UNA MIRADA A ALMA

www.almaobservatory.org



***Crédito**: S. Otárola, ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)*

1 ALMA

En busca de nuestros orígenes cósmicos...

ALMA busca responder preguntas fundamentales de la ciencia: cómo nacen nuevas estrellas y planetas, o cuáles son las galaxias más tempranas y distantes del Universo, entre otras.

El observatorio estudia el Universo frío que permanece oculto a los ojos humanos, pero brilla con intensidad en longitudes de onda de radio.

La primera piedra de ALMA se puso en Chile a fines de 2003. El observatorio se encuentra operativo desde el 2011 y se inauguró el 2013.

www.almaobservatory.org



Crédito: *AUI/NRAO Chile*

2 Los socios de ALMA

ALMA fue desarrollado, construido y es operado gracias a una colaboración internacional de largo plazo. No cuenta con personalidad jurídica ni patrimonio propio; son sus socios quienes asumen la gestión, actuando de manera independiente, pero de forma coordinada. Esta alianza reúne a más de 20 países en torno a un objetivo compartido: expandir las fronteras del conocimiento mediante una infraestructura científica de clase mundial, haciendo posible lo que ningún país podría alcanzar por sí solo.

ESO

37,5%

16 países en Europa financian el 37,5%

NRAO

37,5%

Estados Unidos con Canadá y Taiwán financian otro 37,5%

NAOJ

25%

Japón con Corea del Sur y también Taiwán financian el 25%

Chile



Anfitrión

Provee sitio de nivel mundial y otorga estatus de organismo internacional

www.almaobservatory.org

Crédito: *Unsplash*

3 Chile: ubicación privilegiada

- ALMA fue instalado en el llano de Chajnantor por sus condiciones excepcionales para la radio astronomía: gran altitud, extrema sequedad y mínima interferencia de radio proveniente de las ciudades.

- La cordillera de los Andes bloquea la humedad de la Amazonía y la corriente de Humboldt mantiene la nubosidad a baja altura. El resultado es uno de los cielos más prístinos del planeta, como muestra esta imagen satelital.

- La comunidad científica no fue la primera en reconocer el valor de estos cielos. Desde hace siglos, el pueblo Lickan Antai observa el Universo desde este territorio. Chajnantor, que en kunza significa “lugar de despegue”, refleja esa profunda conexión con el cielo. Al igual que ALMA, su tradición reconoce la importancia de las zonas oscuras del Universo para comprender el cosmos.



Crédito: *NASA*

www.almaobservatory.org

3 Chile: ubicación privilegiada

Chile, gracias a una exitosa política de Estado, ha logrado atraer grandes inversiones e importantes proyectos astronómicos desde 1963.

La ley 15.172 y el tratado con ESO entregan el estatus de organizaciones internacionales a los observatorios.

- El nexo con los observatorios es el Ministerio de Relaciones Exteriores
- Exención de IVA y aranceles de importación
- Personal internacional está asimilado al cuerpo diplomático

Este marco legal ha sido el pilar del desarrollo de la astronomía en Chile durante más de seis décadas, manteniéndose como una política transversal y estable, independiente de los cambios de gobierno y del contexto político.



Excavaciones en Cerro Tololo.
Crédito: NOAO/AURA/NSF



Reunión entre el director de Carnegie, Horace Babcock, y el Presidente Eduardo Frei Montalva (1968).
Crédito: Carnegie Institution for Science

Crédito: *Unsplash*

3 El Big Bang de la astronomía en Chile



Chile, capital astronómica mundial

Las inigualables condiciones geográficas para la astronomía, junto con el marco institucional y estabilidad histórica, siguen atrayendo grandes inversiones en proyectos astronómicos. Con la entrada en operación de telescopios como el Extremely Large Telescope (ELT) y el Giant Magellan Telescope (GMT), se estima que durante la década de 2030 más del 50% de la capacidad mundial de observación astronómica estará instalada en Chile.

Fuente: SOCHIAS (Lista de Acceso a Datos Astronómicos, ADA)

3 Chile: ubicación privilegiada

Construir ALMA costó 1.400 millones de dólares, y su costo de operación asciende a alrededor de 120 millones de dólares anuales (51 millones en Chile aproximadamente).

Las 66 antenas, 54 de 12 metros de diámetro y 12 de 7 metros de diámetro, se ubican a 5.050 metros de altitud, formando el radio telescopio más sensible del mundo.

Estas antenas pueden ubicarse cubriendo una distancia de hasta 16 kilómetros para lograr imágenes de mayor resolución que las que logran actualmente los telescopios espaciales.

www.almaobservatory.org



Crédito: *NASA*

3 Chile: ubicación privilegiada

ALMA tiene una concesión de ~18 mil hectáreas en el Área de Desarrollo Indígena (ADI) Atacama la Grande, que comprende 9 pueblos y 9 ayllus. La concesión tiene una duración de 50 años, hasta el 2053.

Rodeando la concesión de ALMA está el Parque Astronómico Atacama (PAA), una superficie de ~36 mil hectáreas concesionadas a la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) para el desarrollo de la astronomía y ciencias afines.



www.almaobservatory.org

Crédito: *Unsplash*

4 Nuestros colaboradores

246 personas contratadas en Chile



84% **16%**

Jornada laboral de 40 horas semanales desde 2013

88%
Nacionalidad chilena

51%
Trabaja en la Región de Antofagasta

10
Años de permanencia promedio en la organización

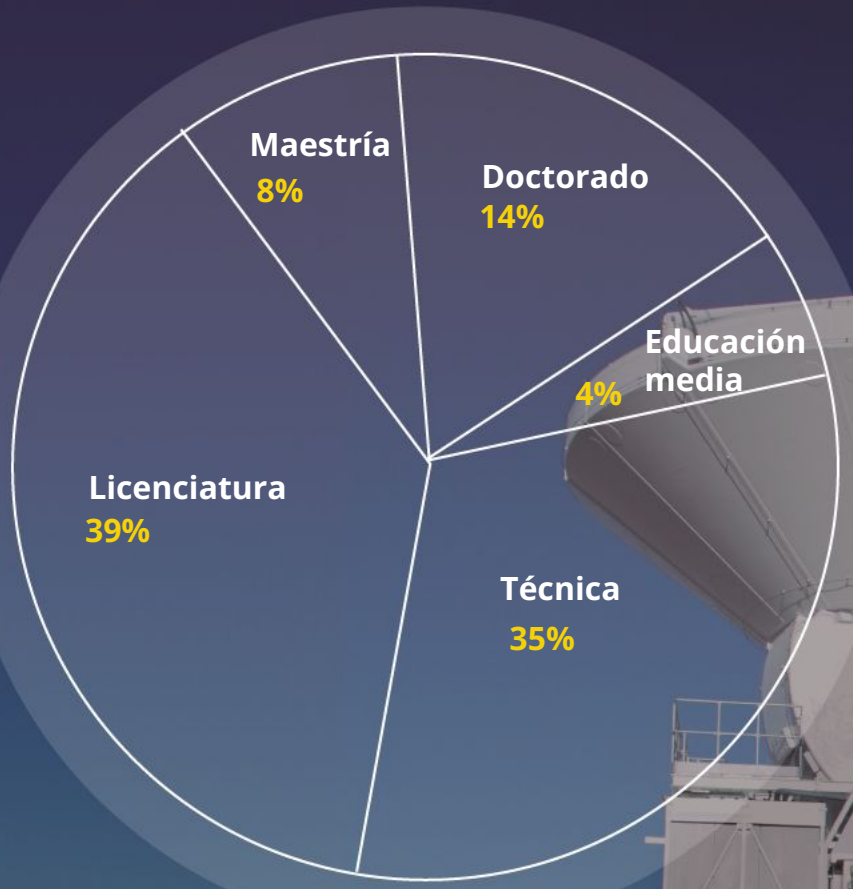
12%
Nacionalidad extranjera (19 países)

49%
Trabaja en la Región Metropolitana

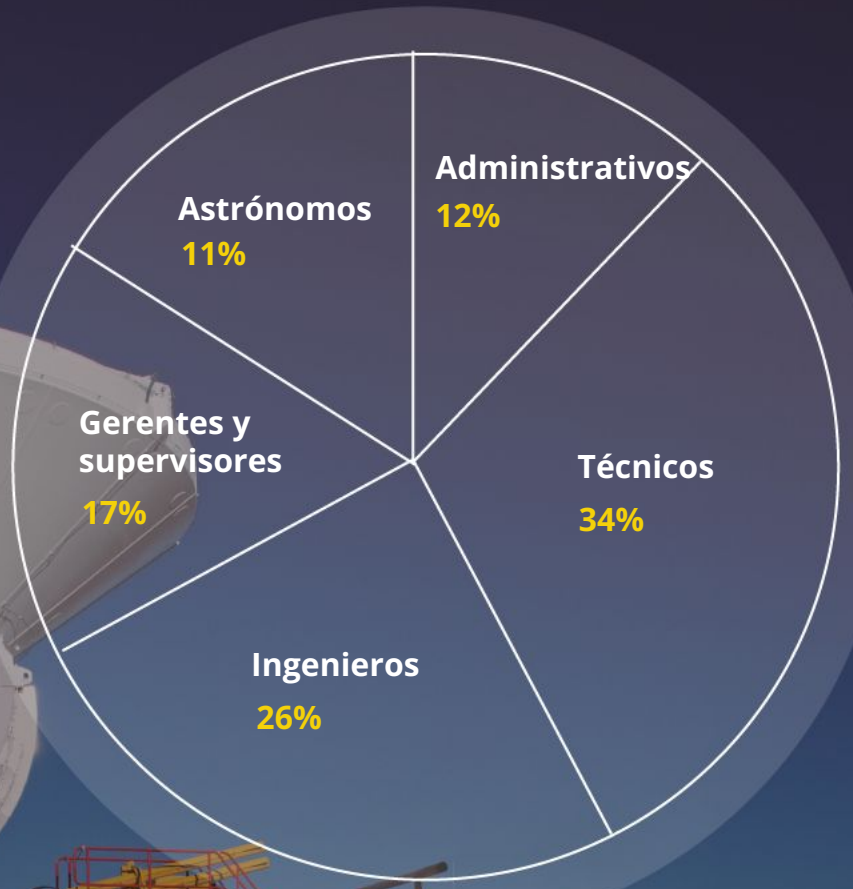
87%
Sindicalización (dos sindicatos)

Créditos: *S. Otárola, ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)*

Formación académica



Perfil profesional



www.almaobservatory.org

Crédito: *S. Otárola/ESO*

5 Aportes a Chile

Fondo ALMA para el Desarrollo de la Astronomía Chilena

Desde 2004, ALMA contribuye todos los años a través de un fondo entregado a ANID destinado a la contratación de nuevos astrónomos, investigadores y técnicos, el fortalecimiento de programas de estudios de postgrado, iniciativas de índole teórica o tecnológica, y proyectos de educación y divulgación.

En 2026 se entregaron
USD $857.000

Desde 2004, se han entregado cerca de
USD $15 millones

Telecomunicaciones: Desarrollo de Infraestructura para Chile

La instalación de ALMA impulsó la creación de un enlace de fibra óptica entre San Pedro de Atacama y Calama, dando origen a una autopista digital en la que se distribuyen los datos científicos producidos por el observatorio.

Esto ha abierto las posibilidades para el desarrollo futuro de mejoras a la infraestructura de telecomunicaciones existente en ciudades y pueblos ubicados cerca del observatorio.



EVALSO
TELEFONICA
SILICA NETWORKS

Crédito: *Sergio Otárola (ESO/NAOJ/NRAO)*

www.almaobservatory.org

5 Aportes a Chile

Colaboración con instituciones chilenas

Desde 2011 ALMA colabora con diferentes instituciones educacionales chilenas en la generación de tecnología avanzada, y la integración de miradas innovadoras al caudal de conocimientos y prácticas de los futuros profesionales de las ciencias.

Este intercambio se observa también en las charlas, conferencias y cursos del personal de ALMA en universidades chilenas, en el centenar de practicantes y post-doctorados de universidades locales recibidos por el observatorio y, además, porque estudiantes prometedores han podido desarrollar diplomados en materias ofrecidas por ALMA.

Algunas de las instituciones involucradas son:

las universidades de Chile, de la Frontera, Adolfo Ibáñez, Católica de



Crédito: *ESO/Max Alexander*



Crédito: *ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)*

Crédito: *ESO*

6 Aportes a la Región de Antofagasta

Convenio de apoyo regional

A través de un convenio firmado en 2003, entre los socios de ALMA y el Gobierno Regional de Antofagasta, se busca el desarrollo del territorio comprendido en el Área de Desarrollo Indígena Atacama la Grande y, en particular, la comunidad de Toconao.

Este convenio busca mejorar las condiciones de vida de sus habitantes a través de iniciativas diseñadas y ejecutadas por las diferentes comunidades, asociaciones y organizaciones que son parte de dicho territorio.

Parte del Fondo ALMA financia proyectos concursables que presentan las comunidades, destinados a iniciativas

En 2026 se entregaron USD $430.000 y el total acumulado desde sus inicios se acerca a los USD $7,5 millones



Imagen: *"Video Fondo ALMA – Resumen", ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)*

Crédito: *ESO/B. Tafreshi (twanight.org)*

7 Aportes a la Comuna San Pedro de Atacama

Fomento a la educación científica

Desde el 2009, ALMA ha apoyado al Complejo Educacional de Toconao y a otros establecimientos educacionales de la comuna a través del programa de Educación en Ciencias Basada en la Indagación (ECBI). Este incluye apoyo técnico a la dirección, capacitación a profesores y educación inclusiva (especialista en discapacidad visual). El observatorio también fomenta la educación científica a través de diversas iniciativas y actividades, entre las que destacan:

***Crédito:** C. Padilla - ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)*



Atacama Makers: Uso de tecnología en solución de problemas sociales

***Crédito:** ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)*



Feria científica de San Pedro: Actividad de acercamiento de la ciencia a la comunidad local

***Crédito:** C. Padilla (AUI/NRAO)*



PROVOCA: Promoción de vocaciones STEM a través de mentorías, en San Pedro y resto de Chile.

Preservación del patrimonio cultural

- Apoyo a la expedición interdisciplinaria que constató la existencia de estructuras astronómicas, “saywas”, bordeando el Camino del Inca



***Crédito:** R. Bennett*

- Conservación de la Estancia Barrios



***Crédito:** C. Padilla - ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)*

***Crédito:** ESO/B. Tafreshi (twanight.org)*

8 Conservación

Cuidado del ecosistema

El desierto de Atacama es hogar de flora y fauna autóctonas, que se han adaptado a las duras condiciones reinantes. Los colaboradores de ALMA frecuentemente ven vicuñas, vizcachas, zorros, cactus cardón, rica-rica y llaretas, animales y plantas que habitan este increíble paisaje.

- Compromisos medioambientales incluyen monitoreo de flora y fauna
- Capacitación permanente en temas ambientales
- Resolución de Calificación Ambiental se obtuvo en 2003
- Todo movimiento de tierra es supervisado por una arqueóloga



Imagen: *Trichocereus atacamensis, Econorte*



Imagen: *Maihueniopsis glomerata, Econorte*



Imagen*: Vicuña, Econorte*



Imagen: *Vizcacha, Econorte*

Crédito: *ESO/B. Tafreshi (twanight.org)*

9 Ciencia con ALMA

Características de ALMA



Conjunto de 66 antenas de alta precisión que trabajan en modo interferométrico y operan en longitudes de onda milimétricas y submilimétricas.

Arreglo de antenas de 12 m (50 antenas de 12 m; para obtener alta resolución angular y alta sensibilidad) + arreglo Morita (12 antenas de 7 m + 4 antenas de 12 m; para observar estructuras extendidas).

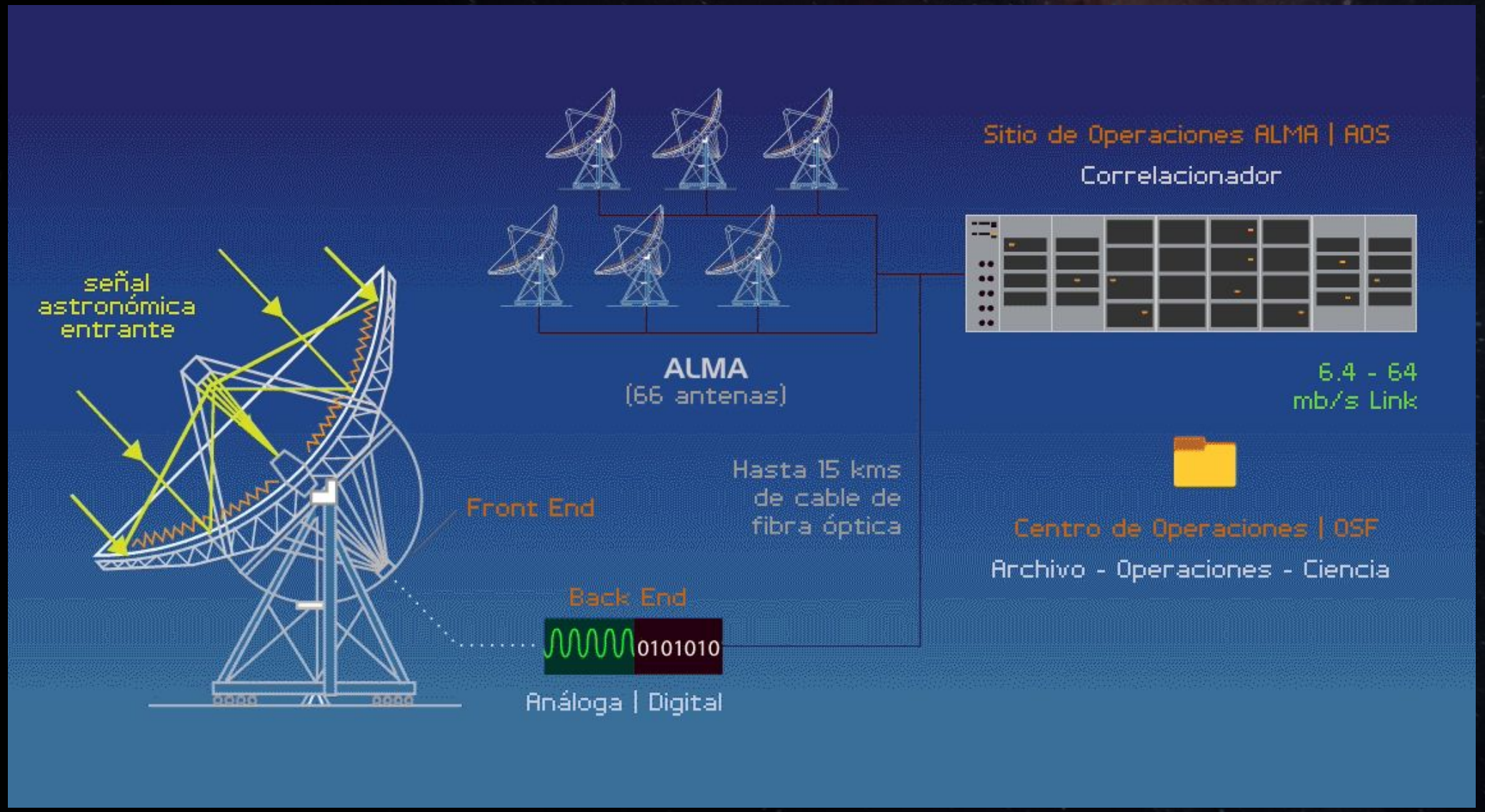
Arreglo de 12 m configurable (desde 150 m hasta 16 km) para ver distinto nivel de detalle en los objetos celestes.

Bandas de observación: 1-10 (35–950) GHz; aproximadamente 8,6 mm–315 μm.

Resolución espacial de segundos de arco a milisegundos de arco

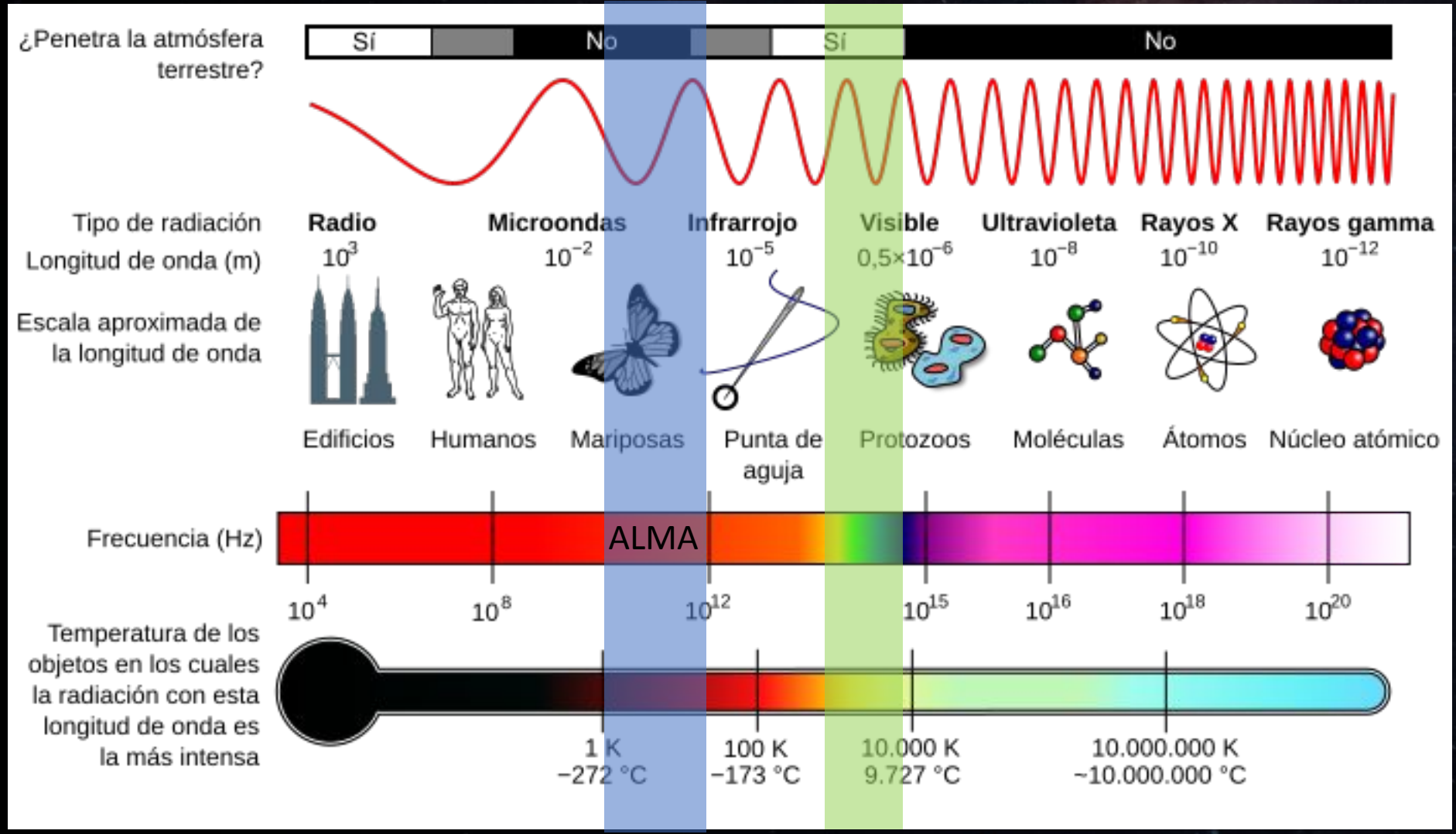
Alta sensibilidad, para ver objetos muy débiles

9 Ciencia con ALMA



9 Ciencia con ALMA

Observando el Universo frío



Las ondas de radio poseen longitudes de onda mucho más largas que las de la luz visible.

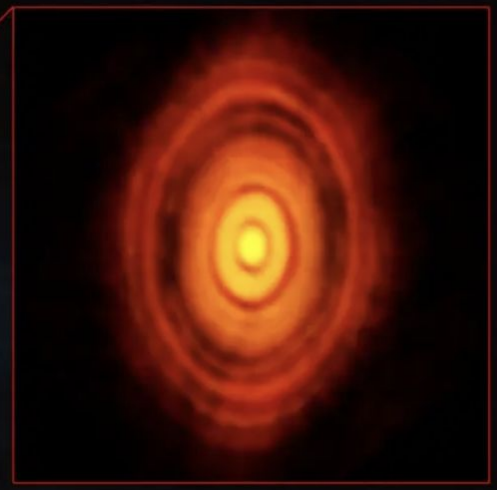
9 Ciencia con ALMA

Cambiando paradigmas científicos

Con ALMA podemos estudiar la física del Universo frío: regiones que son oscuras en el rango óptico, pero que brillan intensamente en la porción milimétrica y submilimétrica del espectro electromagnético.

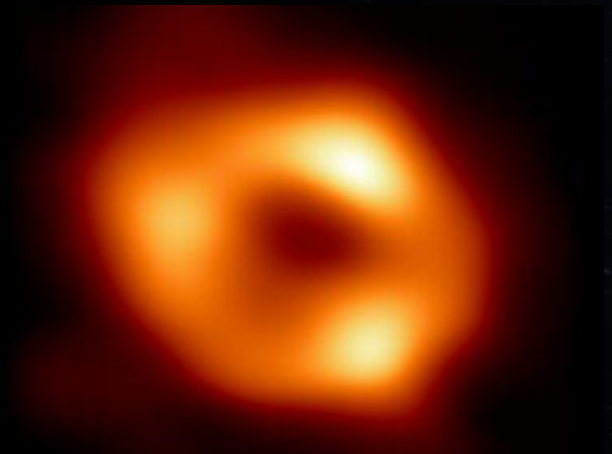
ALMA observa fundamentalmente emisión térmica del polvo frío y líneas espectrales de gas molecular (que permiten estudiar las condiciones físicas como temperatura, densidad, presión, etc., la composición química y la cinemática (movimientos del gas, como rotación, colapso, expansión y turbulencia).

Muchos objetos en el Universo emiten en las frecuencias a las que ve ALMA: objetos del Sistema Solar, nubes moleculares, regiones de formación estelar y discos protoplanetarios, estrellas evolucionadas, galaxias cercanas y galaxias muy distantes.



Polvo frío en HL Tau

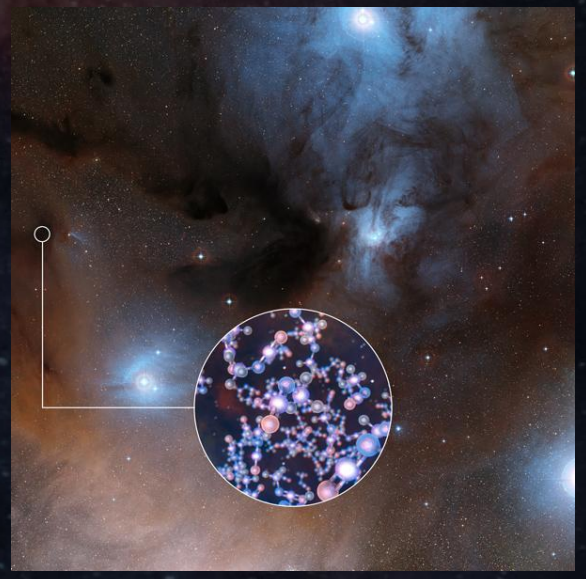
9 Ciencia con ALMA



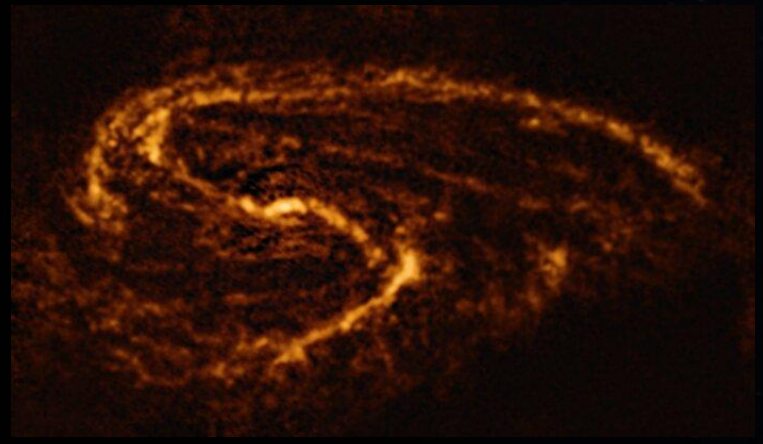
Agujero negro en el centro de nuestra galaxia



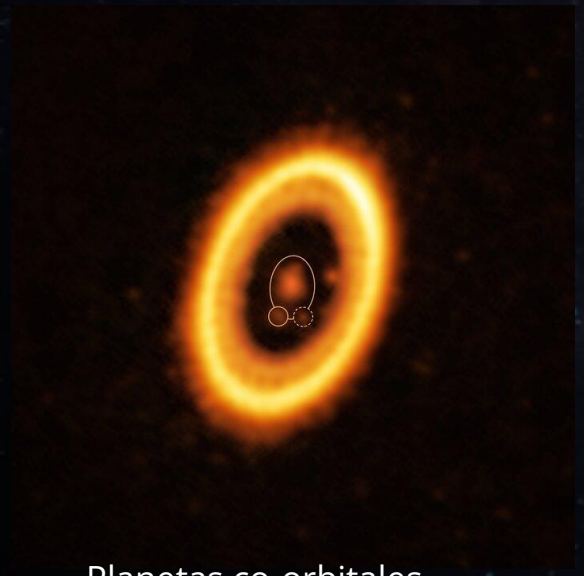
Lente gravitacional



Moléculas precursoras de vida



Otras galaxias



Planetas co-orbitales



Estrellas evolucionadas

9 Ciencia con ALMA

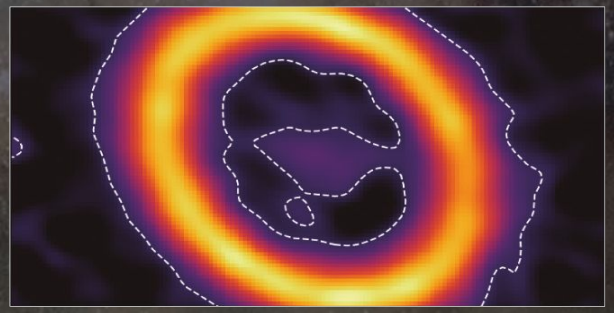
Hallazgos y desarrollos recientes



Credit: *Y. Asaki - ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)*

La configuración más extendida de ALMA logra la imagen con mayor resolución de su historia (5 milisegundos de arco), observando detalles inéditos del máser alrededor de R Leporis.

Esta resolución es 10 veces mayor que la del telescopio espacial James Webb.



Credit*: Sierra et al., 2024*

Un destacado equipo de investigadores chilenos encuentra signos de formación planetaria en un disco protoplanetario utilizando trazadores de gas y polvo.

Utilizando datos de ALMA y mediante el análisis de la distribución y cinemática del gas y polvo observado, el equipo reportó la posible existencia de dos planetas en formación alrededor de la joven estrella J16120.



Credit: *Centro de Astrofísica y Ciencias Afines (CATA)*

Un equipo de la Universidad de Chile desarrolló el sistema óptico de los receptores de la Banda 1. Esta banda es particularmente sensible al polvo estelar, y a moléculas complejas prebióticas, ya que opera en una frecuencia de 35-30 GHz (la más baja en la que opera ALMA).

Este gran avance fue galardonado con el premio “Ramón Salas Edwards 2024”, entregado por el Instituto de Ingenieros de Chile, siendo la primera vez que este premio se otorga a avances en instrumentación astronómica.

www.almaobservatory.org

Credit: *Sergio Otárola (ESO/NAOJ/NRAO)*

9 Aporte científico

Cada año ALMA entrega de manera gratuita más de 4.000 horas de observación a la comunidad astronómica global.

Anualmente se abre el llamado a propuestas de observación, las que son evaluadas exclusivamente por el mérito científico y factibilidad de ejecución.

La evaluación la realizan los mismos autores de propuestas, de manera ciega, garantizando la imparcialidad del proceso.

Propuestas encabezadas por investigadores de instituciones chilenas obtienen un 10% del tiempo disponible cada año, mientras los socios se reparten el resto del tiempo de manera proporcional a sus contribuciones.

Hasta la fecha algunos de los logros son:

91.600

horas de observación acumuladas

Datos utilizados por

1.881

científicos de 39 países

Más de

5.000

artículos publicados

Sobredemanda actual de solicitudes es de

7

www.almaobservatory.org

Crédito: *S. Otárola/ESO*

Créditos: *ALMA (ESO / NAOJ / NRAO) / S. Dagnello (NRAO / AUI / NSF) / NAOJ*

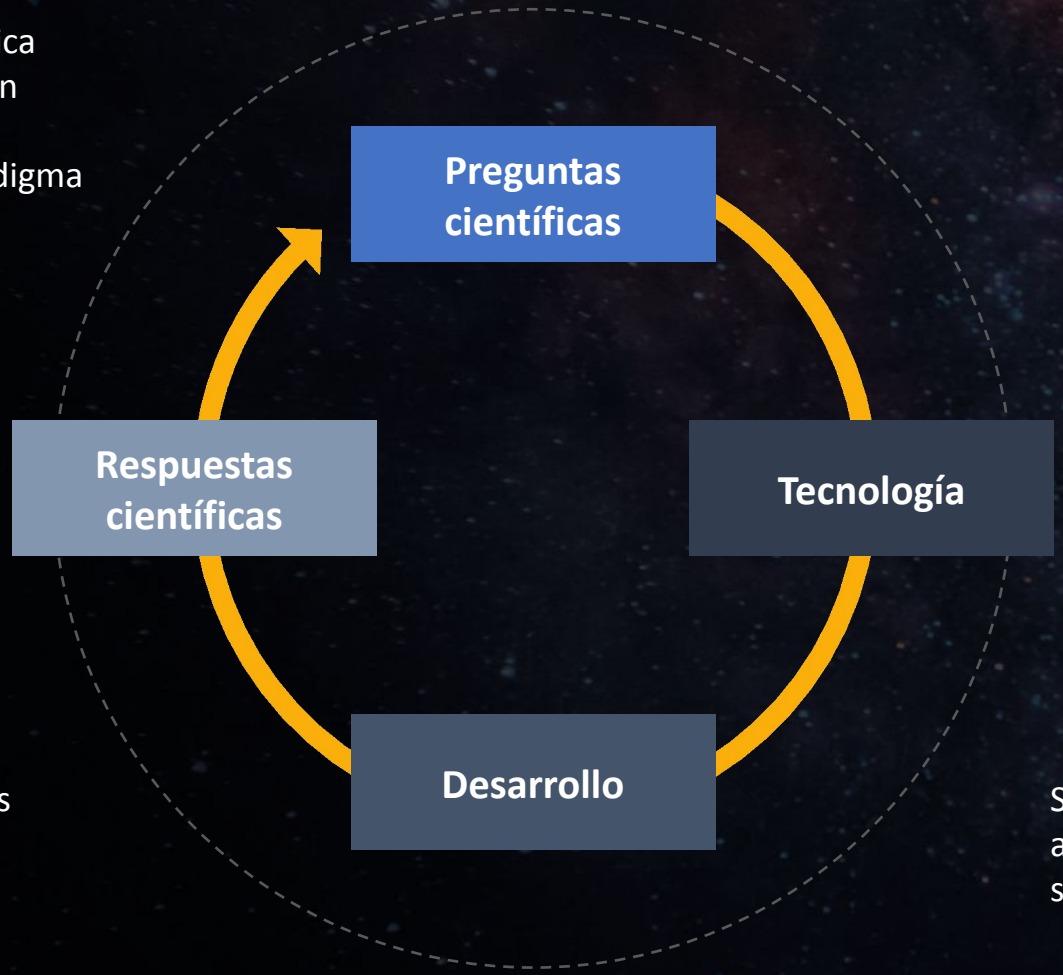
10

Círculo virtuoso de la astronomía

Mucho más que ciencia

Educación científica
Roles e inspiración
Cooperación
Cambios de paradigma

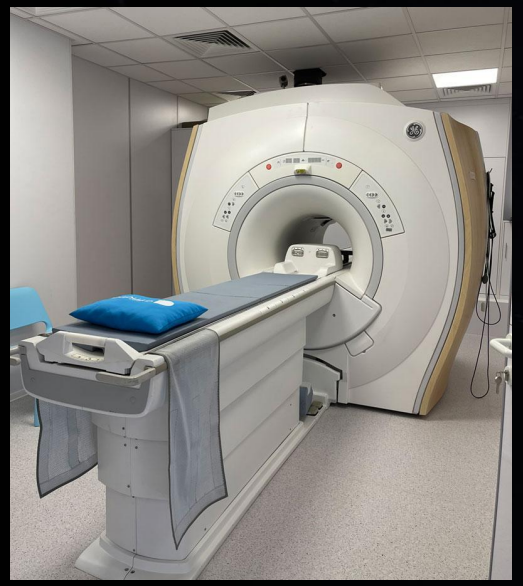
Capital humano con alta formación en STEM



Conectar distintos agentes de I+D

Sinergias y alianzas con socios industriales

11 Transferencia tecnológica



Criogenia y receptores de muy bajo ruido

↓

Resonancia magnética



Enorme cantidad de datos (Big Data)

↓

IA y algoritmos avanzados



Experimento radioastronómico para la detección de objetos débiles

↓

Wifi

12 El futuro de ALMA

El plan estratégico “ALMA 2030” llevará las capacidades del observatorio a un nuevo nivel, fortaleciendo su rol como el radiotelescopio milimétrico y sub-milimétrico más poderoso del planeta.

- Se ampliará la cobertura de frecuencias observables
- Mejorará la capacidad de observar múltiples bandas simultáneamente
- La actualización del correlacionador (el supercomputador que procesa las señales de las antenas) permitirá observar múltiples moléculas y elementos químicos de forma más eficiente
- ALMA podrá observar hasta **4 veces más rápido** abriendo las puertas a proyectos más ambiciosos.

En un entorno donde Chile continúa consolidándose como capital mundial de la astronomía, ALMA seguirá siendo una infraestructura clave para ampliar el alcance de los nuevos telescopios que explorarán el universo.



Imagen: *Correlacionador, P. Carrillo, ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)*



Imagen: *Crióstato, ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), S. Argandoña*

www.almaobservatory.org

Créditos: *S. Otárola, ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)*

13

Protección de los cielos

Cielos de Chile, un patrimonio a salvaguardar

Chile posee condiciones geográficas excepcionales. Junto con el compromiso político/regulatorio sobre el cuidado de la calidad de los cielos, lo convierten en un país atractivo y confiable para atraer grandes inversiones en megaproyectos astronómicos a largo plazo.

Los cielos oscuros y limpios de Chile, libres de contaminación lumínica y radiointerferencias, son un ecosistema frágil que necesita medidas regulatorias claras y eficientes para la convivencia con otras industrias en el área cercana a los observatorios.

Cada observatorio posee tecnologías diferentes que se ven afectadas por distintos fenómenos (radiointerferencias, contaminación lumínica, aumento de turbulencia atmosférica, microvibraciones, polvo en suspensión,...).

Para preservar la calidad de los cielos de Chile y poder seguir operando, necesitamos avanzar urgentemente en las medidas regulatorias:

- Actualización del Decreto n. 2 de MinCiencia (existen recomendaciones técnicas de Comisión de expertos desde finales del 2025).
- Necesidad de actualización la guía de interpretación de la norma lumínica del SEA, alineándose con la Unión Internacional de Astronomía



www.almaobservatory.org

www.eso.org

www.nao.ac.jp/en/

www.nrao.edu

Créditos: *S. Otárola, ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)*