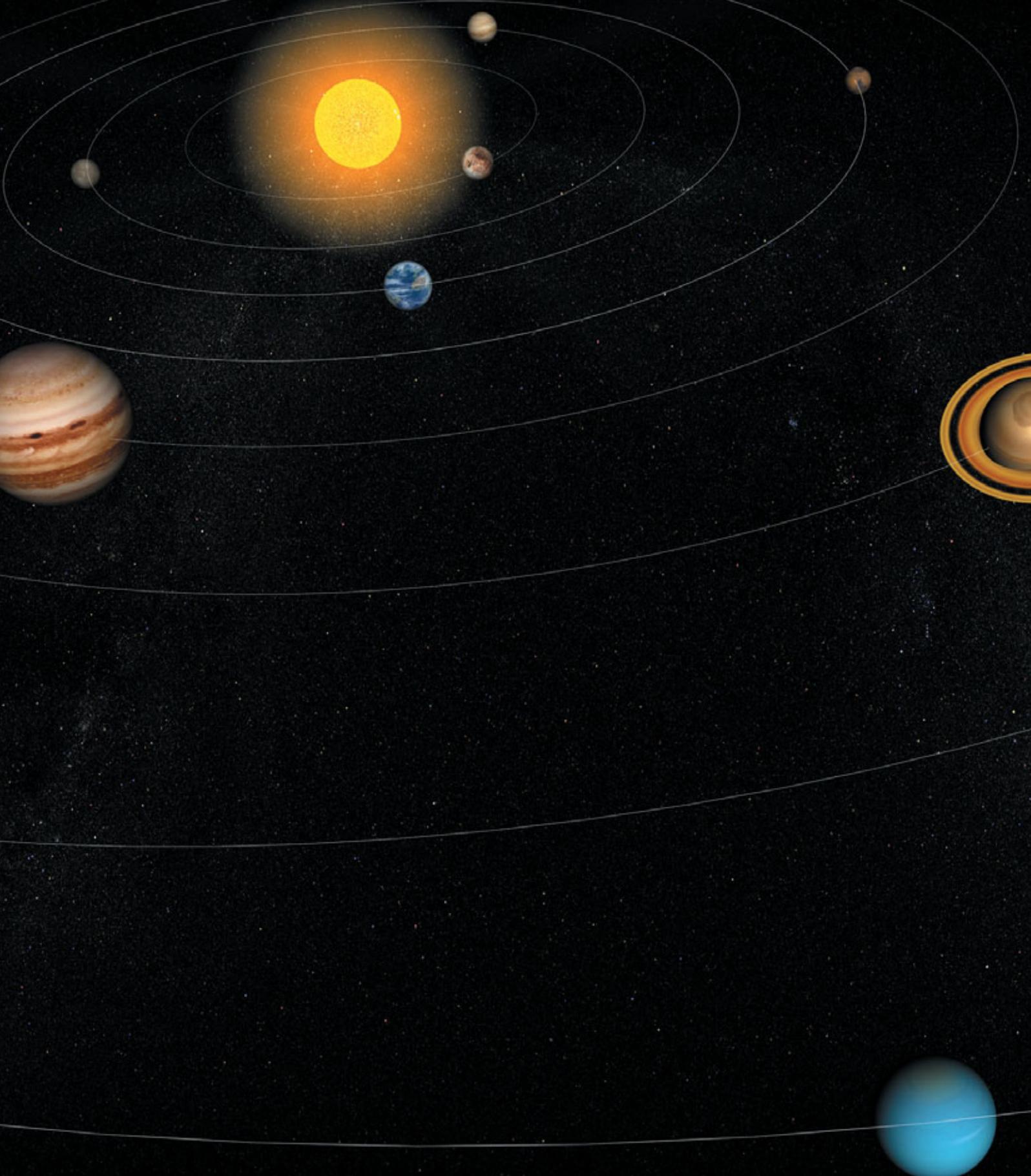


# Radioastronomía



<b>Indice</b>	<b>Página</b>	
	4	I. Las técnicas observacionales modernas en Astronomía
	6	II. La Radioastronomía
	12	III. La exploración del universo en radiofrecuencia
	17	IV. La Radioastronomía en las Ciencias de la Tierra
	24	V. Observatorio Astronómico Nacional
	29	VI. Proyecto ALMA

# I. Las técnicas observacionales modernas en Astronomía

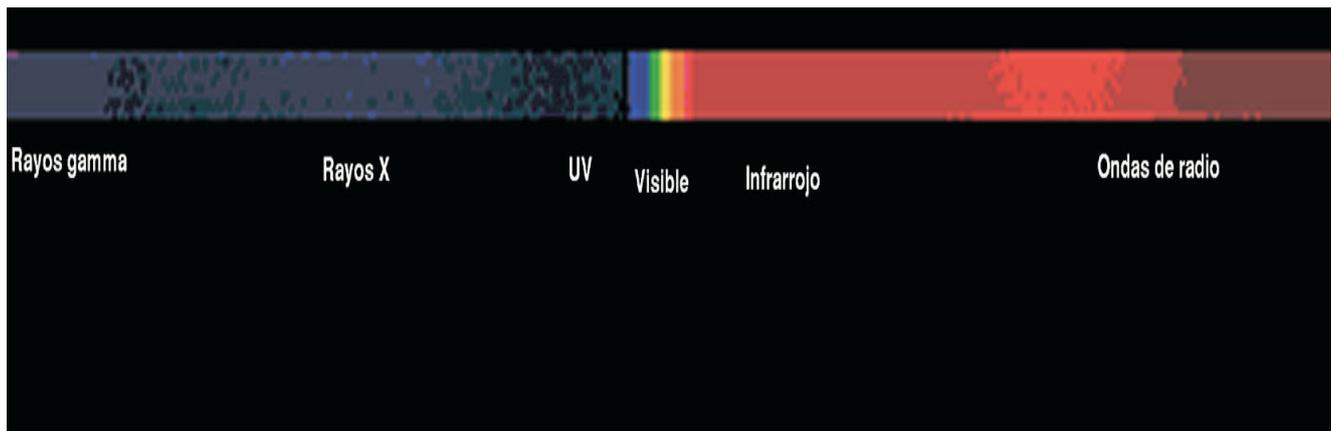
La mayor parte de la información de los astros se obtiene a través de la radiación que emiten a lo ancho de todo el espectro electromagnético. Éste se divide convencionalmente en: rayos gamma, rayos X, ultravioleta (UV), visible, infrarrojo (IR) y ondas de radio.

La atmósfera terrestre sólo es transparente a una pequeña parte del espectro: la luz visible y las ondas de radio que, por lo tanto, fueron las primeras técnicas astronómicas en desarrollarse.

Se accede parcialmente al espectro infrarrojo con telescopios instalados en aviones y globos. Desde observatorios espaciales especializados se puede acceder a todo el espectro electromagnético.

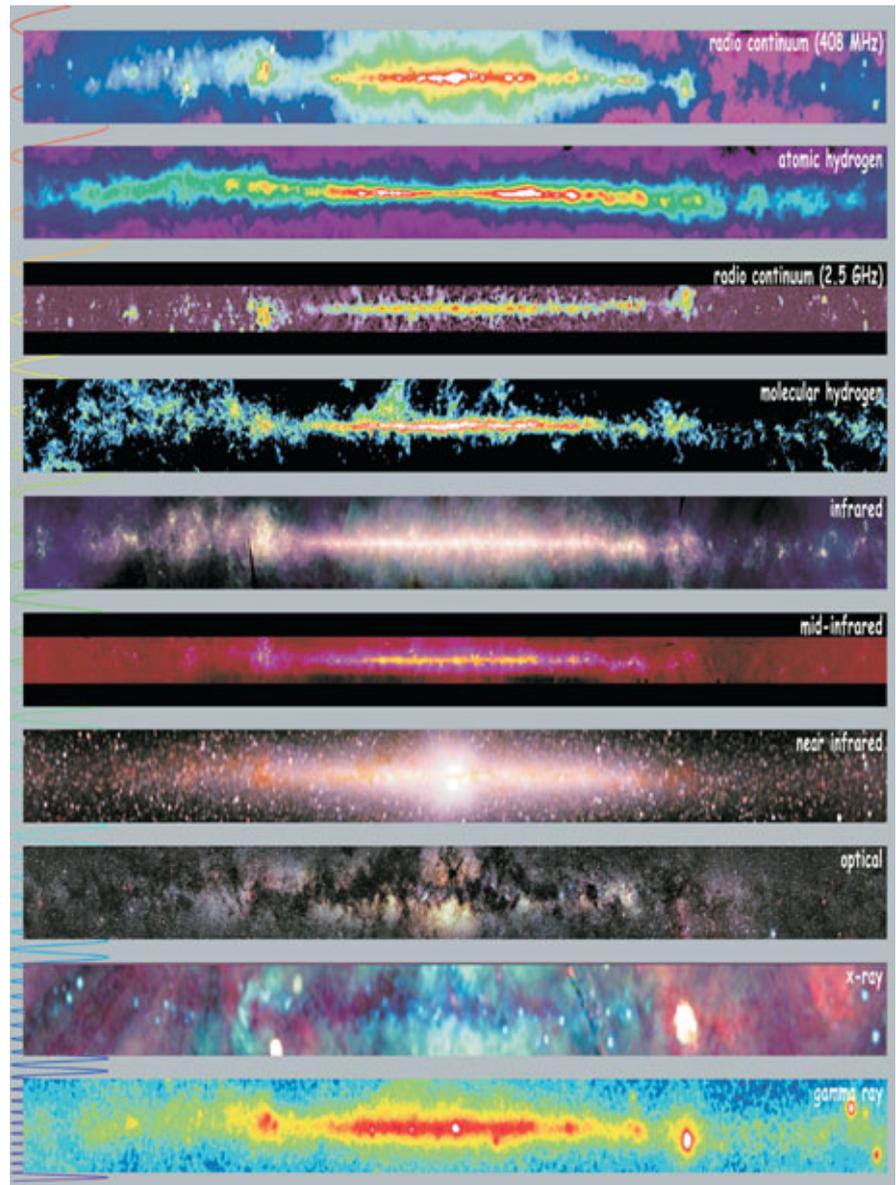
El estudio actual de cualquier astro se realiza mediante su observación en varios rangos del espectro electromagnético, con lo que se obtiene información complementaria acerca de su naturaleza y de los fenómenos que en él predominan. Durante la segunda mitad del siglo XX, el cielo entero ha sido cartografiado en todos los rangos. Su aspecto a gran escala está dominado por la emisión de los diversos componentes de nuestra galaxia: estrellas, polvo, gas caliente, gas frío.

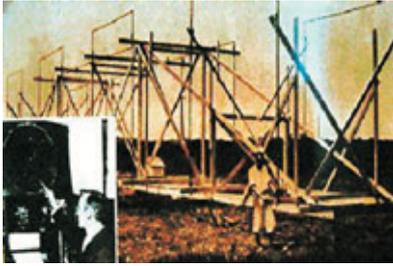
Representación esquemática del espectro electromagnético.



La imagen visible de nuestra galaxia, la Vía Láctea, es incompleta, pues la absorción por el polvo interestelar limita la zona en que las estrellas son observables. Su estructura espiral completa y las regiones donde se encuentra el material del que nacen estrellas se conocen mediante ondas de radio. Las regiones donde están naciendo estrellas y la distribución de estrellas a gran escala se conoce en infrarrojo. La muerte explosiva de estrellas se estudia en rayos X. Los rayos gamma son el resultado de la interacción de las partículas de los rayos cósmicos con el gas interestelar.

La Vía Láctea vista a diferentes longitudes de onda. Cortesía de NASA.





Karl Jansky (1906-1950) el iniciador de la Radioastronomía y la antena giratoria con la que descubrió las ondas de radio de origen cósmico. Cortesía de NRAO.

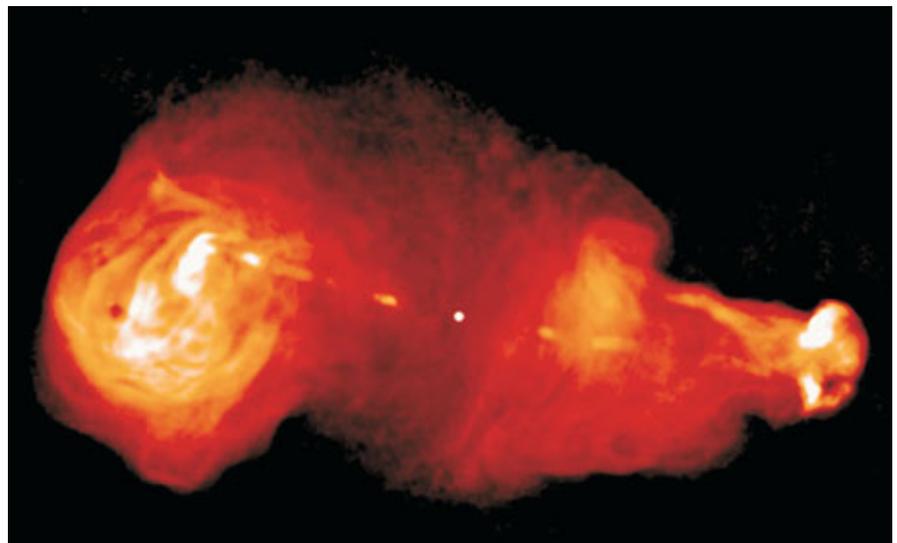
## II. La Radioastronomía

### Inicios de la Radioastronomía

La primera detección astronómica a longitudes de onda radio (14,6 m) fue realizada por Karl. G. Jansky en 1931. Jansky era un ingeniero de Bell Telephone Laboratories que construyó una antena para estudiar la dirección de la que provenían las interferencias en las comunicaciones de radio. Con esta antena detectó una emisión de origen desconocido procedente de un punto que se movía con el cielo. Fue en 1935 cuando Jansky identificó esta emisión como procedente del centro de la galaxia, convirtiéndose en la primera observación radioastronómica. En 1937, otro ingeniero, Grote Reber, construyó la primera antena parabólica y realizó el primer mapa de emisión radio de la galaxia.

La Radioastronomía posee una gran capacidad para investigar tanto astros a gran distancia, como otros más cercanos, a menudo revelándonos aspectos del universo que no son observables en otras longitudes de onda. Debido a que el tiempo que la luz tarda en viajar desde un astro hasta nosotros puede ser muy grande, los objetos más alejados se nos muestran tal como eran hace mucho tiempo. Así, la Radioastronomía nos permite observar desde el estado primitivo del universo, hasta el nacimiento y muerte de las estrellas más cercanas, pasando por galaxias más o menos lejanas y los planetas y cometas de nuestro sistema solar.

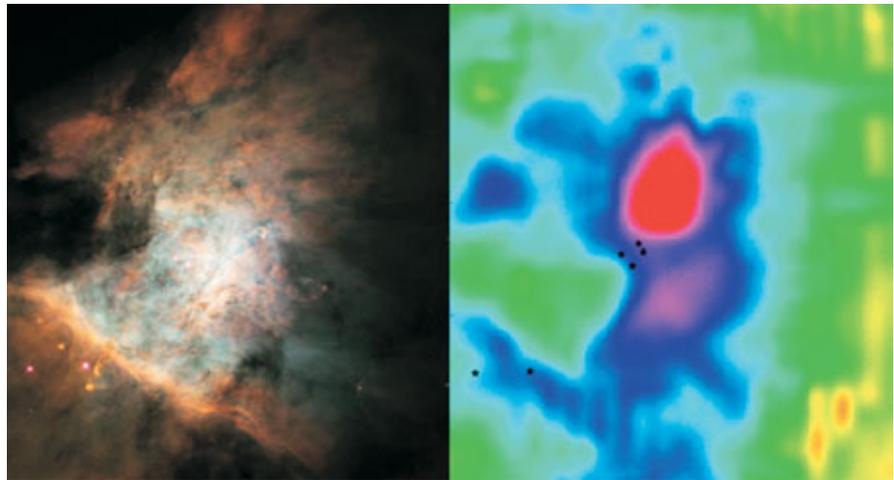
La radiogalaxia 3C355, cartografiada en varias bandas con el interferómetro VLA. Cortesía de NRAO.



## Nacimiento de las estrellas y nubes interestelares

La Radioastronomía ha permitido estudiar las grandes cantidades de gas que se agrupan en el espacio que queda libre entre las estrellas. Estas nubes interestelares son auténticas fábricas de estrellas, que se forman de su condensación. Cuando la temperatura en el centro es suficientemente alta, empiezan a tener lugar reacciones nucleares, la estrella se calienta mucho y se hace visible. La imagen de la derecha muestra la emisión de la molécula de monóxido de carbono (CO), a longitudes de onda radio, en la nebulosa de Orión. Ha sido tomada con el radiotelescopio de 30 m de IRAM-IGN, situado en Sierra Nevada. Las estrellas más jóvenes se encuentran embebidas en la zona con mayor emisión (color rojo). A la izquierda vemos la imagen óptica de esta región tomada con el *Hubble Space Telescope*.

Imagen séptica de la nebulosa de Orión obtenida con el Telescopio Espacial Hubble HST de NASA/ESA junto a una radioimagen de la emisión de la molécula de monóxido de carbono obtenida con el radiotelescopio de IRAM en Pico de Veleta.



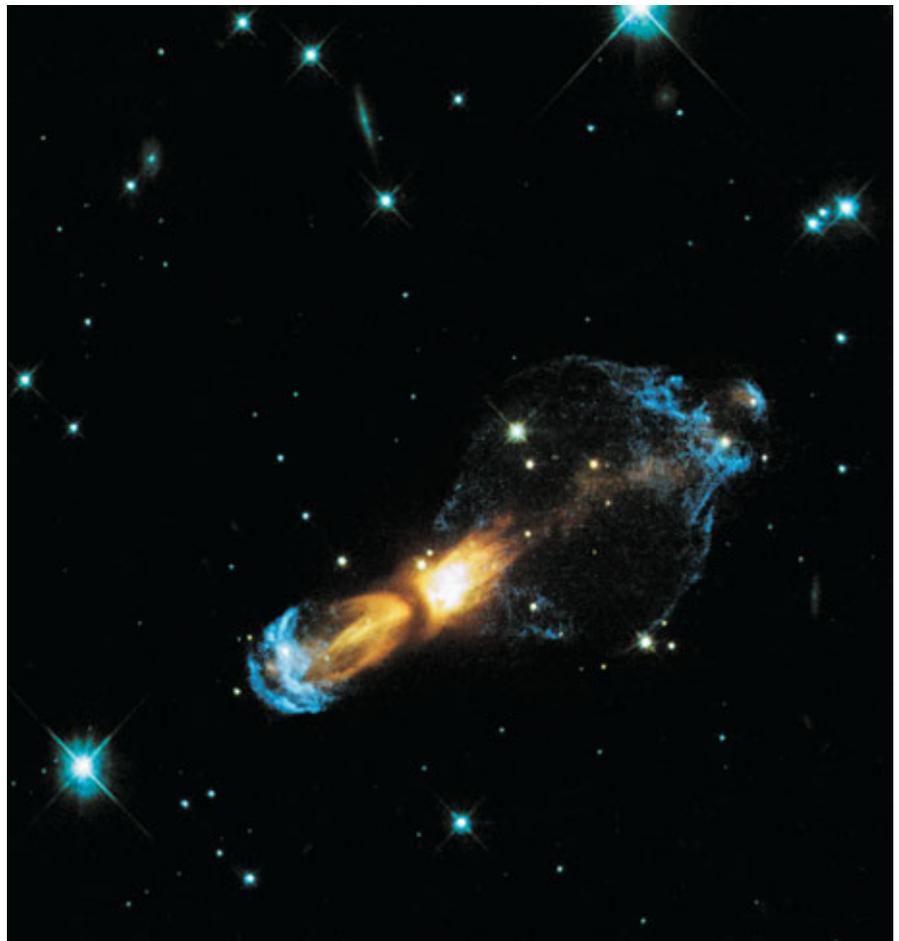
## Nebulosas planetarias

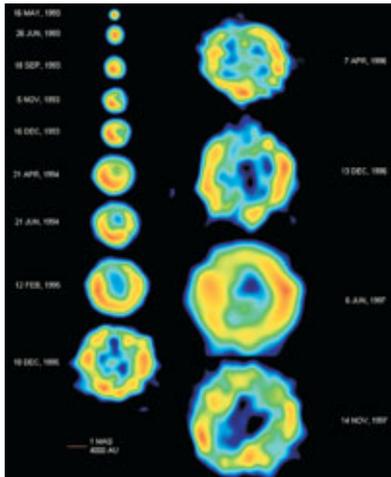
Las estrellas de masa moderada (casi todas las observables) al final de sus vidas expulsan material al exterior. Llegado un momento, la mayor parte del gas estelar ha sido eyectado. El caliente remanente estelar es capaz entonces de calentar e iluminar esta envoltura, dando lugar a las llamadas nebulosas planetarias, entre las que se encuentran algunos de los objetos más bellos del universo. Mostramos una imagen de una nebulosa planetaria en formación, obtenida con el *Hubble Space Telescope*. Se aprecia una amplia onda de choque que calienta el gas (en azul), así como el material frío y masivo que es iluminado por la estrella (amarillo). Esta componente ha sido también observada en emisión de CO, lo que ha permitido estudiar con gran precisión las propiedades de la mayor parte del gas que un día constituyó la estrella.

## Muerte de las estrellas: Pulsares y supernovas

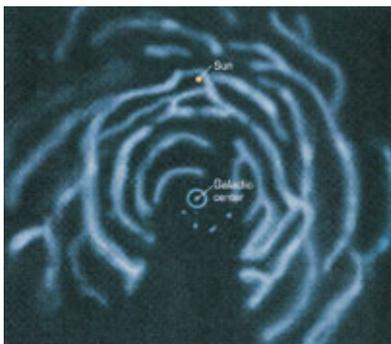
En 1967 se descubrió el primer pulsar, un objeto que emite ondas radio en pulsos espaciados un tiempo fijo. En 1974, A. Hewish, recibió el Premio Nobel por el descubrimiento de los pulsares (premio que fue compartido por M. Ryle, por sus trabajos en el desarrollo de la radio interferometría). En 1993, J.H. Taylor y R.A. Hulse recibieron el Premio Nobel por el descubrimiento del pulsar binario PSR1913+16, que manifiesta fenómenos relativistas. Las estrellas muy masivas terminan su vida explotando en forma de supernova; eyectan al exterior una nebulosa y dejan en su centro una estrella de neutrones, que emite en forma de pulsos debido a su rápida rotación: un pulsar. Mostramos aquí las imágenes en radio continuo de la nebulosa eyectada por la supernova SN1993J, en las que se aprecia su movimiento de expansión.

Imagen de la nebulosa planetaria en formación OH231 obtenida por astrónomos del Observatorio Astronómico Nacional mediante el HST. Cortesía de NASA/ESA.





Secuencia de imágenes en el continuo radio de la nebulosa eyectada por la explosión de supernova SN1993J, descubierta por un astrónomo aficionado español, en las que se aprecia su movimiento de expansión. Cortesía de NRAO.



Distribución de los átomos de hidrógeno en nuestra galaxia, demostración de que la Vía Láctea es una galaxia espiral. Cortesía de G. Westerhout.

## Estructura de nuestra galaxia y galaxias cercanas

En 1951, Ewen y Purcell de la Universidad de Harvard detectaron la línea de 21 cm del hidrógeno atómico (HI). El hidrógeno es el elemento más abundante del universo. Gracias a este descubrimiento se pudo determinar la estructura espiral de nuestra galaxia por primera vez, así como el movimiento de rotación de la misma alrededor de su centro. Las observaciones del HI han permitido también la determinación de la morfología y movimiento de rotación de otras galaxias.

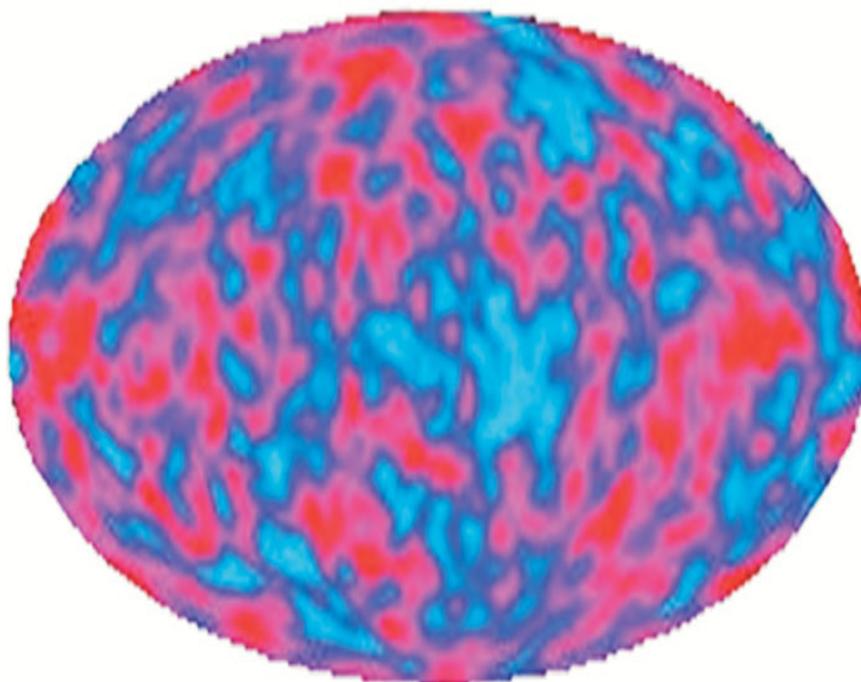
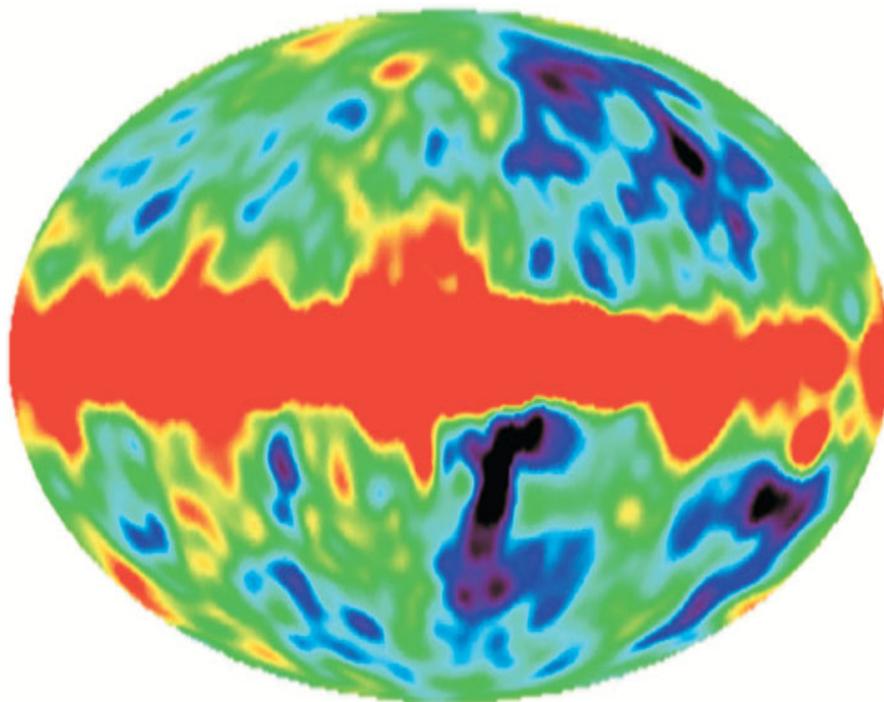
## Materia interestelar

Desde 1963, cuando Weinreb, Barrett, Meeks y Henry detectaron la emisión de la molécula OH, se han venido detectando numerosas moléculas en ondas radio, cuya observación ha producido también importantes datos en este campo. Al iniciarse el siglo XXI se conocían ya más de 120 moléculas en el medio interestelar.

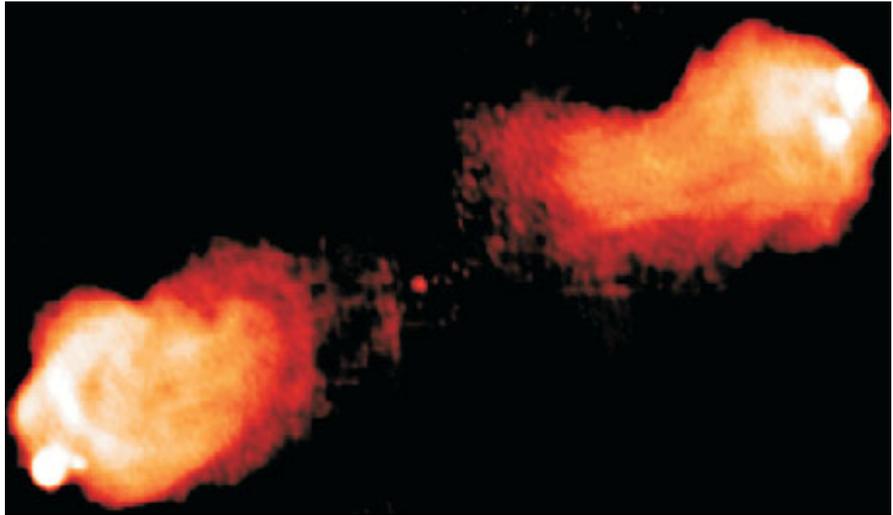
## Radiogalaxias y cuásares: El poder de los agujeros negros

Ya en los primeros años de la Radioastronomía (1946), se detectaron las primeras radiogalaxias, que emiten en ondas radio mucho más que las galaxias consideradas normales, como son Andrómeda o nuestra Vía Láctea. Se cree que la intensa emisión de las radio galaxias se debe a la existencia de un agujero negro en su centro, al que cae todo el material que lo rodea. Simultáneamente a la caída de materia al agujero negro, se produce la eyección de electrones a una velocidad cercana a la de la luz en dos chorros (*jets*) en sentidos opuestos. Un caso especial de radio galaxias son los cuásares, que constituyen los objetos observados más lejanos del universo (hasta 14 mil millones de años luz). En estas imágenes vemos Cygnus A, la primera radiogalaxia detectada, observada a una longitud de onda de 6 cm.

En las imágenes, las zonas azules y rojas corresponden a regiones de mayor o menor densidad en el universo primitivo.



(Derecha) Emisión en el continuo radio a la longitud de onda de 6 cm de la intensa radiofuente Cygnus A, la primera radiogalaxia detectada. Cortesía de NRAO.



### El origen del universo

Se piensa que el fondo cósmico de microondas es un remanente de la radiación del Big Bang, el origen del universo. A. Penzias y R. Wilson recibieron el Premio Nobel en 1978 por este descubrimiento. Las imágenes que mostramos fueron creadas partiendo de los datos obtenidos por el satélite *Cosmic Background Explorer* (COBE). En esta imagen de todo el cielo, se pueden ver fluctuaciones relativas del fondo cósmico de microondas extremadamente tenues, tan sólo una parte en 100.000, comparadas con la emisión promedio del campo de radiaciones. En las imágenes, las zonas azules y rojas corresponden a regiones de mayor o menor densidad en el universo primitivo, apenas 300.000 años después del Big Bang, antes de que éstas se organizaran para formar estrellas y galaxias. El fondo de radiación cósmico constituye el límite de nuestro viaje hacia atrás en el tiempo.

### III. La exploración del universo en radiofrecuencia

Se denomina "Poder de resolución" de un telescopio al ángulo mínimo que tiene que haber entre dos objetos para que puedan apreciarse como separados.

El poder de resolución del ojo humano es de un minuto de arco ( $1'$ ), lo que nos permite distinguir los dos focos de un automóvil a una distancia de unos 5 km. Cuanto mayor es el poder de resolución de un telescopio, más nítidas serán las imágenes que proporcione. En Astronomía, la obtención de imágenes de alta calidad es fundamental, pues permite el estudio de objetos muy lejanos o muy pequeños.

#### Telescopios simples

La nitidez de las imágenes depende de la calidad del propio telescopio y de su emplazamiento, pero además existe una limitación debida a la naturaleza de la luz: las imágenes serán más detalladas cuanto mayor sea el telescopio y más pequeña sea la longitud de onda a la que trabaje. En la práctica, es imposible construir telescopios muy grandes que trabajen a longitudes de onda muy pequeñas. Esto hace que no se puedan obtener imágenes muy detalladas. En ondas radio, los mejores telescopios logran obtener imágenes con una resolución de unos 10 segundos de arco ( $10''$ ).

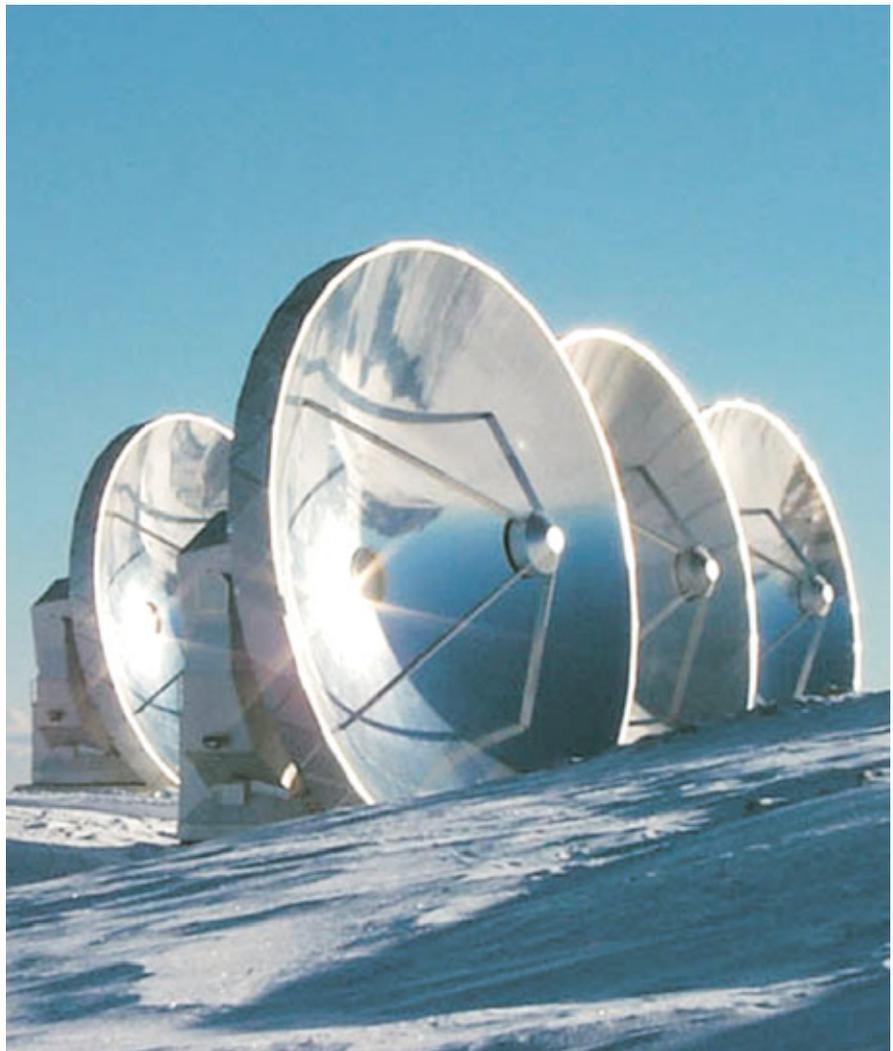
El radiotelescopio para ondas milimétricas de 30 m de diámetro del Instituto de Radioastronomía Milimétrica IRAM (de IGN, CNRS y MPIfR), situado en las laderas del Pico de Veleta (España). Cortesía de IRAM.

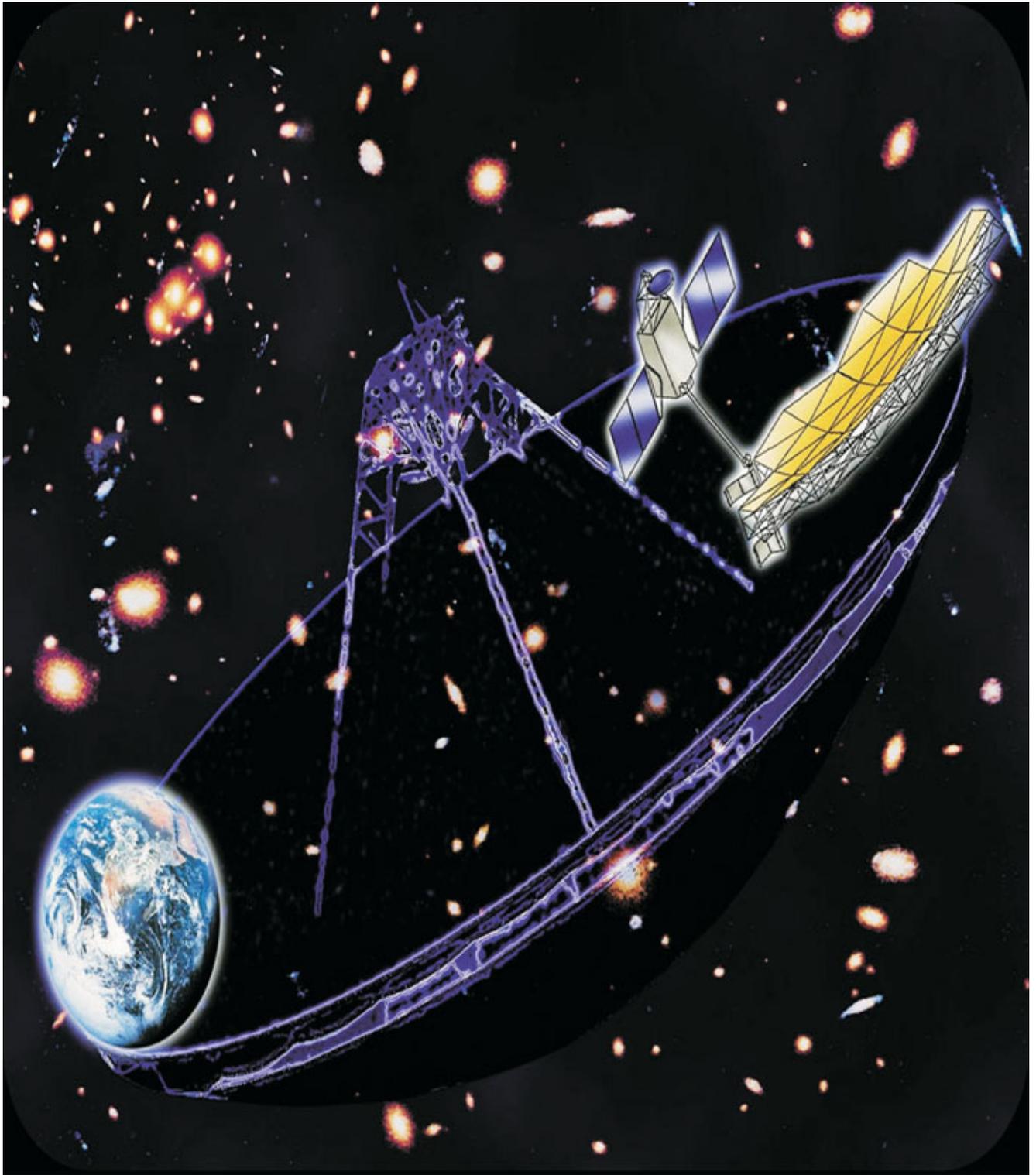


## Interferómetros

Para superar estas limitaciones y obtener imágenes más detalladas, se usa una técnica denominada interferometría, consistente en combinar las señales detectadas en dos o más telescopios. El poder de resolución ya no depende del tamaño de los telescopios, sino de su separación. A este tipo de instrumentos se les denomina interferómetros. Si las señales de los distintos elementos del interferómetro se combinan de modo inmediato, se habla de interferómetros conectados, con elementos separados entre decenas de metros y centenares de kilómetros. Mediante el uso de estas técnicas, en ondas radio se han llegado a alcanzar resoluciones de  $0",05$ .

El interferómetro para ondas milimétricas con 6 antenas de 15 m de diámetro del Instituto de Radioastronomía Milimétrica IRAM (de IGN, CNRS y MPIfR), situado en el Plateau de Bure (Francia). Cortesía de IRAM.

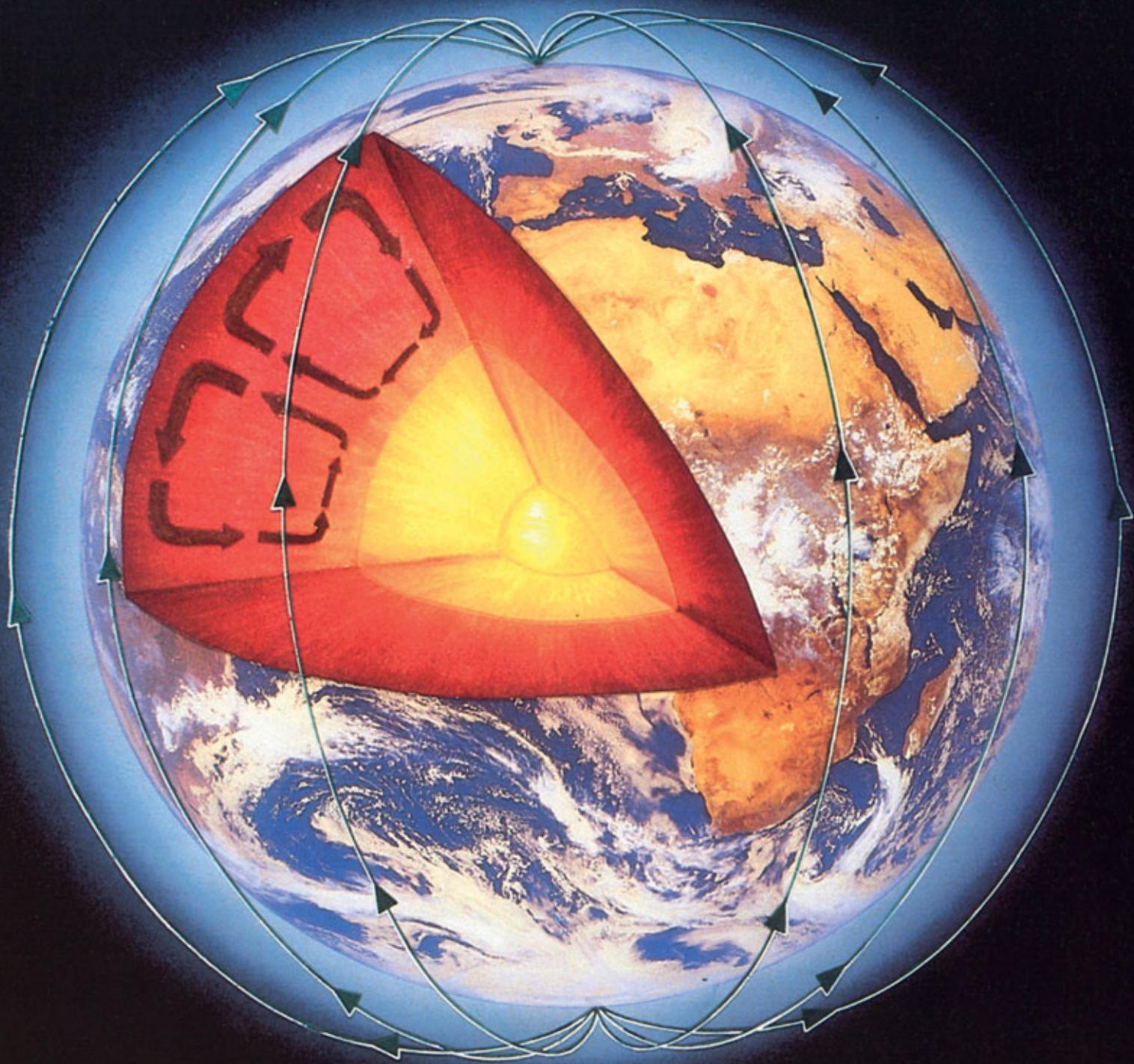




## El VLBI

Cuando la separación de los distintos elementos del interferómetro es muy grande, resulta imposible conectarlos entre sí. Sus señales se combinan posteriormente en los denominados correladores. Se trata de la Interferometría de Líneas de Base Muy Largas (IMLB, o VLBI en inglés). En el VLBI se combinan las señales de telescopios distribuidos por todo un continente, o por todo el mundo, llegándose a obtener imágenes con detalles de  $0",000.05$ . También se han utilizado telescopios en órbita alrededor de la Tierra, en combinación con las distintas redes de VLBI, alcanzándose líneas de base de 30.000 km de longitud.

Esquema del proyecto de interferometría espacial VSOP-2 con el que se espera alcanzar una resolución angular de 40 microsegundos de arco, un poder de resolución dos millones de veces mejor que el ojo humano. Cortesía de NAOJ.



## IV. La Radioastronomía en las Ciencias de la Tierra

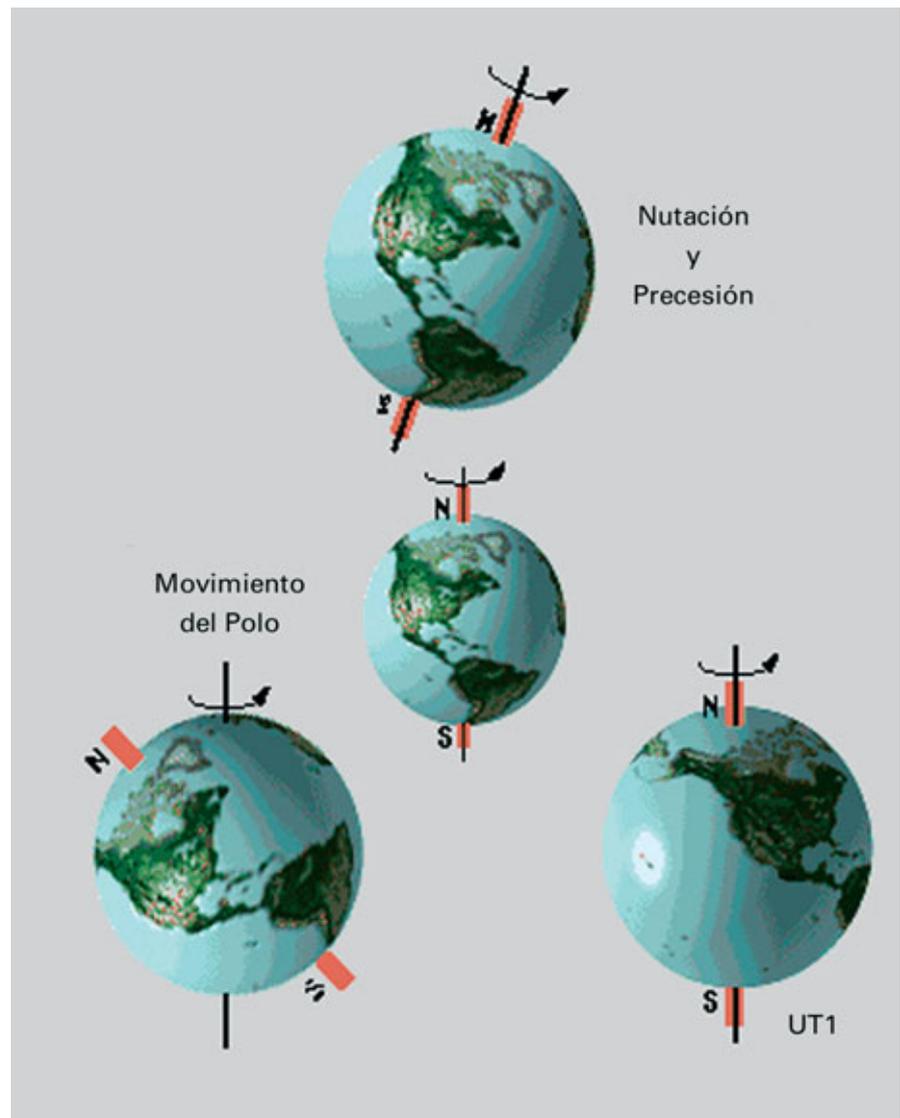
Las técnicas de observación radioastronómica son un importante complemento para el estudio de la estructura, actividad y orientación de la Tierra. En las últimas dos décadas se han puesto en marcha proyectos de seguimiento del movimiento de las placas tectónicas terrestres (CDP), o de monitorización continuada de la rotación terrestre (CORE), así como organizaciones como el Servicio Internacional de VLBI para Geodesia y Astrometría (IVS), en las que el Instituto Geográfico Nacional participa con su radiotelescopio en el Centro Astronómico de Yebes.

### La estructura de la Tierra

Nuestro planeta Tierra tiene la forma de un geoide, es decir, una esfera ligeramente achatada por los polos y "abultada" por el Ecuador. La Tierra tiene una estructura formada por capas concéntricas compuestas de diferentes materiales y separadas por superficies de discontinuidad. La corteza es la capa más superficial, representa tan sólo el 1,6% del volumen total de la Tierra y es la parte más fría y rígida de nuestro planeta, con abundancia de cuarzo y feldespatos (corteza continental) y basalto (corteza oceánica). Su comportamiento rígido explica la existencia de grandes fracturas que la dividen en diferentes trozos, las placas litosféricas ó placas tectónicas, que se desplazan lentamente. El estrato inmediatamente inferior es el manto, que representa el 82% del volumen total de la Tierra y está formado principalmente por diferentes silicatos. La capa más interna y más densa de la Tierra es el núcleo, que ocupa el 16% del volumen total y está formado por una mezcla de diferentes metales, fundamentalmente hierro y níquel.

## Fenómenos que determinan el movimiento global de la Tierra

El movimiento de la Tierra es complejo. Las fuerzas externas de atracción gravitatoria del Sol, la Luna y los planetas causan que la Tierra se bambolee como un trompo que gira. Otros efectos más complejos alteran la duración del día y la orientación del eje de rotación con respecto a la corteza terrestre, tales como la no rigidez de la Tierra; la interacción entre la atmósfera, océanos, tierra sólida y núcleo fluido; y la respuesta elástica de la Tierra a la distribución cambiante de cargas oceánicas, cargas atmosféricas y cargas glaciales en su superficie.

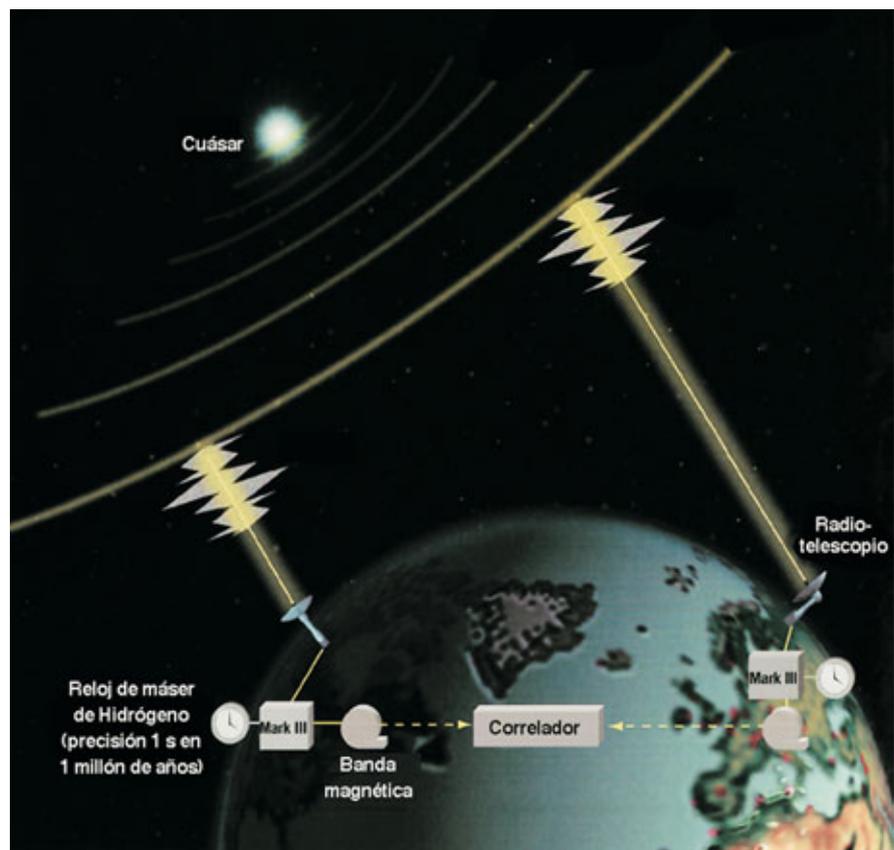


La orientación de la Tierra en el espacio cambia lentamente con el tiempo. Los polos Norte y Sur geográficos (en rojo) son puntos imaginarios fijos sobre la superficie terrestre que definen la latitud. El eje, en color negro, indica el eje de rotación instantánea de la Tierra. En algún momento en el pasado, los polos Norte y Sur coincidieron con el eje de rotación. Los cambios en la orientación de la Tierra se describen como una composición de 3 componentes: a) movimiento periódico a largo plazo del eje de rotación en el espacio, denominado (precesión) y (nutación); b) movimiento de los polos con respecto al eje de rotación, que describen una espiral alejándose del eje; c) no uniformidad de la rotación diurna de la Tierra (parámetro UT1).

### Técnicas para medir la Tierra desde el espacio exterior

El desarrollo de nuevas técnicas ultra-precisas que permiten determinar posiciones sobre la corteza terrestre, bien a través de observaciones astronómicas (VLBI), o de constelaciones de satélites, han proporcionado un gran impulso a los estudios de las Ciencias de la Tierra.

La técnica de VLBI es fundamental en geodesia. La observación de cuásares se emplea para medir posiciones en la Tierra y determinar su orientación global en un sistema de referencia inercial.





En la actualidad, se ha establecido un marco de referencia terrestre internacional (ITRF) materializado por un conjunto de más de 200 estaciones con posiciones y velocidades conocidas, cuyas coordenadas están definidas con una precisión absoluta de unos pocos milímetros. Su mantenimiento y continuo perfeccionamiento están a cargo de la comunidad científica internacional a través del Servicio Internacional de Rotación Terrestre (IERS).

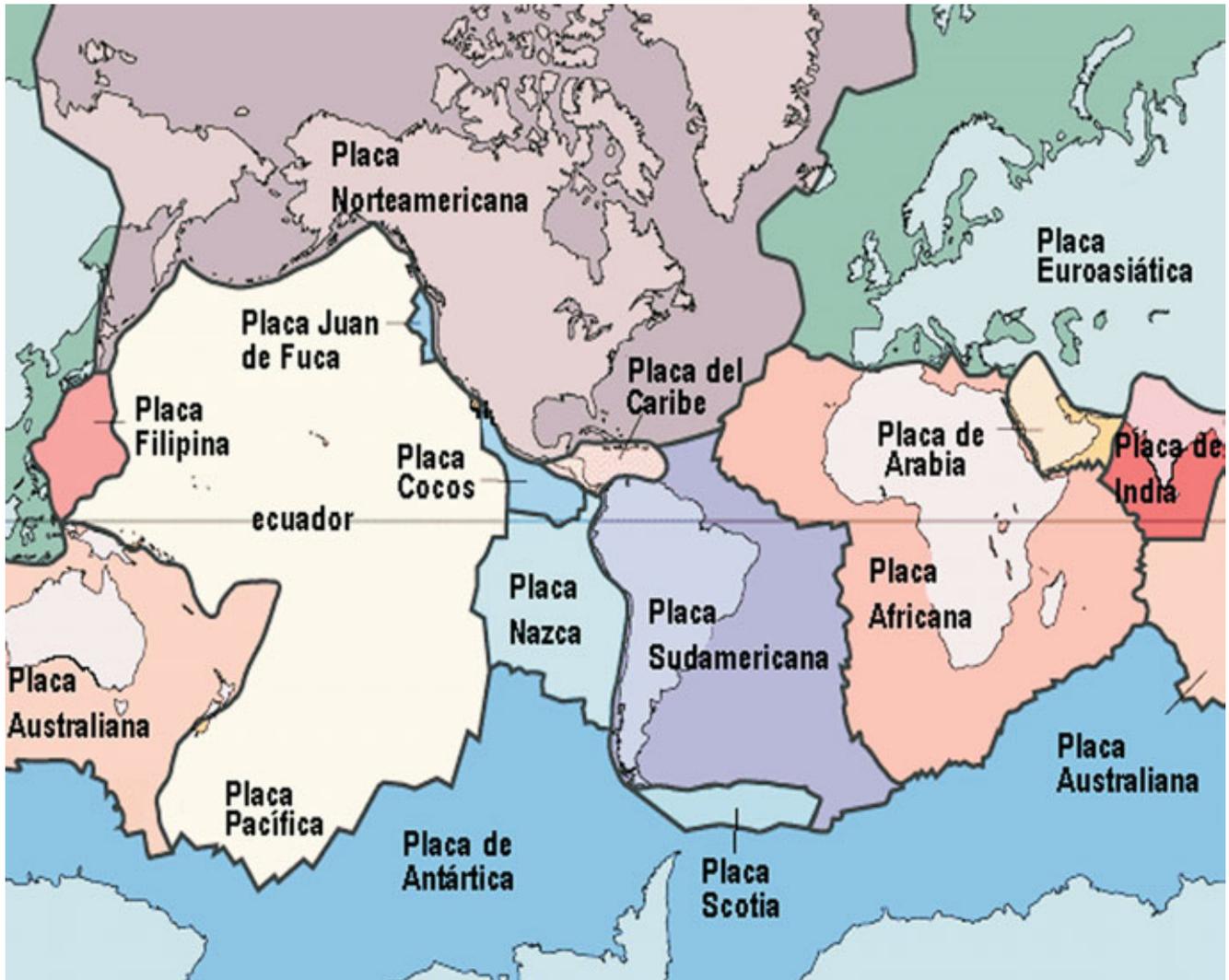
Otras técnicas espaciales de posicionamiento utilizan medidas de constelaciones específicas de satélites para determinar los parámetros geodésicos. Es el caso del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) de EE.UU., constituido por una red de 29 satélites que permiten la localización de un punto sobre la Tierra con una precisión de unos pocos centímetros. Otros sistemas son el ruso GLONASS y el sistema de posicionamiento por satélite europeo denominado GALILEO, actualmente en estudio. Sus resultados científicos son explotados por el Servicio Internacional GPS para la Geodinámica (IGS).

### Orientación de la Tierra en el espacio

VLBI es una técnica fundamental en Geodesia que utiliza observaciones de cuásares para medir posiciones en la Tierra, y determinar su orientación global en un sistema de referencia inercial.

Observaciones de cuásares con VLBI proporcionan estimados muy precisos de las variaciones de la orientación de la Tierra en un sistema inercial, el espacio. Estas medidas permiten el estudio de los modelos de atmósfera, océanos, componente de tierra sólida y del interior de la Tierra propuestos por los geofísicos. El proyecto CORE es el más importante de los desarrollados actualmente.

Receptor y antena de la estación GPS del Centro Astronómico de Yebes (OAN), que a su vez emplea su radiotelescopio como parte de la Red Europea de VLBI.



Esquema de las placas tectónicas terrestres tal como se interpretan por los modelos geodinámicos actuales. Cortesía de USGS.

## Deriva continental y deformaciones de la corteza terrestre

En 1912, Alfred Lothar Wegener, astrónomo y meteorólogo alemán, retomó un antiguo modelo de finales del siglo XVI, del holandés Abraham Ortelius, y propuso su teoría de la "Deriva continental" según la cual los continentes actuales se formaron a partir de un único gran continente denominado Pangea, que se fraccionó en distintas piezas. En 1930, la teoría de "Tectónica de placas" explica que las placas litosféricas están en continuo movimiento, acercándose o alejándose entre sí, debido a las fuerzas que ejercen las corrientes de convección originadas por gradientes de temperatura en el interior.

La primera medida directa del movimiento relativo de las placas tectónicas es de 1983, con el programa *Crustal Dynamics Project* (CDP) liderado por la NASA, mediante técnicas geodésicas espaciales de alta precisión, VLBI y SLR.

En la actualidad, se desarrollan proyectos de monitorización de las deformaciones horizontales y verticales de las placas tectónicas a nivel local (intra-placa) con VLBI y GPS, como el proyecto EUROPE -heredero del CDP- en el que participa el IGN, utilizando el equipamiento y las técnicas de análisis de datos más modernas.

## V. Observatorio Astronómico Nacional

El Observatorio Astronómico Nacional es una institución dedicada a la investigación astronómica pura y aplicada. Comprende el Observatorio de Madrid, el Centro Astronómico de Yebes y la Estación de Observación de Calar Alto. Fundado en 1790, en la actualidad depende del Instituto Geográfico Nacional (Ministerio de Fomento).



**El Observatorio Astronómico de Madrid** es un observatorio con más de doscientos años de historia, fundado por iniciativa de Carlos III a sugerencia del ilustre marino Jorge Juan. Mientras el famoso astrónomo e instrumentalista W. Herschel se encargaba de fabricar el primer gran telescopio que se iba a utilizar en el Observatorio, un telescopio reflector con un espejo de 60 cm de diámetro, los primeros astrónomos del Observatorio iniciaron, en distintos países europeos, el aprendizaje en la construcción de instrumentos y en las observaciones astronómicas.

En 1854, se instala el meridiano Repsold y en 1858, el antejo ecuatorial Mertz, iniciándose una etapa de interesantes trabajos astronómicos, geodésicos y meteorológicos, así como la participación en campañas de cooperación internacional. En marzo de 1904, el Observatorio fue agregado al ahora llamado Instituto Geográfico Nacional (IGN). En 1912, se adquiere el gran ecuatorial de Grubb y equipos accesorios, así como un espectroheliógrafo. En sus primeras épocas, las actividades desarrolladas en el Observatorio cubrían todos los campos de la Astronomía y ciencias afines: desde la física solar y estelar a la mecánica celeste, el desarrollo de instrumentación, conservación oficial de la Hora y las aplicaciones en Geodesia.

El Observatorio conoce una nueva etapa de modernización y expansión en la década de los setenta. Es entonces cuando se crean el Centro Astronómico de Yebes, en la provincia de Guadalajara, donde se instala un radiotelescopio de 14 m de diámetro para ondas milimétricas, y la Estación de Observación de Calar Alto, en Almería, en la que se instala un telescopio óptico de 1,52 metros de apertura. Con ello, se potencian las líneas más tradicionales de la astronomía óptica que venían llevándose a cabo en el Observatorio de Madrid (Astrometría, Heliofísica, Física estelar) y se inicia en nuestro país una nueva línea de investigación y desarrollo instrumental, la Radioastronomía.

Fachada principal del edificio del arquitecto Juan de Villanueva para el Observatorio Astronómico de Madrid y que actualmente alberga la sede central del Observatorio Astronómico Nacional.

El conjunto de los tres observatorios pasa, desde entonces, a llamarse Observatorio Astronómico Nacional (OAN).

**El Centro Astronómico de Yebes (CAY)**, situado en la provincia de Guadalajara, es, en la actualidad, el centro de desarrollo tecnológico más importante de cuantos integran el Observatorio Astronómico Nacional. Además de las cúpulas que albergan los instrumentos de observación, el CAY cuenta con un laboratorio para el desarrollo de instrumentación, y es el centro base para el trabajo de un amplio grupo de investigadores y tecnólogos.

El desarrollo de instrumentos para aplicaciones astronómicas se inició en el CAY a finales de los años setenta, tras la instalación de un radiotelescopio para ondas milimétricas al que se ha dotado de un sistema de control por ordenador, receptores y espectrómetros para el análisis de las señales. Este radiotelescopio está diseñado para realizar observaciones a una longitud de onda de 7 mm. Este radiotelescopio ha sido el instrumento más importante del CAY, habiendo desempeñado un papel determinante en el desarrollo de la Radioastronomía en nuestro país. Alrededor de él, se han formado y entrenado radioastrónomos e ingenieros en una técnica observacional en la que España tiene un importante papel al disponer, a través del Instituto hispano-franco-alemán de Radioastronomía Milimétrica (IRAM), de los mejores instrumentos del mundo: el radiotelescopio de 30 metros de diámetro en el Pico de Veleta y el interferómetro de seis antenas de 15 metros del Plateau de Bure (Francia).

En el campo de investigación y desarrollo instrumental, nuestros laboratorios se han especializado en la construcción de amplificadores criogénicos de muy bajo ruido y banda ancha que son usados en nuestros receptores, en los de IRAM, en otros observatorios radioastronómicos, como los de Bordeaux (Francia), Meudon (Francia) e I.N.P.E (Brasil), en proyectos europeos de investigación atmosférica como PRONAOS y EMCOR, y en nuevos radiotelescopios actualmente en desarrollo, como el Observatorio Espacial Herschel y el interferómetro ALMA.

La incorporación del OAN a la Red Europea de VLBI, *Very Long Baseline Interferometry* (Interferometría de Muy Larga Base), supuso la necesidad de participar a otras longitudes de onda en las observaciones de VLBI. Por esta razón, se estudió una solución para utilizar el radiotelescopio en bandas S/X (2 y 8 GHz). Se instaló un receptor de bandas S/X y se diseñó y construyó un segundo subreflector que adapta el radiotelescopio a estas longitudes de onda. Por último, se ha iniciado la construcción de un nuevo radiotelescopio de 40 m de diámetro que está llamado a ser el más potente de la Red Europea de Telescopios de VLBI. Los ingenieros del OAN están realizando numerosos estudios y desarrollos en óptica de antenas, receptores, espectrómetros y *software* de control necesarios para la puesta en marcha y operación de dicho radiotelescopio.

El OAN es miembro fundador del JIVE, Instituto Conjunto para Interferometría de Muy Larga Base en Europa, con sede en Holanda, cuyo propósito es proveer a los usuarios de la Red Europea de VLBI (EVN) de ayuda en su uso y de un correlador.

**El Observatorio de Calar Alto**, Centro Astronómico Hispano-Alemán (CAHA), localizado a 44 km al norte de la ciudad de Almería, es fruto de un acuerdo de colaboración firmado por los gobiernos de España y la República Federal Alemana en 1972, ahora en proceso de revisión. Además de los telescopios instalados por la Sociedad Max Planck, el Observatorio Astronómico Nacional instaló en 1977 un telescopio óptico de 1,5 m de diámetro fabricado por la empresa francesa REOSC, que dispone de instrumentación post-foco (fotómetro, cámara CCD, cámara infrarroja MAGIC) con la que se llevan a cabo observaciones de una gran variedad de objetos astronómicos (planetas, estrellas, nubes interestelares, galaxias, etcétera).



## VI. Proyecto ALMA

ALMA, siglas de *Atacama Large Millimeter Array* (Gran Interferómetro de Ondas Milimétricas de Atacama), es el más ambicioso proyecto en Radioastronomía para las próximas décadas. Fruto de una colaboración entre Europa y Norteamérica (EE.UU. y Canadá), a la que probablemente se sumará Japón en un futuro próximo, ALMA será un conjunto de 64 antenas parabólicas de 12 metros de diámetro y altísima precisión que se instalará en un área de unos 15 x 15 kilómetros en la Llanura de Chajnantor, a 5.000 metros de altitud, en el desierto de Atacama, Chile, cerca del altiplano boliviano.

El área colectora del instrumento será de unos 10.000 m<sup>2</sup> y las líneas de base (distancias) entre antenas podrán llegar a ser de 10 km, por lo que la resolución angular (capacidad para discernir pequeños detalles) será de unos 0,03 segundos de arco (funcionando a una longitud de onda de 1,3 mm). Una altísima precisión de las antenas es necesaria para que el telescopio pueda observar el firmamento en longitudes de onda milimétricas y submilimétricas. Con esta resolución espacial y una sensibilidad sin precedentes (entre 2 y 3 órdenes de magnitud más altos que los de cualquier otro telescopio o interferómetro de los operacionales o en proyecto), ALMA está llamado a proporcionar descubrimientos cruciales en muchas áreas de la Astrofísica, pero muy especialmente en temas referentes a la formación de los planetas, las estrellas y las galaxias.

La participación española se cifra en un 7,5 por 100 de la contribución europea que, a su vez, es un 50 por 100 del proyecto total, cuyo coste se cifra en unos 550 millones de euros. Esta participación nacional resulta de un esfuerzo conjunto y solidario de dos ministerios: Fomento y Ciencia y Tecnología. Desde los inicios del proyecto, el Instituto Geográfico Nacional ha contribuido en el proyecto tanto con aportaciones científicas (participación en el Comité Científico Consultivo internacional que define los posibles objetivos científicos y las necesidades instrumentales requeridas para su logro), como con desarrollos tecnológicos e instrumentales realizados en los laboratorios del Observatorio Astronómico Nacional (OAN), cuyos astrónomos e ingenieros han venido adquiriendo durante los últimos veinte años un reconocido dominio de las técnicas de la Radioastronomía milimétrica.

Imagen artística del proyecto ALMA, el futuro Gran Interferómetro de Ondas Milimétricas de Atacama, que constará de 64 antenas de 12 metros de diámetro. Cortesía de NAOJ y ESO.

En el ámbito de los desarrollos tecnológicos e instrumentales, se ha comenzado en los laboratorios del Centro Astronómico de Yebes la fabricación de prototipos de ciertos componentes que deberán equipar los receptores del interferómetro (diseño y construcción de amplificadores de muy bajo ruido funcionando a temperaturas criogénicas, a unos 260 grados bajo cero). Además, personal del Observatorio Astronómico Nacional contribuye al diseño óptico de la cadena de recepción y participa en el proceso de optimización (mediante técnicas de holografía) de los prototipos de antena de ALMA, instalados recientemente en el observatorio de VLA (*Very Large Array*), el gran interferómetro de ondas centimétricas que se encuentra en Socorro (Nuevo México).

La obra civil ha comenzado en 2003 en Atacama y se prolongará hasta mediados de 2005, fecha en que se espera que llegue la primera antena al Observatorio de Chajnantor. A partir de ese momento, las antenas deberán ir incorporándose al interferómetro a un ritmo de una al mes aproximadamente, de forma que el instrumento se encuentre completo, con su 64 antenas, hacia 2012. Pero desde el momento en que cuente con unas 6 u 8 antenas, hacia el año 2007, se tratará ya de un instrumento mucho más sensible que cualquiera de los otros interferómetros que se encuentran operativos en el mundo.

Los radioastrónomos españoles ya se están preparando para participar en las primeras observaciones que ALMA realizará a mediados de 2007. Se espera que estas observaciones revelen detalles fascinantes de la formación de las galaxias, de las estrellas y de los sistemas planetarios. Se prevé que el diseño, la puesta a punto y la explotación científica de ALMA ocuparán la actividad en Radioastronomía durante, al menos, los próximos 40 años. Colocándose de este modo en primera línea de la investigación astronómica, España está participando desde sus primeros pasos en este proyecto mundial de extraordinaria importancia científica, tecnológica e industrial.



Edita: Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología  
Diseño gráfico: Ana Anguiano y Florencia Grassi  
Texto e Imágenes: Observatorio Astronómico Nacional  
Impresión: Printstation, S.L.  
Madrid, octubre 2003  
Depósito Legal: M-44691-2003