia doble. Los beneficios irán aumentando gradualmente a medida que más satélites sean puestos en órbita; desde junio de 2012, siete IIR (M) están en funcionamiento. En 2016, la capacidad completa de L2C se alcanzará con 24 satélites que emitirán la señal L2C. Para apoyar el sector de transporte en términos de Servicio para Aplicaciones Críticas (Safety-of-Life: SoL), eficiencia de combustible y capacidad, una tercera señal de uso civil ha sido desarrollada: L5, la cual tiene una señal dos veces más potente que la de L1 y L2C, permitiendo una mejor penetración a través de árboles y otros objetos que puedan bloquear las señales GNSS. L5 es transmitida por los satélites IIF, el primero de éstos fue lanzado en mayo de 2010. En junio de 2012, dos satélites IIF quedaron operacionales y para el 2018 los 24 satélites de la

constelación estarán emitiendo la señal L5. Además de L1, L5 y L2C, GPS se ampliará con una cuarta señal de uso civil, L1C, a partir de 2014. L1C mejorará la recepción bajo las copas de los árboles y en corredores urbanos, lo que permite un posicionamiento más preciso. L1C logrará plena capacidad en 2021.

### GLONASS

En el año 2010 los satélites Glonass cubrían todo el territorio de Rusia y en octubre 2011 esta constelación fue aumentada con otros cuatro satélites, recuperando sus 24 satélites. La falta de apoyo económico ha dado lugar a que la constelación – ya que ésta inicialmente se concluyó en 1997 – disminuyera hasta dejar sólo ocho satélites en órbita en abril de 2002. Una cobertura global completa podría haber sido restituida a principios de 2011 con el lanzamiento de los satélites Glonass-M el 5 de diciembre de 2010. Sin embargo, el lanzamiento del cohete cayó en el Océano Pacífico. Lograr una cobertura global completa es una cosa, pero estimular el uso del sistema por los ciudadanos del mundo requiere mayor esfuerzo. Como una forma de apoyar a los fabricantes rusos de dispositivos de navegación portátiles, fomentando a la vez la compatibilidad Glonass, las autoridades de Rusia están considerando introducir «incentivos financieros, mediante el cobro de impuestos a la importación de todos los dispositivos portátiles capaces de captar señales GNSS, incluidos los teléfonos inteligentes y los sistemas de navegación para automóviles; a menos que estos puedan procesar señales Glonass». La medida ha sido motivo de discusión durante algún tiempo, con un impuesto de 25% sugerido nuevamente, a mediados de 2010. Muchas empresas ya fabrican receptores GNSS o OEM (ver recuadro) que son capaces de rastrear señales Glonass. Septentrio, por ejemplo, ofrece el multi-GNSS AsteRx3 (ver Figura 2), que tiene 136 canales y puede simultáneamente hacer un seguimiento de las señales

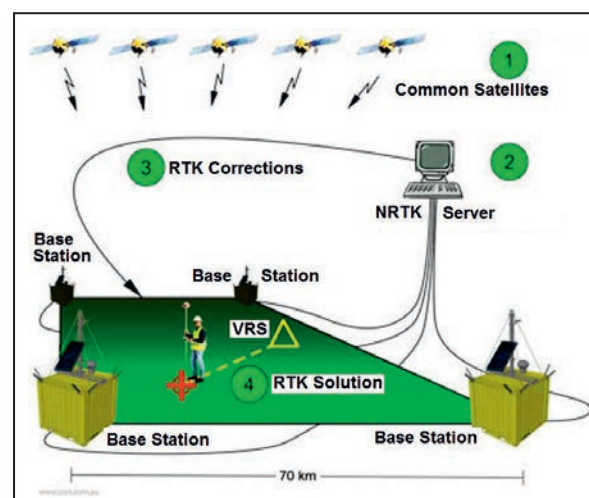
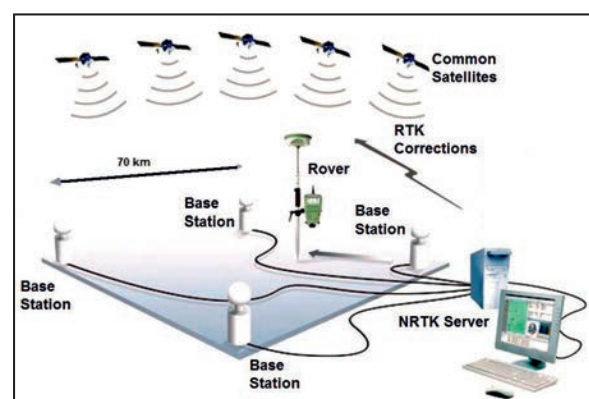
GPS, Glonass y Galileo, además está listo también para Compass. El Quattro-G3D de Javad, por mencionar sólo uno de los muchos productos GNSS, tiene 216 canales y puede hacer un seguimiento de las señales GPS L1/L2/L2C, Galileo E1 y GLONASS L1/L2. El receptor DGNSS C-Nav 3050 tiene 66 canales y rastrea señales GPS, Glonass y Galileo; combinado con una suscripción al servicio de aumentación, provee una precisión decimétrica en todo el mundo para cualquier punto ubicado entre los paralelos 72°N y 72°S (en el aire, sobre tierra firme o en el mar). Hoy en día, prácticamente todos los fabricantes de dispositivos GNSS (Ashtech, CHC, Hemisphere, Hi-Target, Leica, Novatel, Sur, Stonex, Suzhou, Topcon y Trimble, entre otros) producen receptores de alta calidad, capaces de rastrear las señales Glonass.

### DGNSS Y RTK

El seguimiento de las señales L1, L2C, L5 y otras, es solamente una de las características técnicas necesarias de los receptores GNSS para lograr el objetivo de posicionamiento «preciso y confiable». Se puede estar usando un receptor altamente sofisticado, pero si el dispositivo tiene que operar en un entorno con una infraestructura poco desarrollada, esto puede afectar significativamente obteniéndose

### OEM

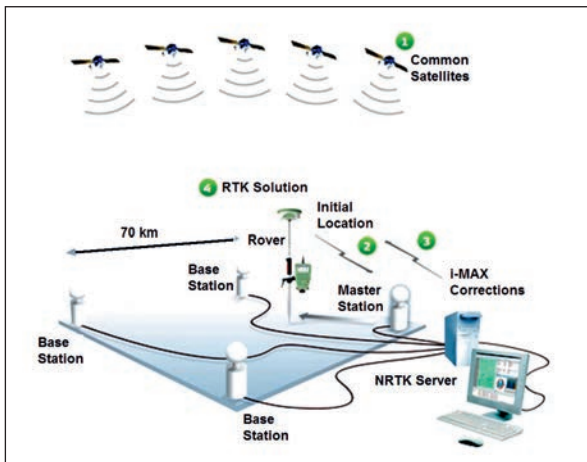
El término Fabricante de Equipos Originales (OEM) indica que los productos pueden ser utilizados por otras empresas o fabricantes, que los incorporan como bienes propios, ofreciéndolos al mercado bajo su propia marca. El uso de productos OEM también ha tenido cabida en la producción de receptores GNSS, antenas y servicios. Algunos fabricantes, como Leica y Trimble, utilizan componentes OEM en los receptores –como el BD960 que es capaz de realizar el seguimiento de las señales GPS L2C y L5 y GLONASS L1/L2 – antenas y software disponibles en el mercado, además los receptores GNSS son destinados a usuarios altamente exigentes. Otros productores como Hemisphere GPS, Novatel y Septentrio están enfocados en proveer OEM a clientes de una amplia gama de industrias; incluyendo transporte, construcción, minería, agricultura y militares, con el fin de añadir la funcionalidad de posicionamiento a los barcos petroleros, camiones, maquinaria vial (pavimentación, buldozer, palas de carga), maquinaria agrícola (sembradoras, segadoras), aviones de combate y muchos otros vehículos.



un desempeño inferior, al igual que un auto de carreras costoso que transita por un terreno fangoso y montañoso. La mejora de la precisión y confiabilidad para los usuarios del GNSS requiere del funcionamiento de sistemas de aumentación por

▲ Figura 3, Principio de la Red RTK (fuente: Leica Geosystems, modificada).

▲ Figura 4, Concepto RTK VRS (fuente: Globalcors, modificada).



▲ Figura 5, La interrelación entre el servidor y el móvil utilizando el concepto i-MAX (fuente: Leica Geosystems, modificada).

separado. Por esto, las empresas como Leica, Trimble y C-Nav no ofrecen sólo el hardware y el software de procesamiento, sino también soluciones para eliminar los errores introducidos por los retrasos ionosféricos y troposféricos, por el reloj del receptor y de las órbitas de satélite para permitir la precisión al decímetro o incluso nivel por (sub) centímetro combinado con una alta fiabilidad y repetibilidad. Las soluciones se originan utilizando un receptor GNSS adicional, denominado estación de base, ubicado directamente en un punto con coordenadas conocidas. A continuación, estas coordenadas conocidas son comparadas con aquellas determinadas con el receptor GNSS ubicado en la estación de base. Cuando las distorsiones atmosféricas y otras fuentes de error son prácticamente las mismas en la estación de base y la posición móvil -esto será así, si la ubicación de la estación de base y del móvil no están demasiado distantes- las correcciones calculadas para la base también serán válidas para el móvil. En cuanto más próximas estén las dos, es decir, cuando las condiciones atmosféricas sean más similares (y por lo tanto las distorsiones), mejor se ajustarán las correcciones. Tales correcciones diferenciales (DGNS) en tiempo real pueden ser transmitidas al equipo móvil por radio-enlace, telefonía móvil o internet inalámbrico, habilitando la determinación

instantánea de la posición. Cuando se utiliza sólo el código ranging (pseudodistancia), la precisión de DGNS es de alrededor de 30 cm a 50 cm. Cuando las medidas de la fase de la portadora se añaden al código ranging -Real Time Kinematic (RTK)-Posicionamiento Cinemática en Tiempo Real- se puede lograr el nivel de precisión sub-centímetro. Hoy en día, RTK es ampliamente utilizado para topografía y otros trabajos de posicionamiento preciso. En una estación de base RTK única, se supone que los errores tienen alta correlación espacial y por lo tanto son constantes alrededor de la estación de base. Sin embargo, cuanto mayor es la distancia a la base, esta suposición es menos cierta. La distancia máxima entre el móvil y la estación de base se fija convencionalmente a 15 km, debido a que mayor distancia la calidad se degrada rápidamente.

#### RED RTK

En muchos lugares, los topógrafos en sí no necesitan configurar una estación de base ni invertir en dos receptores GNSS geodésicos; ya que las agencias públicas y las empresas privadas han implementado redes de receptores GNSS ubicados en distintos puntos de referencia. Estas redes de Estaciones de Referencia de Operación Continua (CORS) están disponibles durante las 24 horas todos los días y permiten el uso de un solo receptor sin comprometer la precisión y fiabilidad. Una falla temporal del enlace de comunicación del receptor GNSS con una estación de base no afecta la continuidad del trabajo; ya que las otras estaciones de base aún están en funcionamiento. Hoy en día, <<las Redes RTK (NRTK) son infraestructuras GNSS esenciales para el posicionamiento de nivel-centimétrico>>, que se obtiene cuando las estaciones de base están entre 70 km y 100 km, no más, de distancia. Los beneficios anteriores tienen un costo: a menudo se necesita una suscripción de pago para acceder a correcciones NRTK. Como un ejemplo, Leica Geosystems ofrece

una suscripción anual a SmartNet NRTK de aproximadamente US\$2.400. Sin embargo, las redes manejadas por agencias públicas, como el Sistema de Guardia Costera de EE.UU., son usualmente ofrecidas de forma gratuita, particularmente para propósitos de navegación. Diversos servicios comerciales generan correcciones RTK basados en diferentes conceptos, incluyendo Estación de Referencia Virtual (VRS), Estación de Pseudo-Referencia (PRS), FKP (acrónimo del término alemán *FlächenKorrekturParameter* que significa parámetros de corrección por área), y Correcciones de Maestro-Auxiliar (MAC) y su refinamiento MAX e i-MAX. VRS y MAC son los dos métodos más predominantes.

#### VRS Y MAC

Básicamente, NRTK funciona de la siguiente manera (Figura 3): estaciones de base y equipos móviles usan las señales GNSS provenientes de aquellos satélites comunes a ambas observaciones (mismo satélite) y en el mismo lapso de tiempo. La observación principal es la fase de la portadora, las ambigüedades entre las estaciones de base tienen que ser resueltas en un servidor de red. A continuación, el receptor móvil toma las correcciones para modificar sus propias observaciones o envía su localización inicial al servidor que transmitirá las correcciones al móvil (concepto VRS). El método VRS crea una estación de base virtual en el entorno de la ubicación inicial del móvil, por lo que las correcciones son calculadas utilizando la información de toda la red, que consta de al menos tres estaciones de base (Figura 4). Estas correcciones se transmiten al móvil, el cual requiere una comunicación bidireccional. Sin embargo, el móvil no tiene que llevar a cabo cálculos complejos y utiliza las correcciones como si se hubieran originado a partir de una estación de base real. En el método MAC, el móvil tiene mucha más flexibilidad en la determinación de la solución RTK; ya que puede utilizar una interpolación



simple de las correcciones de red o realizar cálculos más exactos. En principio, el método MAC sólo tiene una vía de comunicación; por lo que el móvil simplemente tiene que recoger aquellos datos de corrección calculados y difundidos por el servidor de red. Para reducir el volumen de datos, la información completa de las correcciones y de las coordenadas se envían solamente a una estación de base -la estación maestra- mientras que las diferencias de corrección y las diferencias de coordenadas son transmitidas por las estaciones auxiliares. La estación maestra no es necesariamente la estación de base más cercana al móvil (aunque este aspecto se encuentra en perfeccionamiento) por lo que este método se denomina correcciones maestro-auxiliares (MAX). Las estaciones auxiliares son escogidas entre las estaciones de base circundantes, de forma que se puede generar una solución óptima dada la posición aproximada al móvil. Por lo tanto, MAX necesita una comunicación bidireccional. Otra modalidad de solución NRTK ha sido desarrollada para aquellos móviles más antiguos que no son capaces de utilizar los mensajes RTCM 3.1, llamada corrección MAX individualizada (i-MAX). RTCM (Comisión Técnica de Radio para Servicios Marítimos) es un estándar para la transmisión de datos de correcciones en tiempo real a los receptores GNSS móviles. El método i-MAX es similar al VRS en la medida en que ambos usan una estación maestra, pero i-MAX genera correcciones desde una estación de referencia real en lugar de una virtual (Figura 5). El servicio comercial NRTK provisto por Leica -SmartNet- está basado en el método MAC. En cambio, Trimble apoya el establecimiento de NRTK sobre la base de VRS.

#### SBAS

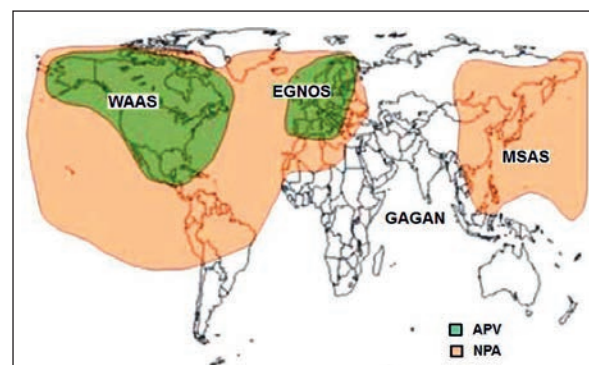
Además de brindar conectividad para comunicaciones terrestres, los satélites se utilizan para entregar

correcciones diferenciales a los receptores GNSS. La implementación de este tipo de prestaciones a través de satélites geoestacionarios se denomina Sistemas de Aumentación Basado en Satélites (SBAS), capaces de enviar correcciones derivadas de las observaciones realizadas por las estaciones de base.

Por lo cual, las correcciones son enviadas a uno o más satélites, para ser transmitidas a los receptores habilitados. El acceso a un SBAS disponible, permite lograr una precisión sub-métrica en el posicionamiento en tiempo real. Un sistema de estas características, desarrollado inicialmente para fines de navegación aérea, es el denominado WAAS (Sistema de Aumentación de Área Amplia), cuya red consiste en alrededor de 25 estaciones de base distribuidas a lo largo de EE.UU, y las correcciones se emiten a dos satélites geoestacionarios para su distribución. Por su parte, Europa ha desarrollado el Sistema Europeo de Navegación por Complemento Geoestacionario (EGNOS) con una red de 34 estaciones de base y enlaces de comunicación a través de tres satélites geoestacionarios. En el continente asiático particularmente para Japón se encuentra disponible el Sistema de Aumentación basado en Satélite Multifuncional (MSAS) y en India se está implementando el Sistema de Navegación Aumentado Geoestacionario Asistido por GPS (GAGAN) como parte del Sistema de Demostración de Tecnología (TDS). Las iniciativas anteriores son financiadas con fondos públicos, la Figura 6 indica su cobertura. El OmniSTAR ofrecido por Fugro sirve para diversas aplicaciones en alta mar y terrestre, y el sistema StarFire de John Deere dirigido a la agricultura de precisión, ambos servicios comerciales de tipo SBAS.

#### PERSPECTIVA

Las personas pasan entre 80% a 90% de su tiempo en espacios interiores, donde las señales GNSS son



demasiado débiles para ser captadas por los receptores. En respuesta, una extensiva investigación está en curso para desarrollar sistemas de posicionamiento GNSS usando balizas cercanas o distantes para proporcionar conectividad en todos los rincones de los conglomerados urbanos. Las distancias o ángulos de los receptores a las balizas son usadas como cantidades de medición, lo que permite el cálculo de la posición estimada a través de técnicas como la triangulación o trilateración. El futuro del posicionamiento se ve brillante, si no fuera por la «masificación del uso del rango de frecuencias del espectro electromagnético correspondientes a las microondas» (en longitudes de onda de 1 cm a 1 m), mientras que las frecuencias cercanas al rango utilizado por los GNSS están fuertemente sobrecargadas. Por consiguiente, las demandas e intereses son enormes, y podría existir una inminente guerra de frecuencia. ◀

▲ *Figura 6, La cobertura de los diversos servicios SBAS: APV y NPA son clasificaciones de navegación aérea, las áreas NPA (Aproximación de No Precisión) utilizan guía lateral, pero no incluyen guía vertical; descenso no estabilizado, mientras que las áreas de APV tienen guía vertical.*

#### PARA MAYOR INFORMACIÓN

- Janssen, V., 2009, Una Comparación de los Principios de VRS y MAC para Red RTK, Simposio IGNSS, Queensland, Australia.
- Lemmens, M., 2011, Geo-información: Tecnologías, Aplicaciones y Medio Ambiente, Capítulo 4, Springer, ISBN 978-94-007-1666-7