Mitma expandirá sus capacidades en geodesia espacial con la construcción de una estación de telemetría láser a satélites en el Observatorio de Yebes, Guadalajara



Estación NGSLR (Next Generation SLR) del Observatorio Geofísico y Astronómico Goddard en Greenbelt, Maryland. NASA.

# Observación de satélites y basura espacial a través de telemetría láser

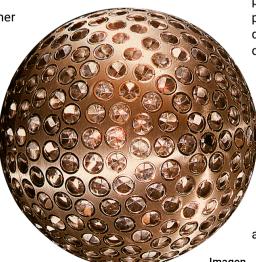
La técnica de telemetría láser aplicada a la observación de satélites, más conocida como SLR por sus siglas en inglés (Satellite Laser Rangina), es una de las principales técnicas de geodesia espacial que se pueden encontrar en la actualidad, junto con la interferometría de muy larga línea de base (VLBI), los sistemas de navegación global por satélite (GNSS) y el sistema de orbitografía Doppler y radio posicionamiento integrados por satélite (DORIS) Las observaciones SLR, en combinación con las realizadas por las otras técnicas, permiten la materialización del marco de referencia terrestre internacional (ITRF), fundamental en aplicaciones de posicionamiento y navegación global. En concreto, las medidas SLR permiten obtener las coordenadas del centro de masas terrestre de forma directa y definen, junto con VLBI, la escala del sistema. Asimismo, la técnica se emplea como método para el cálculo preciso de órbitas en diferentes misiones, obtención de parámetros geofísicos y, recientemente, para la observación de objetos de basura espacial.

> Texto: Beatriz Vaquero Jiménez. Observatorio de Yebes **IGN.CNIG**

#### Orígenes del SLR

La primera observación realizada con SLR tuvo lugar el 31 de octubre de 1964 desde el Centro Espacial Goddard (GSFC) en Estados Unidos. Este hito sucedió siete años después del lanzamiento del primer satélite artificial, el Sputnik 1, y apenas cuatro años después del desarrollo de los primeros láseres. Las observaciones realizadas sobre el satélite Beacon Explorer-B consiguieron una exactitud de pocos metros (2-3 m), lo que supuso una gran mejora con respecto a las medidas que se habían hecho hasta el momento mediante radar, con errores de aproximadamente 50 m.

Durante la década de los 70 se lanzaron los primeros satélites dedicados exclusivamente a SLR, como Starlette o LAGEOS, cuya observación sigue siendo la base





60 cm de diámetro, lanzado en 1976. NASA.



Primer SLR del Observatorio Astrofísico Smithsonian (SAO) en Nuevo Méjico, 1966. Imagen de archivo del SAO.

para las aplicaciones geodésicas que tiene esta técnica. Al mismo tiempo, se produjo un gran crecimiento en la red de estaciones y se desarrollaron los primeros sistemas móviles o transportables.

Un cambio muy importante en la evolución del SLR fue la realización de observaciones durante el día. En las primeras estaciones sólo se podía observar de noche debido al ruido que se generaba en los detectores, principalmente por los fotones provenientes del Sol, hasta que comenzaron a utilizarse una serie de filtros capaces de eliminar gran parte de este ruido, haciendo visibles los retornos de los satélites durante el día.

Durante las siguientes décadas los avances fueron principalmente en la tecnología empleada en las estaciones: láseres con mayores potencias, menores longitudes de pulso y mayor tasa de repetición; detectores más sensibles y rápidos; sistemas de tiempo con mayor precisión; software de control que permitía una mayor automatización y facilitaba la operación de

la estación.

Las mejoras introducidas en la técnica a lo largo de la historia han permitido reducir la exactitud de las medidas desde aquellos varios metros iniciales hasta el nivel del centímetro en la actualidad.

### Telemetría Láser a la Luna

Las observaciones de telemetría láser a la Luna (*Lunar Laser Ranging*, LLR) nacieron en 1969 gracias a la colocación de un panel de retro-reflectores en la superficie de la Luna por los astronautas del Apollo 11.

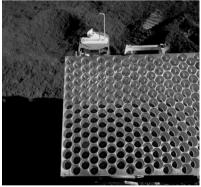
En total se pueden encontrar 5 conjuntos de retro-reflectores, tal y como se muestra en la imagen. Tres de ellos colocados por las misiones Apollo 11, 14 y 15, y dos por las misiones soviéticas Lunokhod I y II en 1970 y 1973.

La realización de este tipo de observaciones supone un desafío aún mayor que el de la observación de satélites, ya que se necesita una puntería más precisa y la señal se ve muy debilitada por la distancia que tiene que recorrer, un total de 385000 km de ida y vuelta. En estos momentos sólo cuatro estaciones son capaces de realizar este tipo de observaciones: Grasse (MeO), Observatorio de la Costa Azul, Francia; Matera (MLRO), Agencia Espacial Italiana, Italia; WLRS, Observatorio Geodésico de Wettzell, Alemania y el Observatorio de Apache Point (APOLLO), Nuevo Méjico, Estados Unidos.

Las estaciones con capacidad para observar la luna cuentan con láseres de mayor potencia y mayor ancho de pulso, además de telescopios monoestáticos con espejos de diámetros cercanos al metro o superiores, como el telescopio de la estación APOLLO de 3,5 m. Esta estación fue la primera estación capaz de observar los 5 conjuntos de retro-reflectores situados en la superficie lunar.

Las observaciones de LLR proporcionan información sobre la Luna desde mareas lunares, efemérides o información sobre la libración lunar, hasta la demostración de efectos de relatividad general.





Situación de los paneles de retro-reflectores instalados en la Luna y detalle de uno de los paneles instalados. NASA.



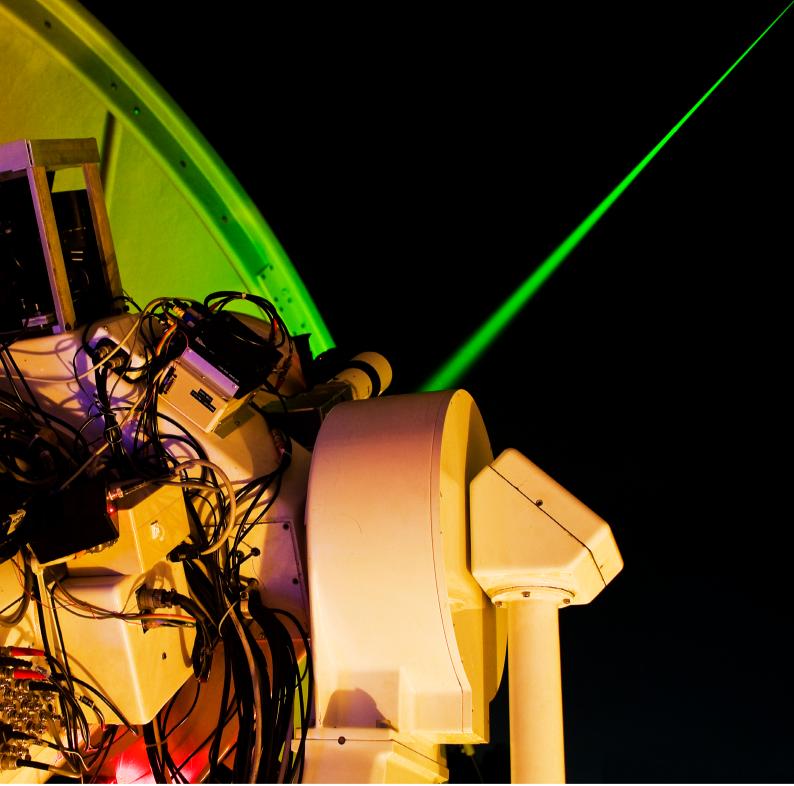
## Principio de la técnica

El principio de funcionamiento en el que se basa la técnica es muy sencillo. Desde una estación en tierra se envían pulsos láser muy cortos a través de un telescopio transmisor hacia un satélite cuya posición aproximada es conocida

con anterioridad. Una muestra del pulso láser emitido se detecta, mediante el detector de inicio, y se utiliza para comenzar la medida del tiempo.

Los satélites que se observan están equipados con retro-reflectores diseñados para reflejar los pulsos en la misma dirección, pero sentido contrario, recibiéndose de nuevo en la estación de tierra a través del telescopio receptor.

Una vez recibidos los pulsos reflejados, un detector de alta velocidad genera una señal electrónica para que el sistema de medida de tiempo (event timer) detenga la medida del mismo, obteniéndose el



Estación SLR de Graz. IWF-Austria.

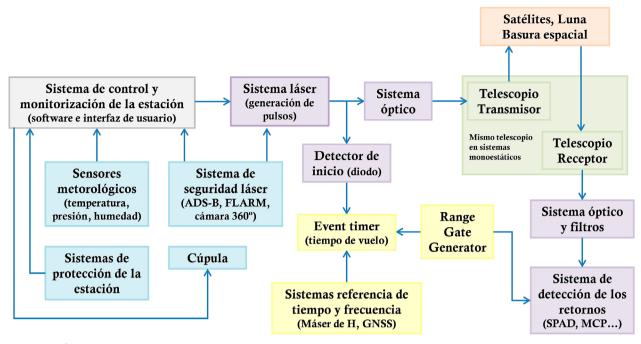
tiempo de ida y vuelta de los pulsos (time of flight, ToF).

Como el tiempo medido es el tiempo de ida y vuelta de la señal, para obtener la distancia a la que se encuentra el satélite sólo es necesario dividir entre dos este tiempo y multiplicar por la velocidad de la luz (velocidad a la que via-

ja el pulso), además de aplicar una serie de correcciones necesarias (calibración del sistema, retraso atmosférico, etc.).

Mediante la repetición de estas medidas sobre los diferentes satélites y la combinación de las observaciones realizadas por toda la red de estaciones SLR, se consiguen calcular las órbitas de los satélites y las coordenadas de las estaciones en tierra con una exactitud en torno al centímetro, disponiendo de esta información casi en tiempo real.

Los datos de salida o datos básicos que proporciona una estación SLR se denominan puntos normales, NP. Estos NP son un promedio



Esquema de funcionamiento de una estación de telemetría láser y subsistemas básicos.

de los disparos simples realizados sobre un pequeño intervalo de tiempo que oscila entre 5 segundos y 5 minutos dependiendo de la altitud del satélite. En los sistemas más actuales, los puntos normales tienen una precisión de pocos milímetros y una exactitud por debajo o en torno al centímetro.

#### Servicio Internacional de Telemetría Láser, ILRS

El ILRS es la organización internacional que coordina toda la red SLR, tanto estaciones como centros de operación, datos y análisis.

Se estableció en 1998 como servicio oficial de geodesia espacial de la Asociación Internacional de Geodesia (IAG) y es miembro del Sistema de Observación Geodésica Global (GGOS). La sede central se encuentra en el GSFC (NASA) en Greenbelt, Maryland.

El ILRS proporciona datos globales de SLR y LLR y sus productos relacionados para apoyar actividades de investigación geodésica y geofísica, además de importantes productos del Servicio Internacional de Rotación de la Tierra y Sistemas de Referencia (IERS) para el mantenimiento del ITRF (*Terms of Reference*, ILRS, 2000). Fomenta la aplicación de nuevas tecnologías para mejorar la calidad, cantidad y efectividad de sus productos. Además organiza el Congreso Internacional de Telemetría Láser y el Congreso Técnico cada dos años de forma alternativa.

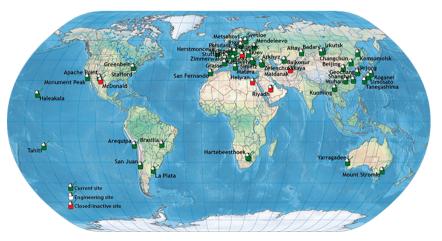
Actualmente se encuentran activas alrededor de 40 estaciones capaces de observar en torno a 120 satélites con órbitas que oscilan entre los 300 km y los 40 000 km. Aunque cada estación observa de forma independiente, el ILRS establece prioridades de

observación para optimizar el seguimiento.

# Instrumentación: segmento de tierra

Resulta evidente que el corazón de una estación SLR es el sistema láser que emite los pulsos necesarios para realizar las observaciones.

Aunque las primeras medidas se realizaron con láseres que emitían pulsos en longitud de onda infrarroja (1064 nm), desde los años 80 hasta la actualidad la mayoría de estaciones trabajan a 532 nm, emitiendo un haz de color verde, siendo una de las últimas tenden-



Red de estaciones SLR. ILRS website.

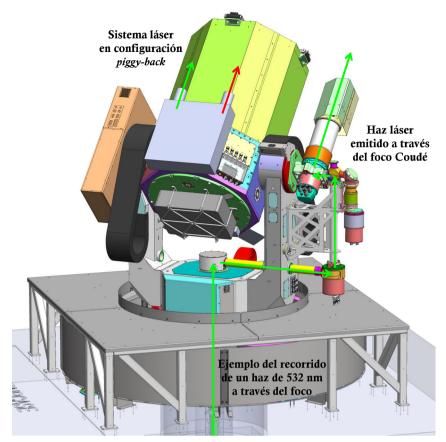
cias tener la capacidad de observar en los dos colores.

Entre los parámetros fundamentales del sistema láser hay que señalar la energía, que debe ser suficiente para alcanzar los satélites y que la señal regrese, el ancho del pulso y la tasa de repetición. Para calcular las órbitas y las coordenadas de las estaciones con precisiones milimétricas la longitud o ancho de los pulsos debe ser lo menor posible, hay que tener en cuenta que un pulso de 10 picosegundos de ancho supone una incertidumbre de 3 mm en distancia. Las nuevas estaciones operan láseres con una tasa de repetición de 1-2 kHz, es decir, 1000 o 2000 disparos por segundo. mientras que las estaciones más antiquas aún operan con tasas entre 5-10 Hz. Cuantos más pulsos por segundo mayor probabilidad de recibir retornos en la estación.

Aunque todos los componentes de una estación SLR son fundamentales, cabe destacar el sistema del telescopio que incluye elementos como la montura y los telescopios transmisor y receptor.

Las monturas, con movimientos en azimut y elevación, permiten seguir los objetos a observar con la precisión y velocidad necesarias.

En algunas estaciones se utiliza un solo telescopio como transmisor y receptor, es lo que se denominan sistemas monoestáticos. Cuando son dos telescopios independientes se llaman sistemas biestáticos. En general, el segundo montaje resulta más sencillo para estaciones que trabajan con altas tasas de repetición, ya que los sistemas monoestáticos pueden presentar limitaciones a la hora de manejar la entrada y salida de pulsos, aunque hoy en día hay diferentes elementos y montajes que evitan estas limitaciones.



Diferencia entre láser en configuración piggy-back y emisión a través del foco Coudé. Esquema de Officina Stellare del telescopio de la estación YLARA.

Debido a las características de los láseres, como su gran tamaño, peso y las condiciones en las que han de instalarse, tradicionalmente se han situado en salas aclimatadas y sobre bancos ópticos estables, siendo el haz láser enviado a través de un foco Coudé formado por varios espejos que redirigen la señal desde su localización hasta la salida por el telescopio transmisor.

En los últimos años, los grandes avances en tecnología láser han permitido instalar láseres, con los requerimientos necesarios para SLR, en la denominada configuración *piggy-back*. El generador láser junto con un sistema óptico apropiado y la electrónica necesaria, se instala directamente sobre la montura del telescopio, evitando los problemas que causa el manejo del foco Coudé.

Las estaciones cuentan con detectores diferentes para los pulsos emitidos y para los retornos, siendo estos últimos los más importantes ya que necesitan tener una alta sensibilidad, capaces de detectar incluso un solo fotón.

La medida del tiempo de vuelo se realiza hoy en día con un dispositivo denominado event timer, o contador de eventos, que alcanza una precisión de picosegundos. Igual que ocurre en VLBI, en SLR se necesitan sistemas que distribuyan y proporcionen señales de tiempo con muy alta precisión, por ejemplo, relojes de cesio o máseres de H, y que definan el sistema de tiempo necesario para la determinación de la época de observación, como lo relojes GNSS.

La estación debe protegerse de agentes externos, principalmente climáticos. Todas las estaciones cuentan con cúpulas que evitan que sistemas como el telescopio estén expuestos cuando no se está operando. Si son semiabiertas también protegen el sistema durante las observaciones. Otro tipo de

## ¡Peligro! Emisión láser hacía el cielo

El SLR es la única técnica de geodesia espacial que trabaja con señales en el espectro visible y los láseres que utiliza tienen una alta peligrosidad, con potencias de pico de decenas de megavatios. Todas las estaciones deben contar con sistemas de seguridad tanto para los trabajadores de la misma como para personas externas. Baio ninguna circunstancia un pulso láser debe impactar con ningún tipo de aeronave que sobrevuele la estación, va sean aviones comerciales, particulares, helicópteros, paracaidistas, etc. Para proporcionar esta seguridad las estaciones cuentan con diferentes sensores como radares. sistemas ADS-B, receptores FLARM o cámaras de 360 grados. Sensores que observan el cielo y en caso de un posible impacto detienen la emisión del láser.



Imagen del cielo del Observatorio de Yebes obtenida con la cámara All Sky OMEA 8C.

sensores, como sensores de lluvia o viento, suspenden las observaciones en caso de riesgo para los subsistemas y cierran la cúpula.

Otro elemento muy importante es una estación meteorológica con diferentes sensores, especialmente de presión, temperatura y humedad, ya que estos parámetros son necesarios para corregir las observaciones de efectos atmosféricos.

Cada estación SLR define un punto al que se refieren sus coordenadas. En la mayoría de los casos este punto invariante es el cruce de los ejes de azimut y elevación del telescopio receptor. Las observaciones SLR, es decir el tiempo de ida y vuelta medido, debe corregirse teniendo en cuenta el tiempo que tardan las señales en recorrer el sistema, antes y después de este punto invariante. Para ello las estaciones implementan sistemas de calibración y se realizan calibraciones cada una o dos horas.

La monitorización de los parámetros de la estación, el control de todos los subsistemas y la realización de observaciones se lleva a cabo con un sistema de control o software con una interfaz de usuario que permite a los operadores ejecutar todas las tareas necesarias en tiempo real. Hoy en día estos sistemas presentan una gran automatización simplificando todos los procesos que deben realizarse. Actualmente se pueden encontrar algunas estaciones con capacidad para trabajar

de forma
completamente
autónoma, pero
no alcanzan aún la
calidad de las observaciones que consigue un
operador.

# Segmento espacial de SLR

Los satélites sobre los que se realizan observaciones SLR deben estar equipados con retro-reflectores, ya sea uno solo o un conjunto de ellos.

Los retro-reflectores más típicos son los corner-cubes, hechos a partir de un prisma de vidrio y con forma cúbica, pero se pueden encontrar otros diseños como los de los satélites BLITZ, donde todo el satélite consiste en un solo retro-reflector de forma esférica. Hay conjuntos de retro-reflectores de gran tamaño como los de la constelación GPS, pero también hay diseños muy pequeños para poder ser integrados en nanosatélites.

Entre los satélites empleados para SLR se encuentran los satélites geodésicos, exclusivos de SLR, es decir, no se utilizan para ninguna otra aplicación. Tienen forma esférica y la superficie cubierta de retro-reflectores; son satélites pasivos y están situados en órbitas muy estables, donde podrían estar desde siglos a miles de años, por ejemplo, los satélites LAGEOS o LARES, una de las más recientes incorporaciones.

También se hacen medidas a satélites de órbitas medias o altas (MEO y HEO), por ejemplo, los satélites de navegación GNSS. Estos satélites son más compli-

cados de observar por

la gran distancia a
la que se encuentran (entre 19 000 km),
ya que se pierde
mucha señal en el
viaje de ida y vuelta.
Por último, se observan satélites de monitorización de la tierra y experimen-

Conjunto de retro-reflectores del satélite CHAMP con un tamaño total de 10 cm de ancho y 4,8 cm de alto. GFZ-Alemania.

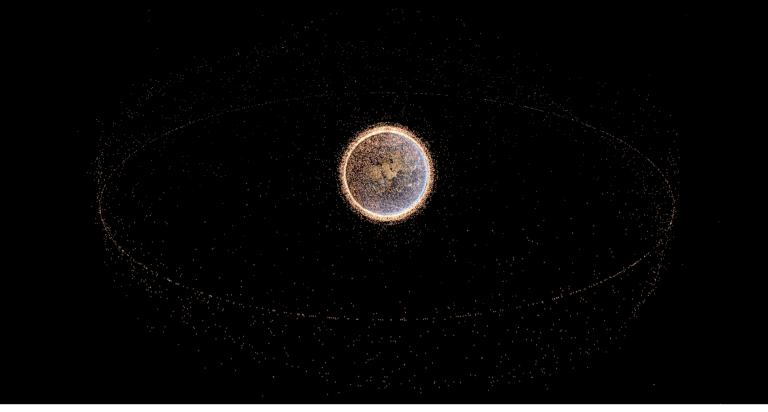


Imagen de la distribución de basura espacial obtenida a partir del catálogo NORAD, 2014. Cada punto representa un objeto del catálogo.

tales situados habitualmente en órbitas bajas (LEO).

#### **Aplicaciones**

Gracias al gran potencial de precisión de las observaciones de telemetría láser a satélites, pronto se abrió un amplio campo de aplicaciones en geodesia y geofísica. La contribución del SLR se puede dividir entre productos oficiales y aplicaciones científicas.

Los productos oficiales son la determinación de las posiciones y movimientos de las estaciones SLR en tierra y los parámetros de orientación terrestre (EOP): coordenadas o movimiento del polo (x,y), precesión y nutación (offsets del polo celeste) y duración del día (LOD).

Estos productos colaboran en la determinación y mantenimiento del marco de referencia terrestre internacional (ITRF) junto con los datos obtenidos con VLBI, GNSS y DORIS.

El SLR es la única de estas técnicas capaz de determinar directamente la posición del centro de masas de la Tierra, origen del sistema de referencia, haciéndolo con una precisión de milímetros. Además, junto con VLBI, permite definir la escala del marco (GM) con una gran precisión.

Las aplicaciones científicas son similares a las de otras técnicas de geodesia espacial. La más directa es la determinación precisa de órbitas (POD) de otros satélites como los de posicionamiento global -GPS, Galileo, Glonassvalidando las órbitas de forma independiente. Del mismo modo se emplean las observaciones SLR en misiones cuyo objetivo es realizar medidas del campo de gravedad terrestre, misiones de altimetría y otras con gran impacto científico, por ejemplo, para la obtención de parámetros relacionados con el cambio climático como puede ser la disminución del hielo en los polos o el aumento del nivel de los océanos.

El SLR colabora en el desarrollo de modelos del campo gravitatorio terrestre y proporciona información sobre mareas terrestres y oceánicas. Debido a la determinación de las coordenadas de las estaciones con gran precisión y su variación con el tiempo también se pueden estudiar el movimiento de las placas tectónicas o las deformaciones de la corteza terrestre. Como el haz láser está afectado por la atmósfera, los datos se pueden utilizar para obtener modelos de refracción atmosférica y otros valores.

# Observación de basura espacial

En los últimos años se ha producido un gran incremento de estos objetos debido al aumento del lanzamiento de satélites sobre todo en las órbitas más bajas, hasta tal punto que preocupa la integridad de satélites o misiones activas si el número de objetos sigue creciendo.

Diferentes agencias e instituciones llevan tiempo analizando el problema y buscando soluciones, como la localización y seguimiento de los objetos para calcular sus trayectorias, implementación de métodos de reentrada en las misiones cuando dejan de estar activas o para restos de los cohetes de lanzamiento, e incluso se analizan fórmulas para poder retirar la basura espacial que ya se encuentra en órbita.

A través de observaciones con telescopios ópticos y radares se detectan nuevos fragmentos que se incluyen en los catálogos y se observan objetos conocidos para mejorar el conocimiento de sus órbitas (surveillance y tracking). Los sistemas telemetría láser pueden utilizarse para observar objetos seleccionados, detectados anteriormente (tracking), mejorando

Edificio de la estación YLARA.

el cálculo de la órbita de éstos, de modo que se puedan realizar maniobras para evitar colisiones. Además, se analizan las curvas de luz, con detectores específicamente diseñados para ello que permiten conocer la rotación o movimiento de los objetos.

La observación de objetos de basura espacial con telemetría láser supuso un gran avance en las estaciones ya que, por primera vez, se observaban objetos no colaborativos, es decir, objetos que no cuentan con retro-reflectores en su superficie.

El principio de funcionamiento es el mismo pero con una mayor dificultad al no contar con los retro-reflectores. En general las estaciones deben adaptarse para realizar este tipo de observaciones. Se utilizan láseres de mayor potencia con mayor longitud de pulso (nanosegundos en lugar de pisosegundos) y se suele observar en longitud de onda infrarroja, por lo que la estación debe incluir un detector para esta longitud. También se instalan cámaras de observación de alta sensibilidad y gran campo de visión que permiten







Cúpula de Baader Planetarium tipo slit type de 5.3 metros instalada en la estación del Observatorio de Yebes.

ver los objetos cuando estos son iluminados por el Sol.

Se pueden encontrar varias estaciones que realizan este tipo de observaciones principalmente en Europa, Asia y Australia. En España se han realizado desde la estación SLR de San Fernando, en Cádiz, dentro de los programas de observación de la Unión Europea y en un futuro se realizarán desde la estación de Yebes.

# Proyecto YLARA: Yebes Laser Ranging

En este momento, en el Observatorio de Yebes, se está desarrollando el proyecto de construcción de una estación de telemetría láser de última generación que contribuirá tanto a las observaciones de satélites como a las de basura espacial.

Este proyecto está cofinanciado con fondos FEDER y se lleva a cabo dentro de la operación YDALGO





Logo del 22º Congreso Internacional de Telemetría Láser. 7-11 noviembre 2022.

(Infraestructuras de Desarrollo y Actividades de Laboratorio para Geodesia espacial en el Observatorio de Yebes).

El objetivo principal de la estación es convertir al Observatorio en una Estación Geodésica Fundamental única en España, cumpliendo con los requisitos exigidos por el proyecto GGOS, además de formar parte de la red de estaciones del ILRS. El Observatorio contará con tres de las técnicas de geodesia espacial mencionadas anteriormente –VLBI, GNSS y SLRdemás de gravimetría, sistemas de tiempo y frecuencia o red de local tie.

La estación se caracteriza por haberse diseñado como un sistema flexible y modular, que permite introducir actualizaciones de forma sencilla e implementar nuevas aplicaciones, gracias a lo cual ya se han extendido las capacidades y objetivos de la estación con la reciente adquisición de un sistema láser específico para realizar observaciones de basura espacial.

Destacar del diseño de la estación que el láser principal para SLR estará instalado en configuración piggy-back, siguiendo las últimas tendencias de la técnica, pero a su vez, la estación cuenta con un foco Coudé y una sala acondicionada donde se podrían instalar varios sistemas láser siguiendo el diseño clásico de muchas estaciones, configuración que ha demostrado una gran fiabilidad y alto rendimiento. El láser para observaciones de basura espacial se instalará en esta sala.

A día de hoy ya se encuentra terminado el edificio donde se

emplazarán todos los subsistemas, con la cúpula instalada y funcionando. La instalación del resto de subsistemas se realizará durante la primavera de 2023, teniendo la estación operativa en verano.

Con motivo de la próxima finalización de la estación y entrada en funcionamiento, el Observatorio de Yebes fue propuesto para organizar el 22º Congreso Internacional de Telemetría Láser (22nd IWLR), llevado a cabo en Guadalajara del 7 al 11 de noviembre de 2022.

Más de 100 participantes de 20 países diferentes se dieron cita en el evento de forma presencial y más de 60 de forma virtual, convirtiéndose en una excelente oportunidad para mostrar y debatir los avances en los campos científicos y tecnológicos de SLR, LLR y otras técnicas relacionadas.



Asistentes de forma presencial al 22° IWLR realizado en Guadalajara del 7 al 11 de noviembre de 2022.

## **Estación Geodésica Fundamental**

Una Estación Geodésica Fundamental (EGF) es un observatorio geodésico donde se localizan al menos tres de las técnicas de geodesia espacial principales (VLBI, GNSS, SLR o DORIS), junto con una gran variedad de sensores e instrumentación relacionada, por ejemplo, sensores meteorológicos, sistemas de tiempo y frecuencia e instrumentación para la medida de la gravedad. Para que un observatorio pueda considerarse una EGF es imprescindible que todas estas técnicas y sensores se encuentren relacionados entre sí a través de una red geodésica local denominada *local tie*, para definir puntos de referencia en el dominio del tiempo y el espacio y en el campo gravitatorio terrestre. La exactitud de esta red debe situarse por debajo del milímetro.

La ubicación conjunta de las diferentes técnicas permite la integración de las redes específicas de cada técnica en un marco de referencia terrestre único, la evaluación de la calidad y la precisión de las observaciones, así como la validación mutua de los resultados.

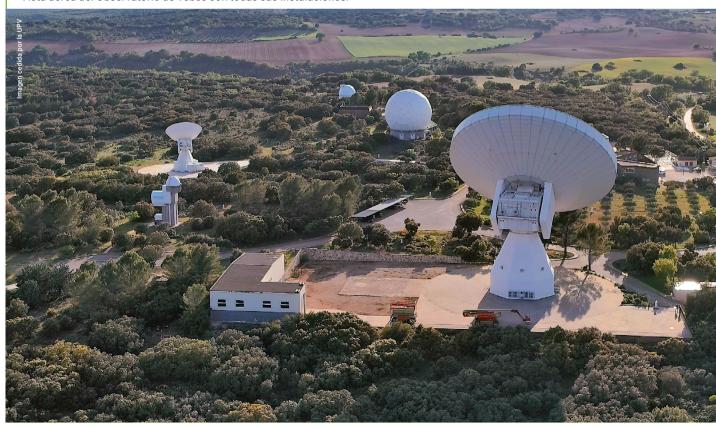
Con el objetivo de mejorar las capacidades que presentaban las estaciones geodésicas y crear un marco de desarrollo global, en el año 2003 se creó el Sistema Geodésico de Observación Global (GGOS) perteneciente a la Asociación Internacional de Geodesia (IAG). GGOS prevé de la infraestructura geodésica necesaria para la monitorización del sistema terrestre y promueve la investigación de cambios globales en las ciencias de la Tierra, trabajando junto con los diferentes servicios de las técnicas e instituciones de todos los países participantes.

GGOS define una serie de requerimientos que deben cumplir los observatorios para considerarse Estaciones Geodésicas Fundamentales, no sólo en cuanto a las técnicas o instrumentación que deben formar parte del mismo, sino también las características y especificaciones mínimas que deben cumplir los sistemas, para conseguir así una red uniforme.

Gracias a la implementación de la red de EGF, siguiendo las recomendaciones del sistema GGOS, se espera poder alcanzar una exactitud en las medidas de 1 mm en posición y 0.1 mm/año en velocidad a escalas globales para el marco de referencia, ITRF.

Actualmente hay 12 estaciones que cumplen estos requisitos y 6 más que se encuentran en desarrollo, siendo la del Observatorio de Yebes una de ellas.

Vista aérea del Observatorio de Yebes con todas sus instalaciones.



mi**t**ma febrero 2023 **83**