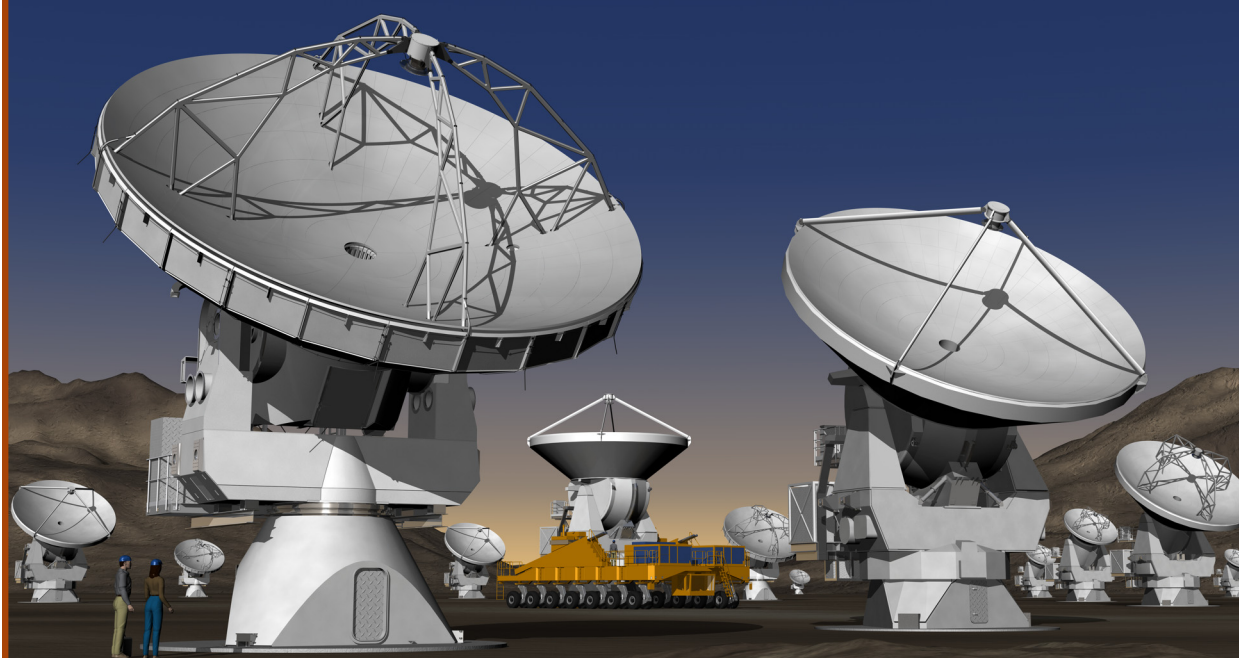
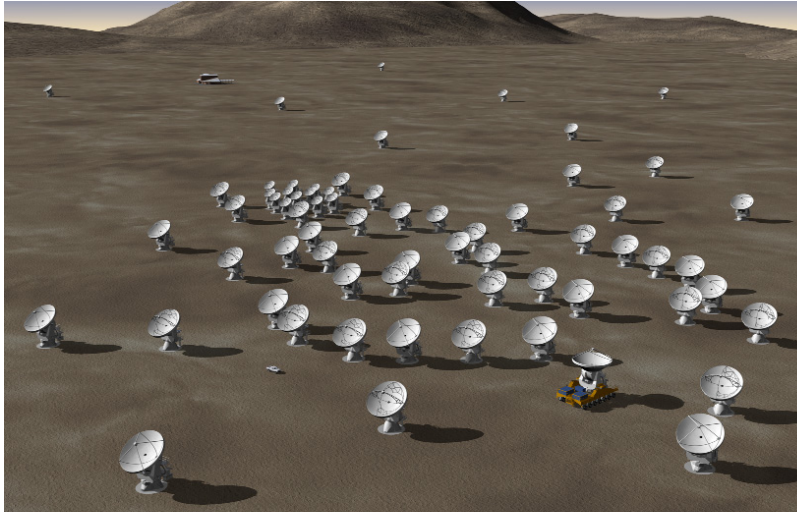




ATACAMA LARGE MILLIMETER / SUBMILLIMETER ARRAY



ATACAMA LARGE MILLIMETER/SUBMILLIMETER ARRAY (GRAN CONJUNTO DE RADIOTELESCOPIOS DE ATACAMA)



Concepción artística de una configuración compacta de ALMA © ESO

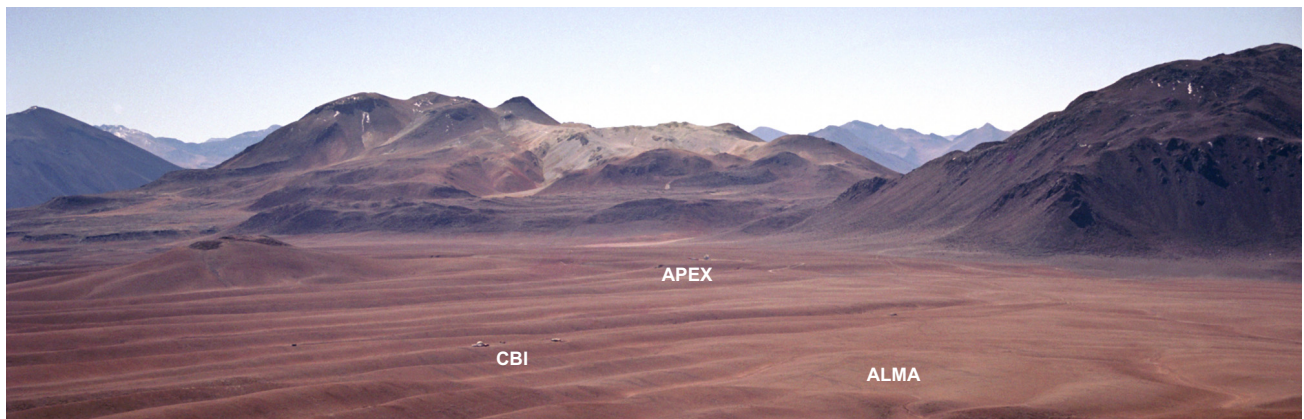
ALMA es la sigla en inglés para el Gran Conjunto de Radiotelescopios de Atacama (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array), el que será un instrumento único de investigación, compuesto por hasta 80 antenas de alta precisión ubicadas en el Llano de Chajnantor, en el distrito de San Pedro de Atacama, a 5000 metros de altura sobre el nivel del mar en los Andes Chilenos. ALMA transformará la investigación de la física del Universo frío en regiones que son oscuras en luz visible pero que brillan intensamente en la porción milimétrica del espectro electromagnético. Abriendo a los astrónomos una nueva ventana hacia los orígenes cósmicos, ALMA investigará

las primeras estrellas y galaxias, y obtendrá imágenes directas de la formación de los planetas.

ALMA operará a longitudes de onda entre 0.3 y 9.6 milímetros, donde la atmósfera de la Tierra es muy transparente en un sitio a gran altura y de ambiente seco, lo que entregará a los astrónomos una sensibilidad y resolución sin precedentes. El conjunto de hasta 64 antenas de 12 metros de diámetro de ALMA tendrá líneas de base reconfigurables, que irán desde 150 metros hasta 18 kilómetros. La resolución será tan fina que alcanzará 0.005" en sus más altas frecuencias, 10 veces mejor que el Telescopio Espacial Hubble.

ALMA será un instrumento astronómico destinado a producir imágenes y espectroscopía en el rango milimétrico y sub-milimétrico, ofreciendo a los científicos la capacidad de cubrir un rango de radiofrecuencias que complementa el ofrecido por otros instrumentos de investigación de nuestra era, como el EVLA (Expanded Very Large Array), el E-ELT (European Extremely Large Telescope), el GSMT (Giant Segmented Mirror Telescope) y el JWST (James Webb Space Telescope).

UN LUGAR QUE CUMPLE CON LO ESPERADO



El sitio ALMA (visto hacia el norte) en el Altiplano Andino del norte de Chile. El rótulo ALMA indica el lugar aproximado que tendrá el futuro centro del conjunto. También se muestran las ubicaciones del CBI (Cosmic Background Imager) y del APEX (Atacama Pathfinder Experiment) © 2004 E&S, Caltech, foto de Jane Dietrich.

A diferencia de la mayoría de los radiotelescopios, las antenas de ALMA se ubicarán a gran altura, a 5000 metros, en el llano de Chajnantor en el norte de Chile. Esta ubicación es 750 metros más elevada que Mauna Kea, y 2300 metros más elevada que Cerro Paranal. El Observatorio Radioastronómico Nacional de Estados Unidos (NRAO por su sigla en inglés), la Organización Europea para la Investigación Astronómica en el Hemisferio Austral (ESO), y el Observatorio Astronómico Nacional de Japón (NAOJ), han recopilado información atmosférica y meteorológica en este lugar desde el año 1995. Estos estudios muestran que el cielo sobre el sitio escogido tiene la estabilidad y sequedad que son esenciales para ALMA. Este lugar es extenso y abierto, permitiendo una fácil reubicación de las antenas por sobre un área de 18 kilómetros de extensión.

Las operaciones de ALMA en Chile serán la responsabilidad del Observatorio Conjunto ALMA (JAO, por su sigla en inglés). Los radiotelescopios propiamente tales se ubicarán en el Sitio de Operaciones del Conjunto (AOS – Array Operations Site). Debido al limitado contenido de oxígeno de la atmósfera a 5000 metros de altura, el conjunto de antenas será operado desde el Centro de Apoyo de Operaciones (OSF – Operation Support Facility) situado a una elevación de 2900 metros, con desplazamientos que se realizarán al AOS para instalar, reinstalar, o recuperar equipos o antenas. Las oficinas centrales del JAO estarán en Santiago.

En el OSF ya se encuentran instalaciones provisionarias que consisten en oficinas, dormitorios y un campamento para los contratistas. Instalaciones permanentes se encuentran actualmente en construcción con el fin de manejar las operaciones presentes así como la futura mantención y reparación de las antenas y receptores de ALMA, e incluirán un Centro de Visitas para el público.



*El Edificio Técnico del AOS o Sitio de Operaciones del Conjunto es el que albergará elementos tales como el correlador de ALMA.
Foto © NAOJ*

AVANCES RECIENTES EN LA CONSTRUCCIÓN DE ALMA

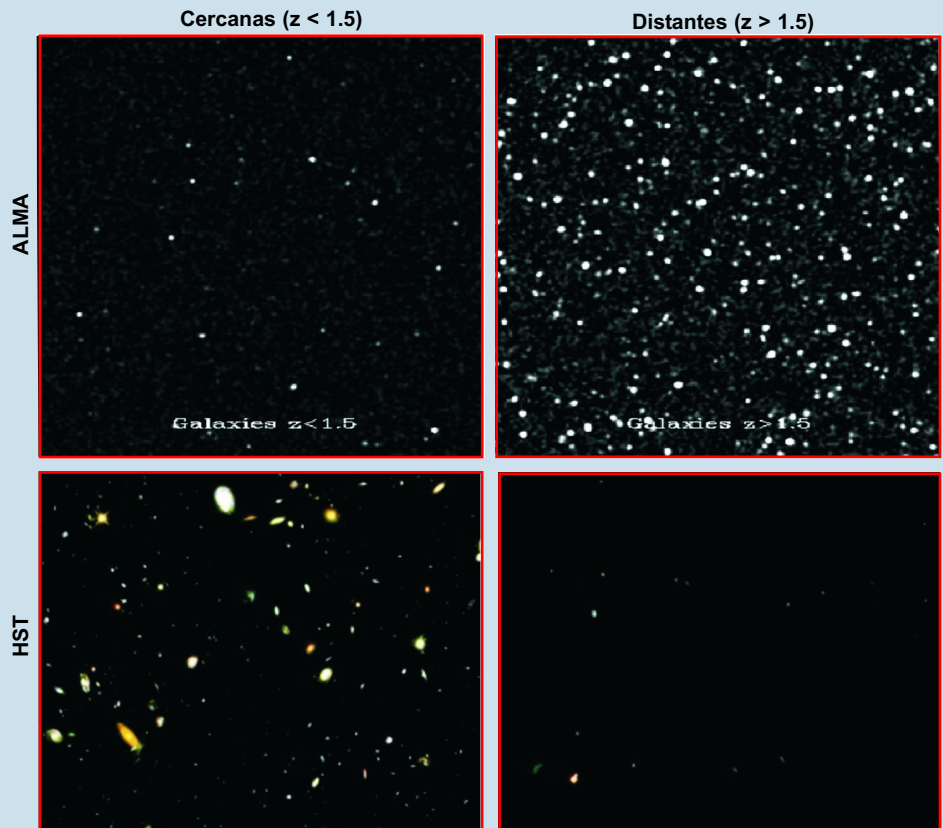
- Las antenas han sido adquiridas por Norteamérica y Europa que han firmado contratos por un mínimo de 25 antenas cada uno, mientras que Japón contrató sus primeras tres antenas. Estas antenas son los radiotelescopios de más alta precisión jamás construidos. La primera antena llegará al sitio de ALMA durante 2007.
- La construcción del edificio del AOS a 5000 metros de altura finalizará pronto y la construcción continúa en el OSF, la base de operaciones a altura intermedia.
- Todos los prototipos de receptores cumplen con las especificaciones establecidas: ruido cercano al límite cuántico, el mayor ancho de banda jamás obtenido y que además no requieren sintonización mecánica. El sistema de receptores de ALMA constituirá el conjunto de electrónica superconductora más grande del mundo. Los primeros receptores de ALMA serán instalados en los prototipos de antenas durante el 2007.
- El primer cuadrante del correlador de ALMA ha sido completado y se encuentra bajo prueba. Vertiginosamente rápido, el correlador efectuará más de 10^{16} operaciones de punto flotante por segundo.
- Los Centros Científicos Regionales de ALMA en Norteamérica y Europa están siendo planificados y organizados, con un tercer centro previsto para los socios asiáticos (Japón y Taiwán).

OBJETIVOS CIENTÍFICOS

ALMA proporcionará una combinación sin precedentes de sensibilidad, resolución angular, resolución espectral y fidelidad de imágenes en las longitudes de onda de radio más cortas en las cuales la atmósfera terrestre es transparente. ALMA proveerá a los científicos de un instrumento capaz de producir imágenes detalladas de la formación de galaxias, estrellas y planetas, tanto en el continuo como en líneas de emisión de moléculas interestelares. ALMA obtendrá imágenes de estrellas y planetas en proceso de formación en nubes de gas cercanas a nuestra posición en la Vía Láctea y observará galaxias en sus etapas de formación en el límite del Universo, las que veremos tal como eran hace aproximadamente 10 mil millones de años. ALMA abrirá una ventana hacia los orígenes cósmicos tanto en el tiempo como en el espacio, proporcionando a los astrónomos un caudal de nuevas oportunidades científicas. Con ALMA los astrónomos podrán, en particular:

- Obtener imágenes de emisión del continuo de polvo desplazado al rojo de galaxias en desarrollo en épocas de formación tan tempranas como $z = 10$;
- Rastrear a través de observaciones espectroscópicas moleculares y atómicas la composición química del gas formador de estrellas en galaxias como la Vía Láctea, pero a un desplazamiento al rojo de $z \sim 3$, en menos de 24 horas de observación;

Campo Profundo de ALMA: La mayoría de las galaxias que serán detectadas en imágenes profundas de ALMA tendrán grandes desplazamientos al rojo ("redshift"). Esto está ilustrado en la hilera superior que muestra el número de galaxias de redshift bajo ($z < 1.5$) y alto ($z > 1.5$) predicho por la simulación de una observación profunda a ser efectuada por ALMA. A pesar que las galaxias de alto redshift se encuentran más distantes, aún más de la emisión dominante de polvo cálido es desplazada hacia las bandas de frecuencia de ALMA. La hilera inferior muestra que en una imagen óptica, como la del Campo Profundo del Telescopio Espacial Hubble, la mayoría de las detecciones son de galaxias con $z < 1.5$. En agudo contraste con la imagen óptica, el 80% de las galaxias detectadas por ALMA estarán situadas a altos redshifts. Las imágenes superiores son de Wootten y Gallimore (2000, ASP Conf. Ser. Vol. 240, pg. 54). Las inferiores de K. Lanzetta, K. Moore, A. Fernandez-Soto y A. Yahil (SUNY). © 1997 Kenneth M. Lanzetta



- Revelar la cinemática de núcleos galácticos y cuásares oscurecidos en escalas espaciales menores a 100 pc;
- Evaluar la influencia de los gradientes químicos e isotópicos de los discos galácticos en la formación de estructuras espirales;
- Determinar la dinámica de discos de acreción protoestelares de polvo oscurecido, la tasa de acreción y de colapso de las nubes moleculares nacientes, la distribución de masa sobre el disco y la estructura de las eyecciones moleculares;
- Detectar las fotosferas de estrellas en cada parte del diagrama Hertzsprung-Russell y resolver espacialmente las fotosferas y cromósferas de estrellas gigantes y supergigantes situadas dentro de una distancia de unos cuantos cientos de parsecs;

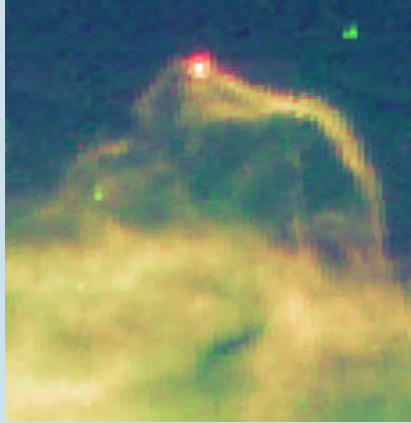
Óptico

(ESO)



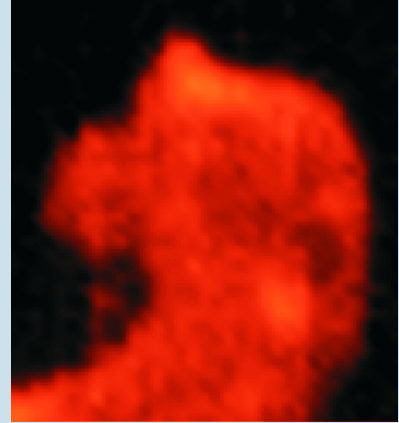
Infrarrojo

(ESA/ISO/SOCAM)



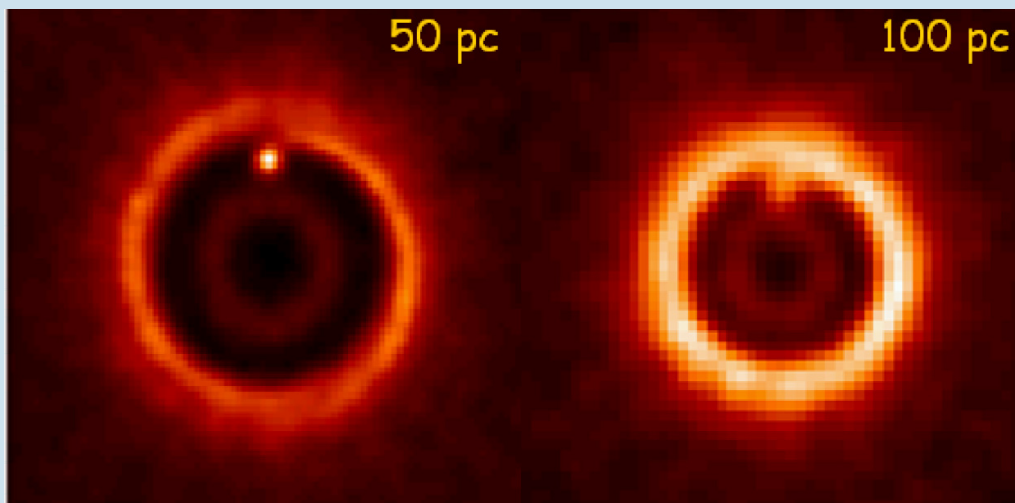
Radio, línea de CO 3-2

(CSO)



En el rango óptico el polvo oscurece la actividad de formación de estrellas en la Nebulosa Cabeza de Caballo. En las imágenes infrarrojas el polvo caliente brilla, pero la emisión no contiene información cinemática. En longitudes de onda radiales, tanto el polvo como los rastros de moléculas brillan, proporcionando un caudal de información sobre estructura, densidad y cinemática de regiones ópticamente invisibles. ALMA obtendrá un mapa de la emisión brillante (panel derecho) con la misma resolución que las imágenes ópticas (panel izquierdo).

- Obtener imágenes de la cinemática del gas en discos protoplanetarios alrededor de estrellas similares al Sol con una resolución de unas cuantas unidades astronómicas hasta una distancia de 150 pc (aproximadamente la distancia a las nubes formadoras de estrellas en Ofiuco o Corona Austral), permitiendo así el estudio de su estructura física y química, sus campos magnéticos y la detección de vacíos de marea en los discos creados por planetas en proceso de formación;
- Revelar los gradientes isotópicos y químicos cruciales dentro de las cáscaras circumstelares que reflejen la cronología de los procesos nucleares estelares invisibles;
- Obtener imágenes no oscurcidas con resoluciones inferiores al segundo de arco de núcleos de cometas, cientos de asteroides, Centauros y objetos del cinturón de Kuiper en el sistema solar, junto con imágenes de los planetas y sus satélites;
- Obtener imágenes de regiones solares activas e investigar la física de la aceleración de partículas en la superficie del Sol.



Una simulación (Wolf & D'Angelo 2005) de observaciones de ALMA de un disco protoplanetario realizadas a 950 GHz, muestra un protoplaneta de una masa igual a la de Júpiter orbitando alrededor una estrella de 0.5 masas solares (radio de la órbita: 5AU). Las distancias adoptadas son de 50 pc y 100 pc según lo indicado. La masa del disco se consideró idéntica a la de la estrella IRAS 04302+2247 (Butterfly) situada en Tauro. Nótese la reproducción de la forma de la onda espiral cerca del planeta así como la región ligeramente ensombrecida detrás del planeta en la imagen de la izquierda. Imagen cortesía de S. Wolf.

TECNOLOGÍA

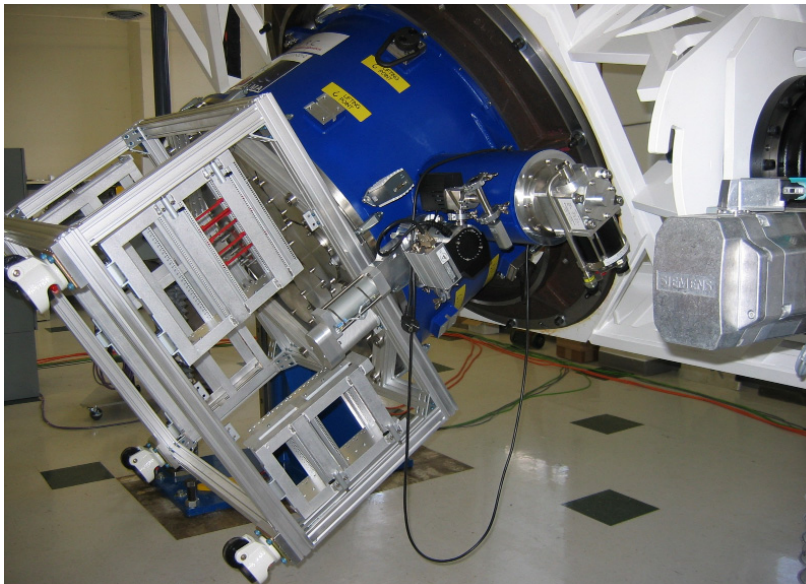
Un telescopio que brinda imágenes de precisión: Las antenas son el corazón de ALMA y son los radiotelescopios de mayor calidad jamás construidos. Ellas deberán mantener invariable su forma bajo las difíciles condiciones de operación en la remota y elevada ubicación del Llano de Chajnantor. Dicho lugar ofrece los cielos excepcionalmente secos y claros requeridos para operar en longitudes de onda milimétricas y sub-milimétricas, sin embargo experimenta grandes variaciones de temperatura durante el día así como fuertes vientos. Las antenas de ALMA serán capaces de operar en este medio ambiente extremo, haciendo posible que ALMA explote todo el potencial de este excelentísimo lugar.



Los prototipos de las antenas de ALMA, en el sitio de pruebas en New México, EEUU. La antena Alcatel AEM (a la derecha), la antena Vertex RSI (al centro) y la antena Melco ACA (a la izquierda). Cortesía de © NAOJ.

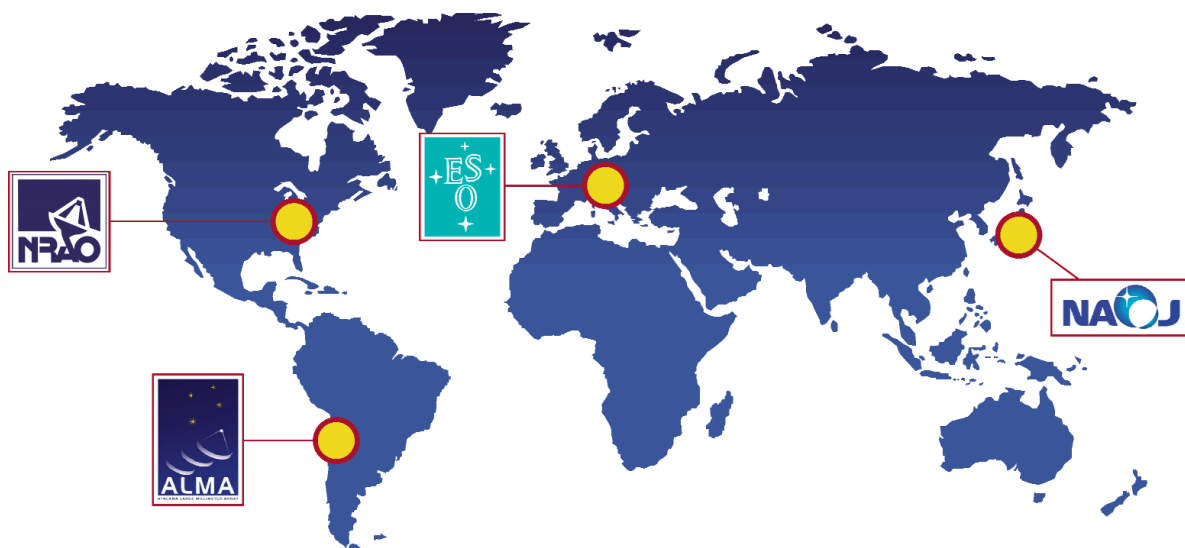
Tecnología de detectores: Los sistemas de recepción de ALMA cubrirán por completo el espectro electromagnético observable desde la superficie de la Tierra desde 0.3 a 9.6 mm de longitud de onda. En el corazón del sistema de receptores existen sensibles mezcladores de junturas superconductoras de efecto túnel, operando a solo 4 Kelvin (-269 °C). Considerados en conjunto, el sistema mezclador situado en las antenas de ALMA será el sistema electrónico receptor de superconductores más extenso del mundo.

Procesamiento de señales: ALMA forma imágenes combinando continuamente señales recibidas de cada una de las antenas con las recibidas de cada una de las otras. Existen 2016 pares posibles de antenas. Desde cada antena, se recibirá un ancho de banda de 16 GHz desde el objeto astronómico observado. El equipo electrónico digitalizará y procesará numéricamente toda esta información a velocidades superiores a las 16 000 millones-millones (1.6×10^{16}) de operaciones por segundo. Las imágenes astronómicas se construirán a partir de los datos procesados.



El primer criostato del Front End de ALMA y el prototipo de chasis sobre la mesa de trabajo en el Centro Norteamericano de Integración del Front End situado en Centro Tecnológico de NRAO en Charlottesville Virginia, EE.UU. Los cartuchos fríos de los detectores se insertarán en orificios situados en la base del criostato. Los costados del chasis soportarán el equipo electrónico asociado y se encontrarán protegidos por paneles. © NRAO

UN PROYECTO GLOBAL



El Gran Conjunto de Radiotelescopios de Atacama es una instalación astronómica global. ALMA es una asociación entre Europa, Norteamérica y Japón, en cooperación con la República de Chile.

ALMA es financiada en Europa por la Organización Europea para la Investigación Astronómica en el Hemisferio Austral (ESO) y España, en Japón por el Instituto Nacional de Ciencias Naturales (NINS) en cooperación con la Academia Sinica de Taiwán, y en Norteamérica por la Fundación Nacional de Ciencias de EE.UU. (NSF) en cooperación con el Consejo Nacional de Investigación de Canadá (NRC).

La construcción y operación de ALMA se efectúan a nombre de Europa por ESO, a nombre de Japón por el Observatorio Astronómico Nacional de Japón (NAOJ) y a nombre de Norteamérica por el Observatorio Radioastronómico Nacional (NRAO), el cual es operado por Associated Universities Inc. (AUI).

ALMA EN EL TIEMPO

- 1995 → NRAO/ESO/NAOJ se unen para efectuar pruebas de sitio en colaboración con Chile
- Mayo 1998 → Comienzo de Fase I (Diseño y Desarrollo)
- Junio 1999 → Memorando de Acuerdo Norteamericano y Europeo para el Diseño y Desarrollo
- Febrero 2003 → Acuerdo Final entre Norteamérica y Europa
- Abril 2003 → Pruebas del primer prototipo de antena comienzan en el sitio de pruebas en New Mexico
- Octubre 2004 → Inauguración de las oficinas de ALMA en Santiago, Chile
- Julio 2005 → Contrato Norteamericano por hasta 32 antenas
- Octubre 2005 → Ceremonia de colocación de la primera piedra a 5000 metros de altura, en el AOS
- Diciembre 2005 → Contrato Europeo por hasta 32 antenas
- Julio 2006 → Acuerdo firmado por Norteamérica, Europa y Japón
- 2006 → Pruebas del Sistema Prototipo
- 2007 → Entrega en Chile de la primera antena
- 2010 → Llamados para propuestas de riesgo compartido en Ciencia temprana; Ciencia temprana
- 2012 → Se completa la construcción de ALMA

Especificaciones		12 m Conjunto	Conjunto Compacto de Atacama (ACA)
Conjunto	Número de antenas	hasta 64	12 (7 m) + 4 (12 m)
	Área colectora total	hasta 7240 m ²	460 + 450 m ²
	Resolución angular	0.02" (l / 1 mm)(10 km/distancia)	5.7" (l/1 mm)
	Rango de distancias	150 - 18 500 m	
Antenas	Diámetro	12 m	7 m, 12 m
	Precisión de superficie	<25 μm	<20 μm, <25 μm
	Puntería diferencial	<0.6"	<0.6"
Correlator	Líneas de base	hasta 2016	120
	Ancho de banda	16 GHz por línea base	16 GHz por línea base
	Canales espectrales	4096	4096

Bandas Receptoras				
Nro. Banda	Rango de Frecuencia (GHz)	Longitud de onda (mm)	Ancho de Banda Instantáneo (GHz)	Configuración
1	31.3 - 45.0	6.7 - 9.6	1 × 8	SSB
2	67 - 90	3.3 - 4.5	1 × 8	SSB
3	84 - 116	2.6 - 3.6	2 × 4	2SB
4	125 - 163	1.8 - 2.4	2 × 4	2SB
5	163 - 211	1.4 - 1.8	2 × 4	2SB
6	211 - 275	1.1 - 1.4	2 × 5.5	2SB
7	275 - 373	0.8 - 1.1	2 × 4	2SB
8	385 - 500	0.6 - 0.8	2 × 4	2SB
9	602 - 720	0.4 - 0.5	2 × 8	DSB
10	787 - 950	0.3 - 0.4	2 × 8	DSB

Bandas 1 y 2 serán desarrolladas en el futuro.

SSB – banda lateral única

2SB – ambas bandas laterales detectadas separadamente

DSB – doble banda lateral

Sensibilidad: Los objetivos de ALMA para el Gran Conjunto						
Frequency (GHz)	Continuum ΔS (mJy)	Spectral Line ΔS (mJy)	B _{max} = 0.2 km		B _{max} = 14.7 km	
			ΔT _{cont} (K)	ΔT _{line} (K)	ΔT _{cont} (K)	ΔT _{line} (K)
110	0.047	7.0	0.0005	0.070	3.3	482
140	0.055	7.1	0.0005	0.071	3.8	495
230	0.100	10.2	0.0010	0.104	6.9	709
345	0.195	16.3	0.0020	0.167	13.5	1128
409	0.296	22.6	0.0031	0.234	20.5	1569
675	1.042	62.1	0.0108	0.641	72.2	4305

ALMA en Internet
www.alma.info

Imagen de la carátula: Concepto artístico de la antena VertexRSI (a la izquierda), el transportador de las antenas de ALMA (al centro), la antena AEM (a la derecha), y la antena Melco ACA (a la derecha, atrás)
 © ESO.