

# 50 AÑOS ESCUCHANDO EL UNIVERSO

El 1 de noviembre de 1979 el radiotelescopio de 14 m del Observatorio de Yebes, el primero de su clase instalado en España, obtuvo su primera señal radio a 3,4 mm de longitud de onda al realizar un barrido de la Luna en acimut y elevación. Este éxito se produjo apenas cuatro años después de la creación del Observatorio, demostrando la capacidad técnica, la tenacidad y el entusiasmo del pequeño grupo de astrónomos, ingenieros y técnicos que lo puso en marcha. Este hito marcó el inicio de la trayectoria científica y tecnológica del centro, actualmente una institución de reconocido prestigio internacional en ambas áreas.



**Pablo de Vicente**  
*p.devicente@oan.es*  
Observatorio Yebes - IGN

El Observatorio de Yebes es hoy una de las 29 Infraestructuras Científico-Técnicas Singulares (ICTS) españolas, formando parte de la Red de Infraestructuras de Astronomía (RIA) junto al Gran Telescopio Canarias (GTC), los observatorios de Canarias (IAC), Javalambre, Calar Alto y el radiotelescopio de 30 m del IRAM en Granada. Es, además, una Estación Geodésica Fundamental dentro del Global Geodetic Observing System (GGOS) y un Centro de Desarrollos Tecnológicos en Radioastronomía reconocido por el International VLBI Service for Geodesy and Astrometry (IVS).

El Observatorio de Yebes y el Observatorio Astronómico Nacional pertenecen a la Subdirección General de Astronomía y Geodesia del Instituto Geográfico Nacional, una dirección general del Ministerio de Transportes y Movilidad Urbana.

## LOS INICIOS

El Observatorio de Yebes surgió por la necesidad de alejar los instrumentos del Real Observatorio de Madrid de la capital. Los astrónomos perseguían este objetivo desde 1923, ante el creciente deterioro de la calidad del cielo y las condiciones observacionales de la ciudad. En la década de 1970 surgió una oportunidad que contó con el firme apoyo del director general del Instituto Geográfico Nacional (IGN), Rodolfo Núñez de las Cuevas, y del entonces director del Observatorio Astronómico Nacional (OAN), Manuel López Arroyo. Este último, natural de Guadalajara y conocedor de la Alcarria desde su infancia, propuso el Cerro de la Palera en Yebes como la ubicación ideal: su proximidad a Madrid permitía una logística ágil, pero su aislamiento garantizaba cielos oscuros. Además, la cesión gratuita de los terrenos por parte del ayuntamiento de Yebes facilitó la viabilidad del proyecto.

En la planificación inicial se encargaron un telescopio solar de 15 cm y un astrógrafo doble de 40 cm para el estudio de cuerpos menores; sin embargo, la decisión más audaz fue la adquisición de un radiotelescopio milimétrico. Dado que el OAN no contaba con experiencia previa en radioastronomía, se encomendó su puesta en marcha a un joven profesor de la Universidad Complutense de Madrid, Jesús Gómez González. Como primer director del Observatorio de Yebes, y más tarde del OAN, su liderazgo marcaría el rumbo de la institución durante décadas.

# DESDE EL OBSERVATORIO DE YEBES

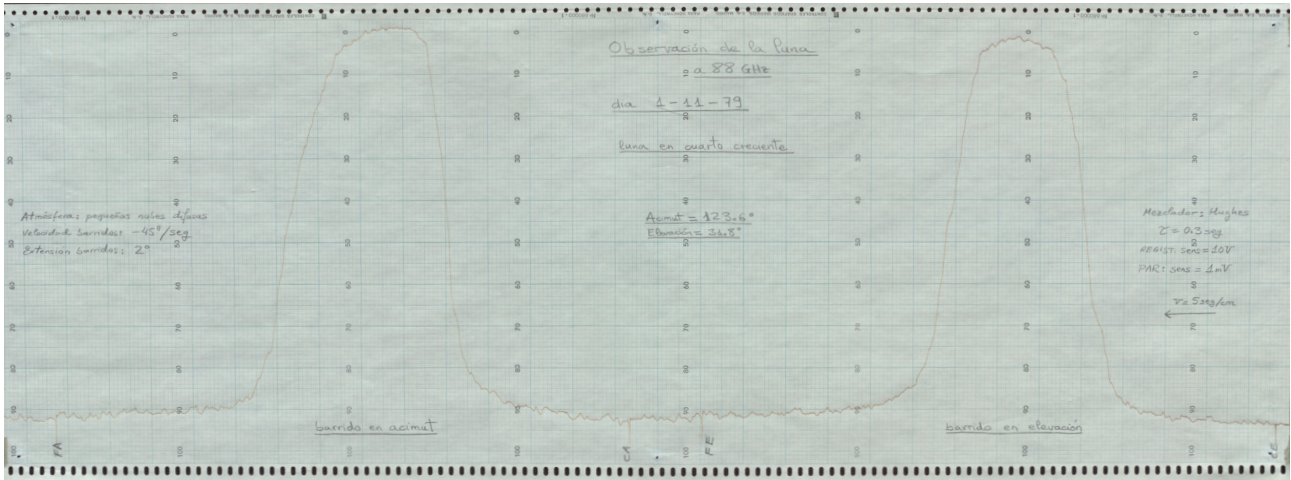


Figura 1. Barrido de la Luna a 88 GHz con el RT 14 m de diámetro en 1979. Crédito: Jesús Gómez y Alberto Barcia.

Figura 2. Fotografía aérea del Observatorio de Yebes en 1975 tomada por Paisajes Españoles.





Figura 3. Radiotelescopio de 14 m.

El 11 de diciembre de 1975, el ministro del Plan de Desarrollo visitó las obras del centro. Aquella visita de alto rango se considera el acto fundacional del Observatorio, pese a que los instrumentos aún no estaban operativos. Esta fecha es la referencia para la conmemoración, entre octubre de 2025 y agosto de 2026, de los 50 años de existencia del Observatorio de Yebes.

Durante aquellos primeros años, Jesús Gómez impulsó una ambiciosa política de formación, reclutando a estudiantes brillantes de universidades españolas y enviándolos a centros de referencia en el extranjero. Esta estrategia permitió crear un núcleo de astrónomos e ingenieros de prestigio internacional cuyas colaboraciones con otros institutos potenciaron definitivamente el perfil científico y tecnológico de Yebes.

### EL RADIOTELESCOPIO DE 14 M DE DIÁMETRO

Tras las primeras observaciones exitosas a 88 GHz, el objetivo prioritario fue el diseño y construcción de un receptor que operase a 43 GHz, frecuencia más acorde con la precisión de la superficie de la antena. El primer receptor para esta banda, que funcionaba a temperatura ambiente, fue fruto de la colaboración con la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) y el Observatorio de Meudon, instalándose en 1984.

Los primeros resultados científicos, publicados en 1985 (Gómez et al.), presentaron observaciones espectroscópicas de máseres de monóxido de silicio (SiO) en estrellas evolucionadas. Este trabajo fue el primero de una prolífica serie de publicaciones sobre la monitorización de máseres moleculares y sus isótopos, consolidando una línea de investigación en estrellas de la rama asintótica de las gigantes (AGB) y nebulosas planetarias que perdura hasta hoy.

En 1988 se instaló un segundo receptor de 43 GHz, esta vez diseñado y construido íntegramente en el Observatorio de Yebes (con excepción del alimentador de la UPM). Se trataba de un receptor criogénico con una banda de recepción instantánea de 50 MHz, sintonizable entre 41 y 49 GHz, que aumentó drásticamente la sensibilidad del instrumento. Gracias a él, se pudo cartografiar el Centro Galáctico en la línea térmica de SiO, revelando estructuras que trazaban choques y fenómenos de alta energía.

Un hito fundamental llegó en 1990, cuando el radiotelescopio de 14 m participó en su primera observación de Interferometría de Muy Larga Línea de Base (VLBI) junto a los telescopios de Effelsberg (Alemania) y Onsala (Suecia). El éxito fue rotundo: se detectó emisión máser de SiO en líneas de base de miles de kilómetros, demostrando la existencia de regiones de emisión extremadamente compactas, algo que se cuestionaba en la época. Este logro no solo fue científico, sino también tecnológico, pues el VLBI milimétrico exigía una estabilidad de fase extrema, una sincronización ultraprecisa mediante relojes atómicos y sistemas de registro de datos a gran velocidad sobre soportes magnéticos de alta densidad. Tras este éxito, el observatorio amplió sus horizontes hacia la astrogeodesia. Se construyó un receptor criogénico en bandas S (2,3 GHz) y X (8,4 GHz) y se adaptó estructuralmente la antena para estas frecuencias.

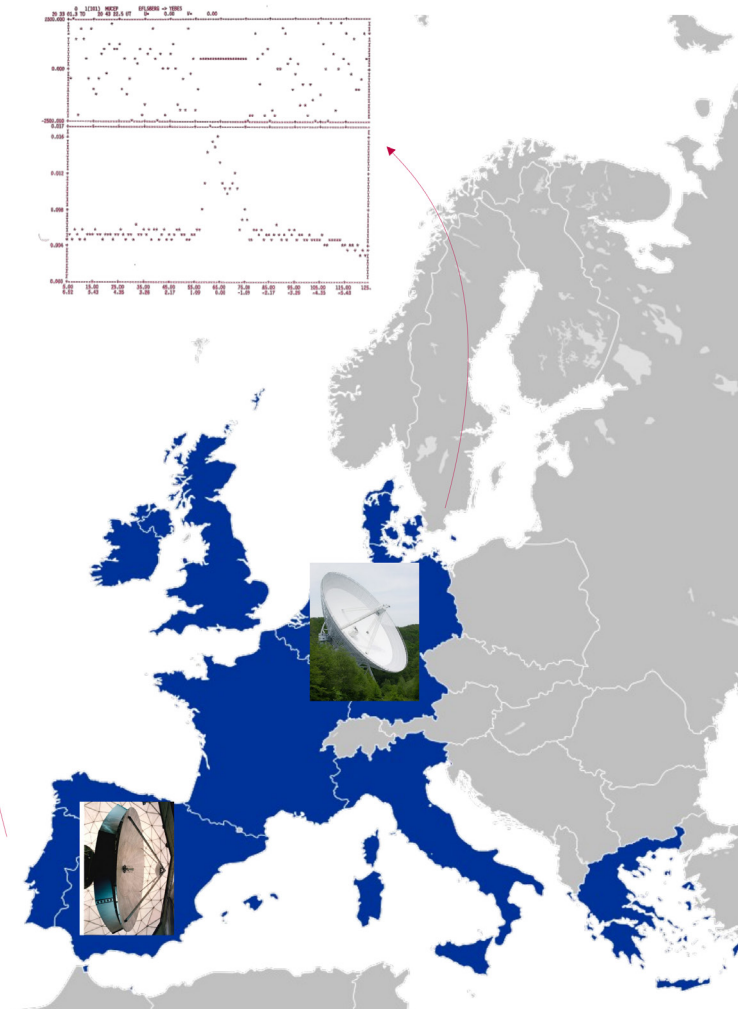


Figura 4. Resultados de SiO con VLBI en 1990 entre el RT de 14m de Yebes y el RT de 100 m de Effelsberg.

En 1995 se realizaron las primeras mediciones de distancias intercontinentales con precisión centimétrica, integrando formalmente a Yebes en lo que posteriormente sería el Servicio Internacional de VLBI (IVS). Estas observaciones pioneras contribuyeron al proyecto estadounidense Crustal Dynamics Data Information Service (CDDIS), permitiendo medir de forma directa el desplazamiento de las placas tectónicas.

### EL RADIOTELESCOPIO DE 40 M

Ante el inevitable envejecimiento del instrumento de 14 m, a finales de la década de 1990 se proyectó la construcción de un gran radiotelescopio de 40 m de diámetro. El objetivo era doble: potenciar la participación en las redes de VLBI y profundizar en los estudios de espectroscopía molecular con una sensibilidad drásticamente superior. Aunque la construcción se prolongó varios años para ajustarse a las disponibilidades presupuestarias, este tiempo fue aprove-

chado para desarrollar íntegramente el sistema de control y diseñar un receptor criogénico de vanguardia en 22 GHz con 4 GHz de ancho de banda.

En junio de 2007, el radiotelescopio obtuvo su «primera luz» reeditando el hito de su predecesor: un barrido sobre la superficie lunar. Semanas antes, la precisión del sistema de control se había validado de forma ingeniosa mediante un telescopio óptico montado en la parte posterior del subreflector, observando Júpiter y sus satélites galileanos.

La integración en la Red Europea de VLBI (EVN) fue inmediata, obteniéndose las primeras franjas interferométricas en junio de 2008. Con la posterior instalación de receptores en banda C (5 GHz) y las bandas geodésicas S/X (2,3 y 8,4 GHz), el RT 40 m se erigió en uno de los pilares de la EVN gracias a su excelente relación entre tamaño y temperatura de ruido.

Además, la conexión a RedIRIS (la red científica de comunicaciones española) permitió al centro liderar el ámbito del e-VLBI, transmitiendo datos en tiempo real a los correladores internacionales. Esta capacidad de transferencia ha evolucionado de forma exponencial, pasando de 64 Kb/s a principios de 2000, 1 Gb/s con el comienzo del e-VLBI en 2008 hasta los actuales 100 Gb/s alcanzados en 2024.

En paralelo, el telescopio ha mantenido una intensa actividad como antena única para espectroscopía molecular. En 2018, tras actualizar los receptores de 22 y 43 GHz y añadir uno de 86 GHz (heredado del IRAM), el instrumento se abrió a la comunidad científica internacional mediante convocatorias públicas. En ese momento, Yebes ya operaba con seis receptores, casi todos de factura propia.

Sin embargo, la gran revolución llegó en 2021 con el proyecto Nanocosmos, liderado por José Cernicharo, profesor de investigación del CSIC y antiguo astrónomo del OAN. La instalación de nuevos receptores en las bandas Q (43 GHz) y W (86 GHz), financiados por el European Research Council (ERC) y diseñados y construidos por los ingenieros

y técnicos del centro, situó a Yebes en la cúspide de la radioastronomía mundial. Estos sistemas, con un ancho de banda instantáneo de 18 GHz, son los más sensibles de su clase y han permitido los extraordinarios hallazgos en astroquímica que se detallan más adelante.

Hoy en día, el RT 40 m es el activo principal que otorga al Observatorio de Yebes su estatus de Infraestructura Científico-Técnica Singular (ICTS).

### **ALGUNOS RESULTADOS CIENTÍFICOS RESEÑABLES**

El radiotelescopio de 40 m ha producido resultados de gran impacto internacional. Operando como antena única, y gracias al extraordinario ancho de banda instantáneo de sus receptores a 43 y 86 GHz, el instrumento se ha posicionado como el líder mundial en astroquímica. De hecho, es el radiotelescopio que más moléculas interestelares ha descubierto hasta la fecha: 104 de las 344 conocidas, lo que supone un 30% del total detectado hasta abril de 2026. Este hito es extraordinario, considerando que todas estas especies se han identificado en los últimos cinco años, en contraste con un historial de descubrimientos que comenzó en la década de 1960 (ver Figura 5).

Figura 5. Radiotelescopio de 40 m en el Observatorio de Yebes.



### Evolución del Descubrimiento de Moléculas por Radiotelescopio (10 primeros telescopios)

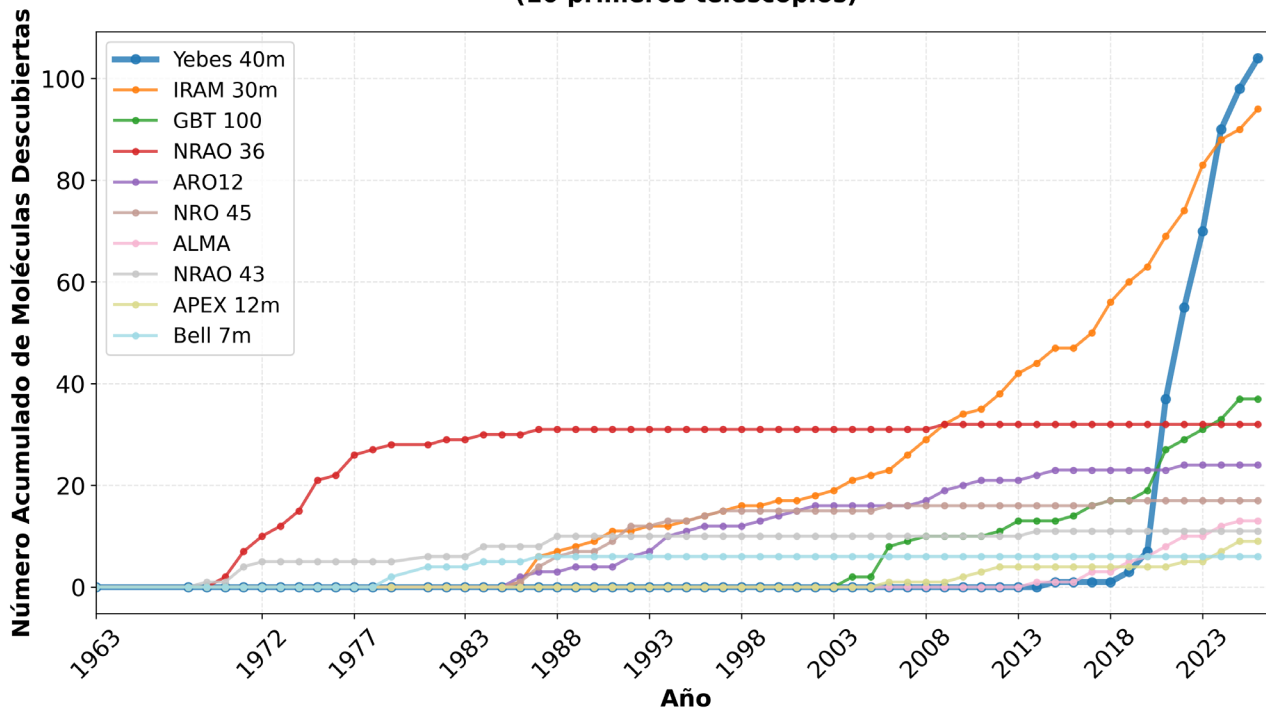


Figura 6. Número acumulado de moléculas descubiertas por los 10 telescopios con mayores aportaciones a lo largo del tiempo.

Los receptores ultra-sensibles de Yebes en las bandas Q y W han permitido revolucionar la disciplina, identificando decenas de nuevas especies en la nube fría TMC-1. Entre estos hallazgos destaca una familia de hidrocarburos cíclicos puros, moléculas cuya formación se creía imposible en condiciones de tan baja temperatura. Este camino se inició con anillos simples como el ciclopentadieno ( $C_5H_6$ ) y el indeno ( $C_9H_8$ ), y ha culminado recientemente con el hallazgo del 1H-ciclopent[cd]indeno ( $C_{11}H_8$ ). Con tres anillos fusionados, es actualmente el hidrocarburo policíclico aromático (PAH) más grande y complejo detectado mediante radioastronomía, un resultado que obliga a replantear los modelos de formación de carbono en el Universo.

Asimismo, investigadores del Centro de Astrobiología (CAB) han liderado el descubrimiento de la etanolamina (Rivilla et al. 2021), una molécula que constituye la cabeza fosfolipídica más simple. Su detección en el centro galáctico demuestra la presencia

de material prebiótico que pudo incorporarse a los planetas durante su formación. Otro hallazgo reciente de gran calado ha sido el sulfuro de dimetilo en dirección al centro galáctico; su origen abiótico en este entorno resuelve una polémica sobre su validez como biomarcador unívoco en exoplanetas.

Más allá de la química, el RT 40 m ha sido clave en la caracterización del medio interestelar, desde el estudio de gas chocado en restos de supernova hasta la detección de moléculas metálicas en la estrella evolucionada IRC+10216.

En el ámbito de la Interferometría de Muy Larga Línea de Base (VLBI), el telescopio es un pilar de la red global milimétrica (GMVA). Destaca su contribución a la imagen del agujero negro M87\* a 86 GHz (Lu et al. 2023), la primera en mostrar simultáneamente el disco de acreción y el chorro relativista (Figura 6). Asimismo, Yebes participó en la observación histórica de la emisión electromagnética posterior a la fusión

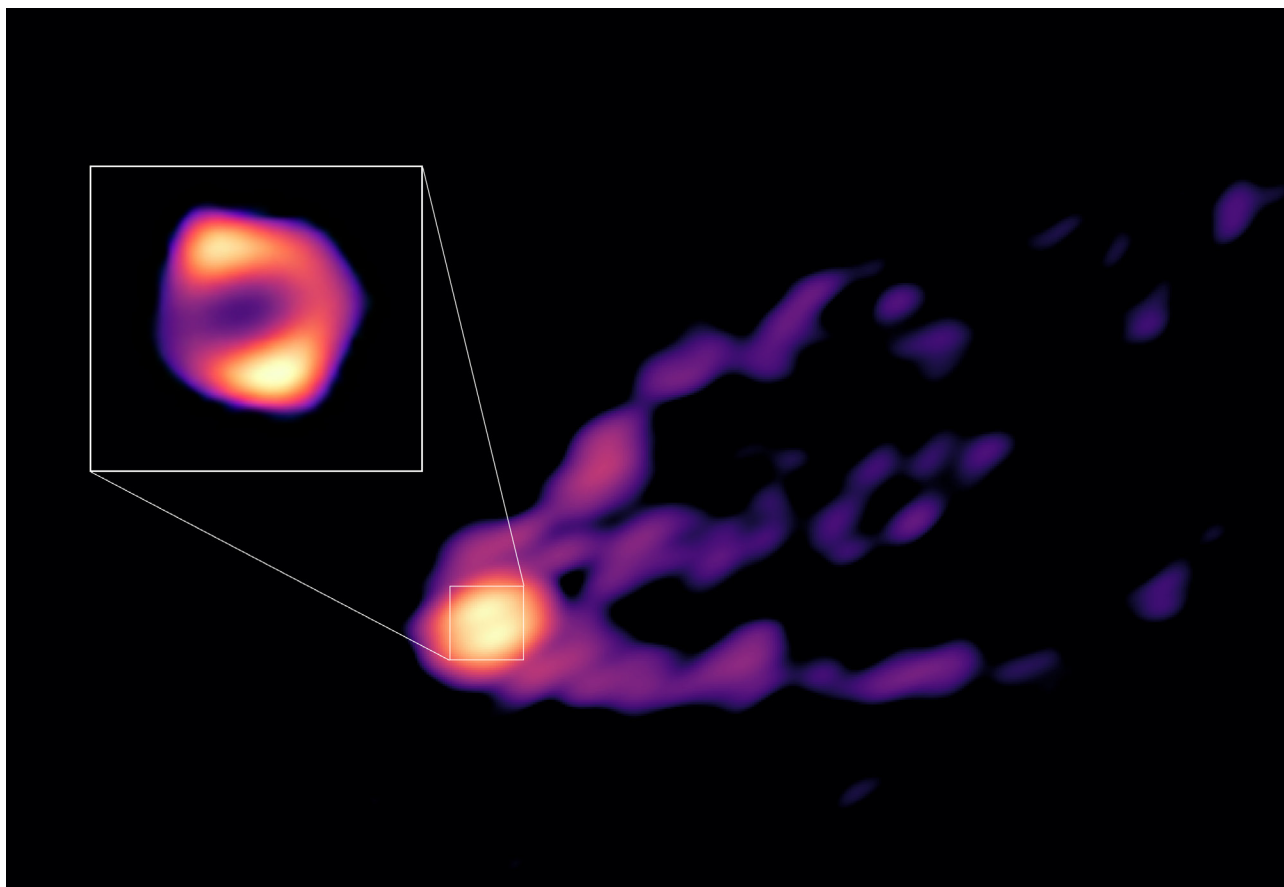


Figura 7. Imagen del entorno del agujero negro M87\* donde se aprecia un anillo en torno a él y chorros relativistas. Crédito: Lu et al. 2023.

de dos estrellas de neutrones (GW170817) con la red EVN (Ghirlanda et al. 2019) y ha colaborado con la misión espacial Radioastron para obtener imágenes de resolución angular sin precedentes.

Finalmente, el telescopio desarrolla actividades más «heterodoxas» pero estratégicas, como el seguimiento Doppler de sondas espaciales para estudiar el viento solar o su participación fundamental en la definición del tercer Marco de Referencia Celeste Internacional (ICRF3) en las bandas S/X.

### **CENTRO DE DESARROLLOS TECNOLÓGICOS**

El Observatorio de Yebes no solo observa el universo; diseña y construye los ojos con los que lo mira. Desde la década de 1980, el centro ha mantenido una política estratégica de personal que combina a astrónomos, ingenieros y técnicos, dotándolos de laboratorios de

vanguardia para la instrumentación de radiofrecuencia. El centro es hoy líder mundial en la fabricación de amplificadores criogénicos de bajo ruido (LNAs). Esta trayectoria comenzó tras la estancia del actual responsable del grupo en el National Radio Astronomy Observatory (NRAO) de EE. UU. El gran salto internacional se produjo con la misión Herschel de la ESA, para la cual Yebes desarrolló los LNAs del instrumento HIFI. Este hito exigió amplificadores con cualificación espacial, un ruido mínimo y una disipación de energía bajísima. El éxito fue tal que la tecnología se transfirió a la industria española y sirvió de base para los receptores de ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array). Yebes se consolidó fabricando los amplificadores de tres de sus bandas de observación; dada la magnitud del proyecto (64 antenas), la producción se delegó en una empresa nacional, marcando el inicio de una transferencia tecnológica que aún perdura.

Actualmente, estos amplificadores alcanzan una frecuencia máxima de 116 GHz, su ancho de banda llega a 16 GHz, la temperatura de ruido es mínima, disponen de prestaciones adicionales y se exportan a todo el mundo, no solo para radioastronomía, sino para sectores emergentes como la computación cuántica, donde el control del ruido térmico es crítico.

Sin embargo, la capacidad tecnológica de Yebes va mucho más allá de los LNAs. El centro destaca por:

- Componentes de microondas: Fabricación de híbridos criogénicos, filtros superconductores de alto rechazo y elementos ópticos de precisión como alimentadores y separadores de polarización (OMTs).
- Receptores completos: Se han construido sistemas criogénicos para instrumentos internacionales, incluyendo ocho receptores (2-14 GHz) para la red VGOS (VLBI Global Observing System) y tres receptores tribanda en 2, 8 y 30 GHz.
- Infraestructura de ensayo: El observatorio cuenta con cámaras anecoicas y laboratorios de criogenia que permiten caracterizar componentes en condiciones extremas de vacío y temperatura.
- Medidas holográficas de superficies de las antenas para su ajuste mejorando la eficiencia de su superficie.
- Software y procesado: Exportación de sistemas de control de telescopios y desarrollos punteros en programación de FPGAs para el procesado digital de señales (backends).

Para ello cuenta con laboratorios de electrónica, microondas, una sala limpia clase 10000, sistemas de medida de piezas de micras de precisión y talleres equipados con máquinas de fresado de 5 ejes y precisiones de unas pocas micras.

Esta excelencia técnica está respaldada por la colaboración con socios como el Instituto de Radioastronomía Milimétrica (IRAM), del que el IGN es miembro. Como reconocimiento a esta trayectoria, el International VLBI Service (IVS) otorgó a Yebes la calificación oficial de Centro de Desarrollos Tecnológicos, situándolo en la élite de la ingeniería radioastronómica mundial.

### ESTACIÓN GEODÉSICA FUNDAMENTAL

Más allá de su vertiente astronómica, el Observatorio de Yebes es una pieza clave en la geodesia espacial, la disciplina que estudia la forma, dimensiones y orientación de la Tierra en el espacio. Para ello, el centro integra las tres técnicas fundamentales de observación global: la Interferometría de Muy Larga Línea de Base (VLBI), el Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) y la Telemetría Láser a Satélites (SLR). La combinación de los datos de estas redes mundiales permite generar el Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF), el estándar de precisión sobre el que se basan todas las mediciones geográficas y de navegación del planeta. Este marco es fundamental para determinar las consecuencias del cambio climático en la superficie terrestre.

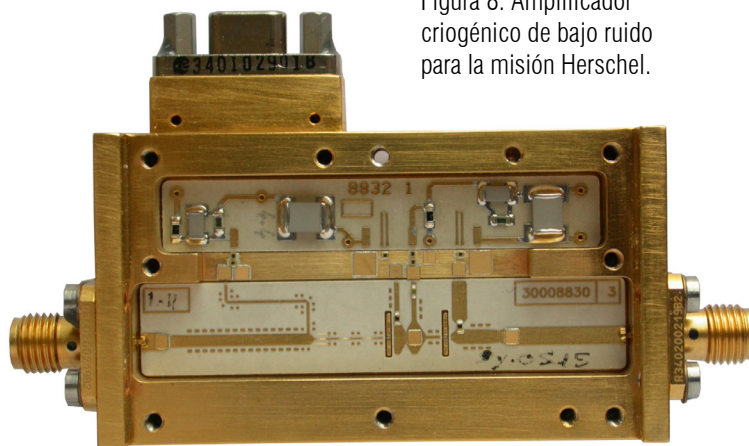


Figura 8. Amplificador criogénico de bajo ruido para la misión Herschel.

En el ámbito del VLBI geodésico, Yebes cuenta con un radiotelescopio de 13,2 m de última generación dentro del programa VGOS (VLBI Global Observing System). Este instrumento, integrado en la red hispano-lusa RAEGE (Red Atlántica de Estaciones Geospaciales), observa cuásares para determinar, con una precisión de 1 mm y una estabilidad de 1 mm/año, la posición relativa de las antenas y su velocidad de cambio. El VLBI es la única técnica capaz de determinar con rigor los parámetros de orientación de la Tierra y la duración exacta del día (dUT1). Aunque estas observaciones se realizaban inicialmente con los telescopios de 14 y 40 m, hoy es el radiotelescopio de 13,2 m el que se dedica en exclusiva a esta tarea. Yebes además aloja el centro de correlación de RAEGE y gestiona y coordina las observaciones de todas las estaciones (Yebes, Santa María en Azores y Temisas en Gran Canaria) y proporciona a todos sus telescopios la tecnología e instrumentación necesaria para su funcionamiento.

La segunda técnica, el GNSS, se apoya en dos receptores de alta precisión integrados en redes nacionales e internacionales desde hace más de 25 años. La tercera técnica disponible la proporciona la estación de Telemetría Láser a Satélites (SLR), operativa desde 2024. Este sistema utiliza láseres pulsados en el infrarrojo y en verde para medir con precisión milimétrica la distancia a satélites en órbitas bajas y medias (LEO y MEO) equipados con retrorreflectores. Con la puesta en marcha de este sistema y la coexistencia de las tres técnicas, el IVS otorgó formalmente al centro la categoría de Estación Geodésica Fundamental.

Para enlazar las tres técnicas el Observatorio dispone de un sistema de colocalización, compuesto por 28 pilares de hormigón que permite relacionar los centros de coordenadas de todos los instrumentos con una precisión mejor que 1 mm mediante estaciones totales ópticas. Además, el centro cuenta con un pabellón de gravimetría que aloja un

Figura 9. Estación de telemetría láser del Observatorio de Yebes emitiendo pulsos láser en verde.



gravímetro superconductor para medir variaciones del campo gravitatorio, junto a sismógrafos y equipos de intercomparación absoluta.

Las estaciones geodésicas fundamentales de las que solo hay una decena, forman parte de GGOS, el Sistema de Observación Geodésico Global perteneciente a la Unión Geodésica Internacional. GGOS tiene como objetivo medir, modelar e interpretar los procesos de la Tierra incluyendo cambios globales, deformaciones de la Tierra e intercambio de masas entre la geoesfera, la biosfera, la hidrosfera y la atmósfera.

Finalmente, el observatorio actúa como plataforma para experimentos adicionales de gran valor como el retrorreflector de calibración para el satélite español PAZ o los fotómetros de la red internacional TESS, destinados a monitorizar el brillo y la calidad del cielo nocturno.

## **CONCLUSIÓN**

Lo que comenzó hace medio siglo como un ambicioso proyecto para dotar a España de capacidades en radioastronomía, se ha convertido hoy en una infraestructura de vanguardia multidisciplinar. Todos los éxitos conseguidos hasta la fecha son fruto de una financiación sostenida y sobre todo de su personal que a lo largo de estos 50 años con su entusiasmo, tenacidad y capacidad ha logrado situar al Observatorio de Yebes como un centro de referencia y excelencia internacional. El Observatorio de Yebes ha demostrado que la apuesta por el desarrollo tecnológico propio y la formación de personal altamente especializado es la fórmula del éxito para alcanzar la excelencia científica.

«En el ámbito de la Interferometría de Muy Larga Línea de Base (VLBI), el telescopio es un pilar de la red global milimétrica (GMVA). Destaca su contribución a la imagen del agujero negro M87\* a 86 GHz, la primera en mostrar simultáneamente el anillo de emisión y el chorro relativista.»