

El universo de ALMA

Cool

Tan

Atacama Large Millimeter/submillimeter Array



★ Primeras observaciones científicas

En el desierto de Atacama, a 5.000 metros de altitud, crece día a día el observatorio terrestre más poderoso de la historia de la humanidad.

Se trata de ALMA, el *Atacama Large Millimeter/submillimeter Array*, un radiotelescopio formado por 66 antenas de 12 y 7 metros de diámetro, que trabajarán al unísono. ALMA estará terminado en 2013. Sin embargo, sus primeras observaciones científicas –fase llamada “Ciencia Inicial”– comenzaron en septiembre de 2011 con 16 antenas.

Desde entonces, ALMA ha comenzado a producir resultados científicos fascinantes y ha proporcionado valiosas pistas sobre la formación

y evolución de sistemas planetarios cercanos –como el que se observa alrededor de la estrella Fomalhaut (ver página derecha)– y ha cumplido con su misión de ver a través de las zonas oscuras del Universo conformadas por gas y polvo (ver imagen en la portada de las galaxias en interacción “Las Antenas”).

ALMA es tan grande y complejo que requirió la alianza de científicos e ingenieros de todo el mundo para su diseño y construcción. Gracias a esta colaboración global se está logrando abrir una puerta hacia fronteras inexploradas que entregará respuestas que otros observatorios no han podido dar.



Arriba: ALMA alcanzó la mitad de su camino en mayo de 2012, cuando la antena número 33 fue trasladada a los 5.000 metros de altitud, en el Llano de Chajnantor. *Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), J. Guarda (ALMA).*

Portada: Vista de las galaxias “Las Antenas” combinando las observaciones de ALMA –en rosado, rojo y amarillo– con observaciones en luz visible –principalmente en azul– obtenidas desde el Telescopio Espacial Hubble de la NASA/ESA. *Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO). Imagen en luz visible: Telescopio Espacial Hubble de NASA/ESA.*

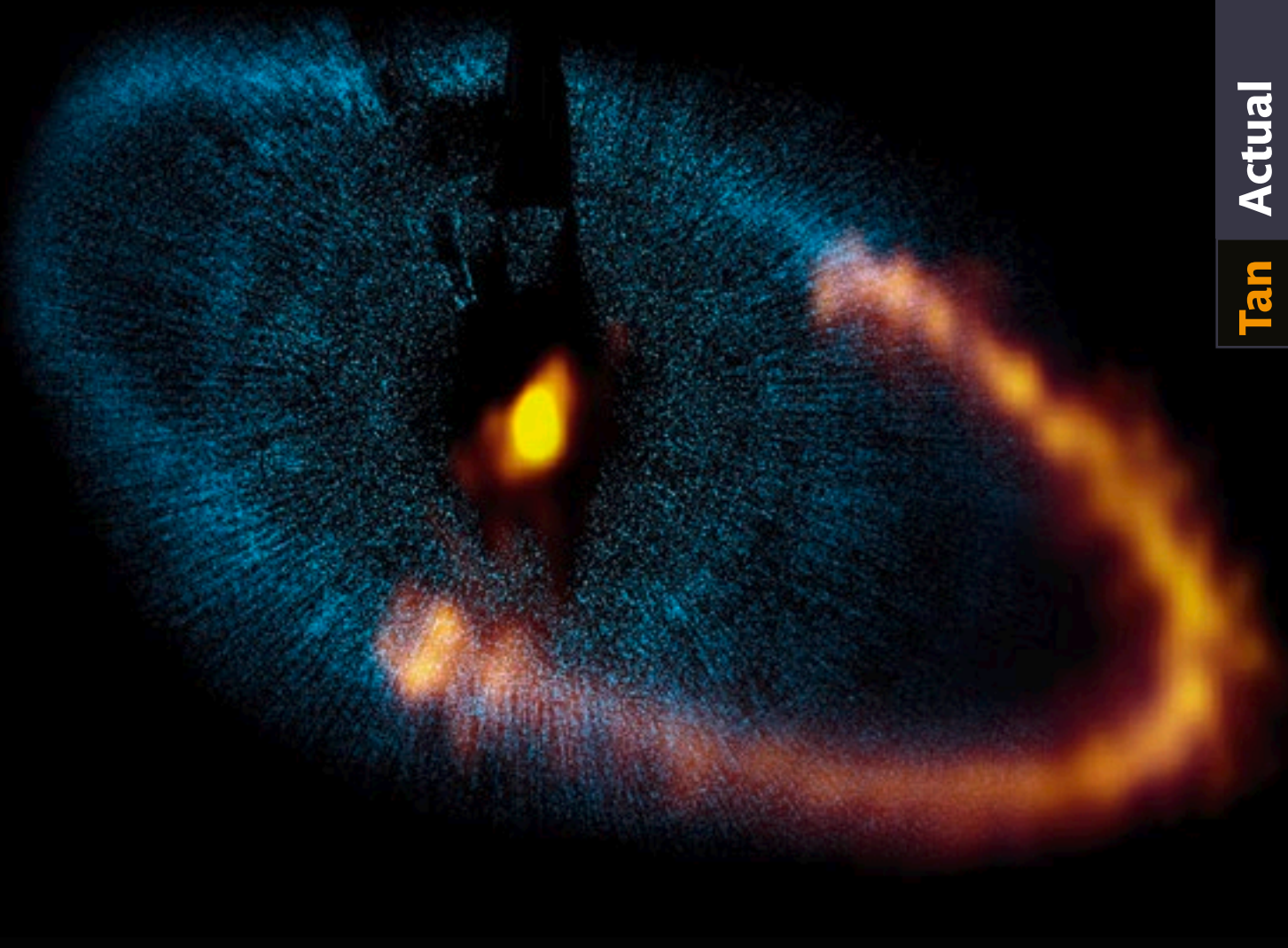


Imagen del anillo de polvo alrededor de la brillante estrella Fomalhaut obtenida con ALMA. En color azul, imagen anterior obtenida por el telescopio espacial Hubble de NASA/ESA. La nueva imagen de ALMA ha aportado a los astrónomos información fundamental para dar un paso adelante en el conocimiento de sistemas planetarios cercanos y ha proporcionado claves importantes sobre cómo se forman y evolucionan este tipo de sistemas. *Crédito:ALMA (ESO/NAOJ/NRAO). Imagen de luz visible: Telescopio Espacial Hubble de NASA/ESA.*

★ El increíble desierto de Atacama

Probablemente nunca estaremos en Marte, pero visitando el sitio de ALMA en la impresionante cordillera chilena de los Andes, podemos tener una buena idea de cómo es ese planeta.

El desierto de Atacama es uno de los más secos de la Tierra. Pese a su similitud con el paisaje marciano, alberga flora y fauna endémica, que durante siglos ha desarrollado técnicas para adaptarse a las condiciones de vida reinantes que suelen ser agrestes. Vicuñas, ñandúes, vizcachas, flamencos, cactus y llaretas son sólo algunos ejemplos de los animales y plantas que se pueden conocer al explorar este increíble paisaje.

Allí viven también los descendientes de los atacameños o *Likan Antai* ("los habitantes del territorio"), etnia indígena cuyo idioma es el *Kunza* y quienes originalmente se dedicaron a la crianza de llamas y alpacas. Protegían sus poblados con murallones contruidos de rocas, verdaderos fuertes llamados *pukara*, pero aún

así fueron conquistados por los incas y luego por los españoles.

Muchos atacameños mantienen hasta hoy algunas tradiciones, como los tejidos, la orfebrería y el pastoreo. Actualmente constituyen el tercer pueblo indígena con mayor número de habitantes en Chile, según el Censo de 2002.

Ubicado a sólo 50 kilómetros de ALMA, el oasis de San Pedro de Atacama se está tomando un popular destino turístico debido a sus atractivos naturales y arqueológicos.



Arriba: La iglesia de San Pedro de Atacama. *Crédito:* ALMA (ESO/NAOJ/NRAO).

Derecha (arriba): Cactus apuntando a la Vía Láctea. Esta imagen fue tomada desde el camino de ALMA, unos pocos kilómetros más arriba del Centro de Operaciones (OSF, por su sigla en inglés).

Crédito: Stéphane Guisard, www.astrosurf.com/sguisard.

Derecha (al medio): El Valle de la Luna, impresionante lugar cercano a San Pedro de Atacama.

Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), V. Boué.

Derecha (abajo): Una manada de vicuñas. *Crédito:* ALMA (ESO/NAOJ/NRAO).



Tan Imponente



* La atmósfera sobre ALMA

ALMA observa la luz invisible a los ojos emitida naturalmente por el Universo en ondas de radio, una porción del espectro de luz que nos permitirá indagar el llamado “Universo frío”, que no puede ser captado por los telescopios ópticos.

El vapor de agua absorbe las ondas de radio, dificultando su observación desde la Tierra. Sin embargo, las antenas de ALMA se ubican en una zona alta y seca, por encima del 40% de la atmósfera.

Esta zona privilegiada para la observación astronómica, conocida como el llano de Chajnantor (que en la lengua *Kunza* significa

“lugar de despegue”), es además muy amplia, lo que permite distribuir las antenas de ALMA sobre una superficie de 16 kilómetros de diámetro. ¡Hay pocos lugares así en el mundo a 5.000 metros de altitud!

Su ubicación tiene aún más ventajas: debido a su relativa cercanía a la línea del ecuador, ALMA puede observar la mayor parte del cielo, incluyendo buena parte del cielo del hemisferio norte. A esto se suma el hecho de que Chile tiene una próspera comunidad científica que apoya activamente los proyectos de investigación de vanguardia.



Arriba: Impresión artística que simula cómo se verá ALMA cuando esté terminado. Las antenas están instaladas en el llano de Chajnantor en una configuración extendida. Aunque éstas pesan más de 100 toneladas cada una, pueden ser desplazadas entre distintas posiciones gracias a transportadores fabricados especialmente para ello, que permiten reconfigurar al conjunto. *Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), L. Calçada (ESO).*

Derecha: Trazos estelares sobre ALMA. *Crédito: ESO/B. Tafreshi (twanight.org).*



Tan Seco

* La porción del espectro de luz de ALMA

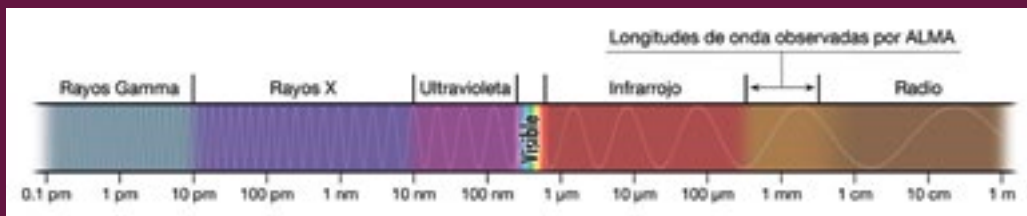
Los colores de la luz que pueden detectar nuestros ojos son sólo una pequeña porción de todo el espectro electromagnético. El Universo emite luz en muchos colores invisibles, desde ondas de radio hasta rayos gamma, y los estudios realizados en cada banda del espectro contribuyen a potenciar nuestro conocimiento.

Solo ahora, gracias a la tecnología de punta de ALMA, podemos abrir una nueva veta de exploración del espectro en alta resolución: la porción de ondas de luz milimétrica, que se encuentra entre las ondas de infrarrojo lejano y las ondas de radio. Se trata de un tipo de investigación clave para la astronomía del futuro porque:

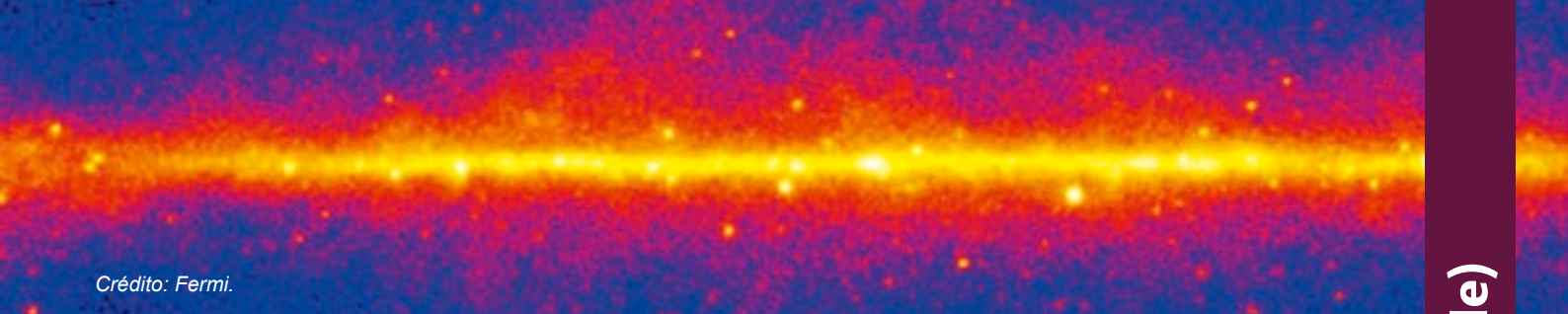
* Es donde se encuentra la mitad de toda la luz. Además del fondo cósmico de microondas (un brillo casi uniforme en todas partes del cielo), el Universo emite casi la totalidad de su luz en dos agrupaciones de color. Por cuatro

siglos hemos estado estudiando la primera, la luz visible, gracias al uso de telescopios ópticos. La segunda está centrada en colores infrarrojos lejanos que son bloqueados por la atmósfera terrestre y que se pueden observar en alta resolución usando observatorios localizados en el espacio. Afortunadamente ALMA es capaz de observar una parte de esta luz desde la Tierra gracias a la increíble transparencia del sitio donde se ubica.

* Es donde suceden “cosas entretenidas”. Algunas de las preguntas más persistentes en astronomía se refieren al origen de las galaxias, estrellas, planetas y moléculas que alimentan la vida. ALMA observa la luz emitida por objetos de temperaturas frías ubicados en el espacio, lo que nos permite desentrañar profundos misterios acerca de la formación de planetas y de la aparición de moléculas complejas, incluso moléculas orgánicas.



Arriba: El espectro electromagnético es el rango completo de ondas electromagnéticas. Éste se extiende desde la radiación de menor longitud de onda –como los rayos gamma y rayos X, la luz ultravioleta, luz visible y rayos infrarrojos–, hasta las de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio. Este recuadro demuestra que lo que podemos observar a simple vista representa una mínima parte del espectro electromagnético.



Crédito: Fermi.



Crédito: Nick Risinger (skysurvey.org).



Crédito: WISE/NASA/JPL-Caltech/UCLA.



Crédito: ESA Planck LFI and HFI Consortia (2010).



Crédito: Haslam et al.

Tal como se ve en esta imagen compuesta, el mismo objeto (en este caso la vía Láctea) puede ser visto de distintas maneras, dependiendo de las ondas que observamos, como por ejemplo la luz visible (que perciben nuestros ojos), el infrarrojo, las ondas milimétricas y submilimétricas y las ondas de radio más largas.

* Las antenas revolucionarias de ALMA

Las antenas de ALMA de 12 y 7 metros de diámetro son las más precisas jamás construidas. Pese a los fuertes vientos, a las temperaturas fluctuantes del desierto y a la altura, pueden mantener formas parabólicas perfectas con una precisión equivalente a tan solo una fracción del espesor de un cabello humano. Este nivel de precisión, que debe ser superior a una décima parte de la longitud de onda más corta (de 300 micrómetros) que podrá observar ALMA es crucial para detectar correctamente las radiaciones más débiles. Las antenas de ALMA funcionan con una exactitud aún mayor, de menos de 10 micrómetros, por lo que son capaces de adaptarse a las deformaciones térmicas y a las leves alteraciones sufridas con el tiempo.

Aunque nos encontremos en uno de los lugares más secos del mundo, el aire contiene un poco de vapor de agua. Las variables burbujas de vapor de agua en la atmósfera distorsionan las ondas de luz provenientes del espacio en su trayectoria hacia las antenas. De no corregirse, esta distorsión arruinaría la habilidad de ALMA para realizar observaciones de alta precisión. Para lidiar con este problema, ALMA posee dos novedosos sistemas:

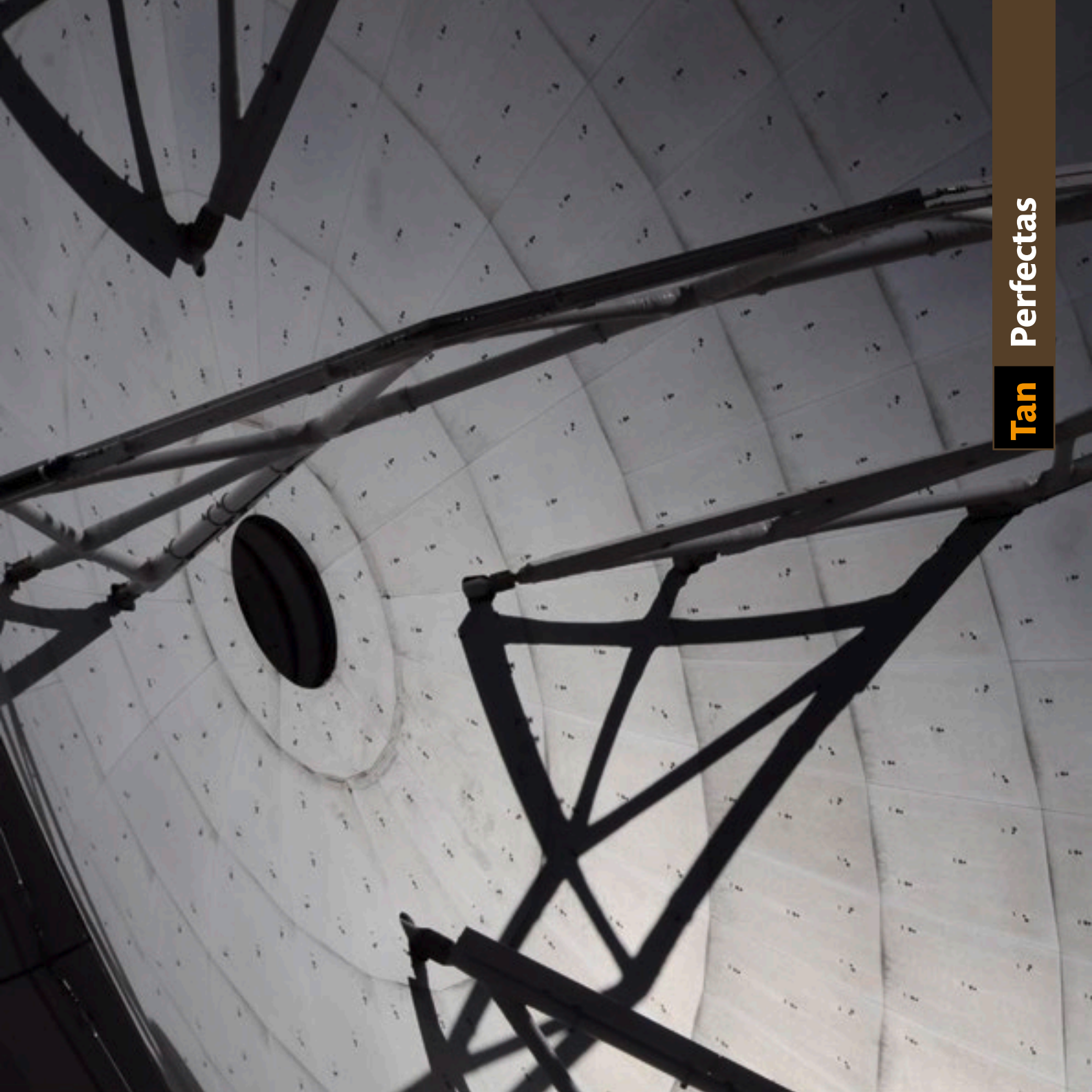
Derecha: El interior de una antena de ALMA compuesta por una multitud de paneles ajustados de manera tal que la parábola mantenga una forma perfecta, con una precisión equivalente a una fracción del grosor de un cabello humano en toda la superficie, pese a las duras condiciones existentes en el llano de Chajnantor, a 5.000 metros de altitud. *Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), R. Bennett.*

Primero, cada diez segundos las antenas se mueven rápidamente desde el objeto que están estudiando hasta otro objeto conocido y cercano en el cielo. Midiendo la supuesta distorsión de ese último objeto podemos corregir la señal recibida del objeto estudiado. Las antenas realizan rápidos movimientos entre uno y otro.

En segundo lugar, cada antena está equipada con un radiómetro que mide continuamente la radiación emitida por el vapor de agua que se encuentra en su línea de visión. Esto permite aplicar correcciones adicionales a la señal observada.

El efecto combinado de estas técnicas sirve para reducir enormemente los errores causados por el vapor de agua, permitiendo que los astrónomos obtengan información fidedigna.

Norteamérica proporciona 25 antenas, Europa otras 25 y Asia del Este 16, que constituyen el Conjunto Compacto de Atacama (ACA, por su sigla en inglés).



Tan Perfectas

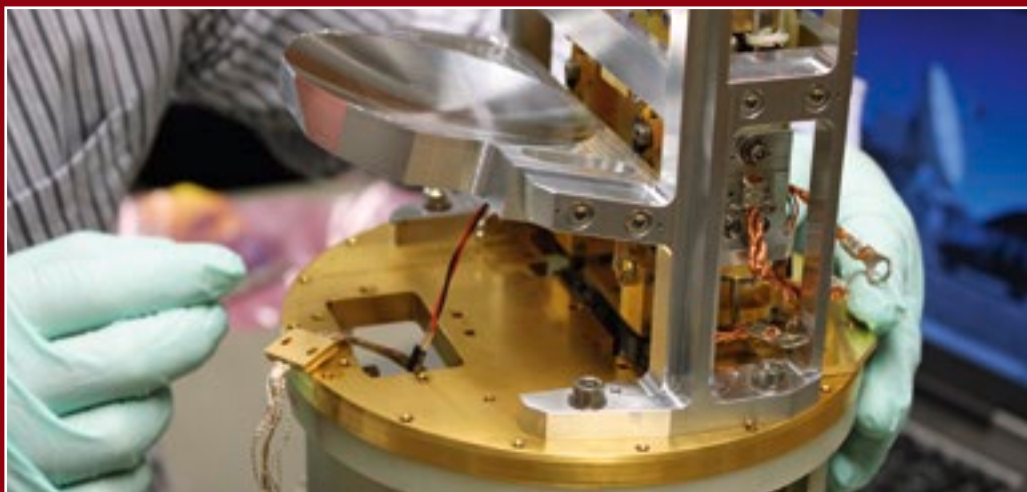
★ Los receptores superconductores de ALMA

Así como el interior de una cámara fotográfica debe ser oscuro, un receptor de radio que capta las señales increíblemente débiles provenientes del espacio debe ser “silencioso”. Una de las mejores técnicas para eliminar el “ruido” de un receptor es hacer que esté muy, muy frío.

Los receptores que se instalan en cada una de las antenas de ALMA están a una temperatura muy cercana al cero absoluto (-273°C o -459°F), la más baja posible, donde la actividad molecular y atómica está en su mínimo. Esas temperaturas muy bajas son también necesarias para que

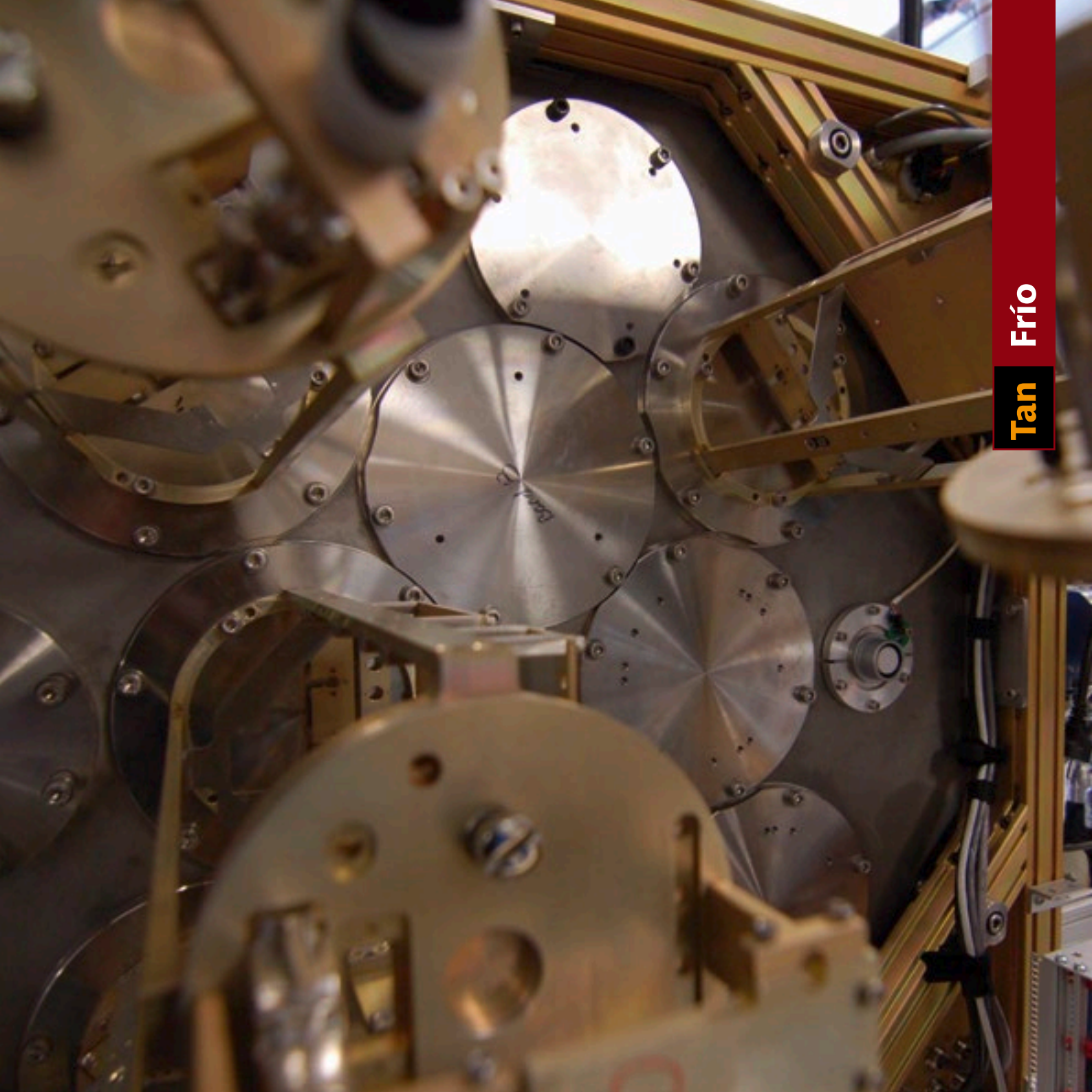
funcionen los componentes superconductores en los receptores.

Estos receptores son los mejores que se hayan fabricado jamás. Presentan un ancho de banda sin precedentes –lo que permite acceder a una mayor porción del espectro electromagnético o, dicho de otra forma, a una mayor gama de “colores” que los receptores anteriores– y se acercan al menor nivel de ruido teóricamente posible. Una vez completado, el sistema receptor de ALMA será el mayor ensamblaje de electrónica superconductora en el mundo.



Arriba: Uno de los receptores construidos para ALMA. En esta imagen, un receptor de la Banda 5, capaz de detectar radiación electromagnética con longitudes de onda de entre 1,4 y 1,8 milímetros (211 y 163 gigahertz). *Crédito: Observatorio Espacial Onsala/Alexey Pavolotsky.*

Derecha: Un *Front End* de ALMA en espera de un receptor en el Centro de Integración de Front End de NRAO en Charlottesville, Virginia. *Crédito: NRAO/AUI/NSF.*



Tan Frío

★ Los transportadores de antenas de ALMA

En algunas observaciones astronómicas se da prioridad al estudio de la estructura extendida del objeto astronómico. En otras, es más importante poder captar la mayor cantidad de detalles. ALMA puede obtener ambas.

Esto se logra moviendo las antenas. Cuando están cerca unas de otras, ALMA puede obtener una imagen más general de los objetos astronómicos que se observan. Por el contrario, cuando las antenas están más separadas entre sí, ALMA puede ver con mayor resolución.

Sin embargo, no es nada fácil levantar una antena de 100 toneladas, moverla varios kilómetros y depositarla en su ubicación final con una precisión de una fracción de milímetro. Los dos transportadores de antenas de ALMA, llamados Otto y Lore, fueron construidos sólo para este propósito. Pesan cerca de 130 toneladas y son los encargados de subir las antenas desde el sitio de ensamblaje y testeado del Centro de Operaciones (*Operations Support Facility*, OSF, ubicado a 2.900 metros de altitud) hasta su destino final en el llano de Chajnantor (a 5.000 metros de altitud) y luego desplazar las antenas en el mismo llano cuando se requiere cambiar la configuración del conjunto. Los transportadores

también deben bajar las antenas al OSF para efectuar reparaciones, mantenciones y mejoras.

Se trasladan a 12 kilómetros por hora (aún más lento cuando llevan antenas), poseen 28 ruedas y un sistema que asegura la estabilidad de las antenas en caso de sismos. Además cuentan con generadores de energía para mantener los sistemas de frío (criogenia) que permita a las antenas seguir funcionando mientras son transportadas.



Derecha: Transportador moviendo una antena de ALMA en el Centro de Operaciones (OSF, por su sigla en inglés), ubicado a 2.900 metros de altitud, donde las antenas son ensambladas y testeadas.

Cédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), W. Garnier (ALMA).



Tan Poderoso

✦ El Correlacionador de ALMA

Nuestros ojos pueden extraer una cantidad impresionante de información de la luz que los atraviesa y eso se logra mapeando la distribución de la luz sobre el campo de visión. A ese “mapa” es lo que llamamos una imagen.

Para conformar imágenes a partir de longitudes de onda de luz milimétrica reunidas por múltiples antenas necesitamos un poder computacional absolutamente colosal. Las señales provenientes de cada par de antenas –hay 1.225 pares sólo

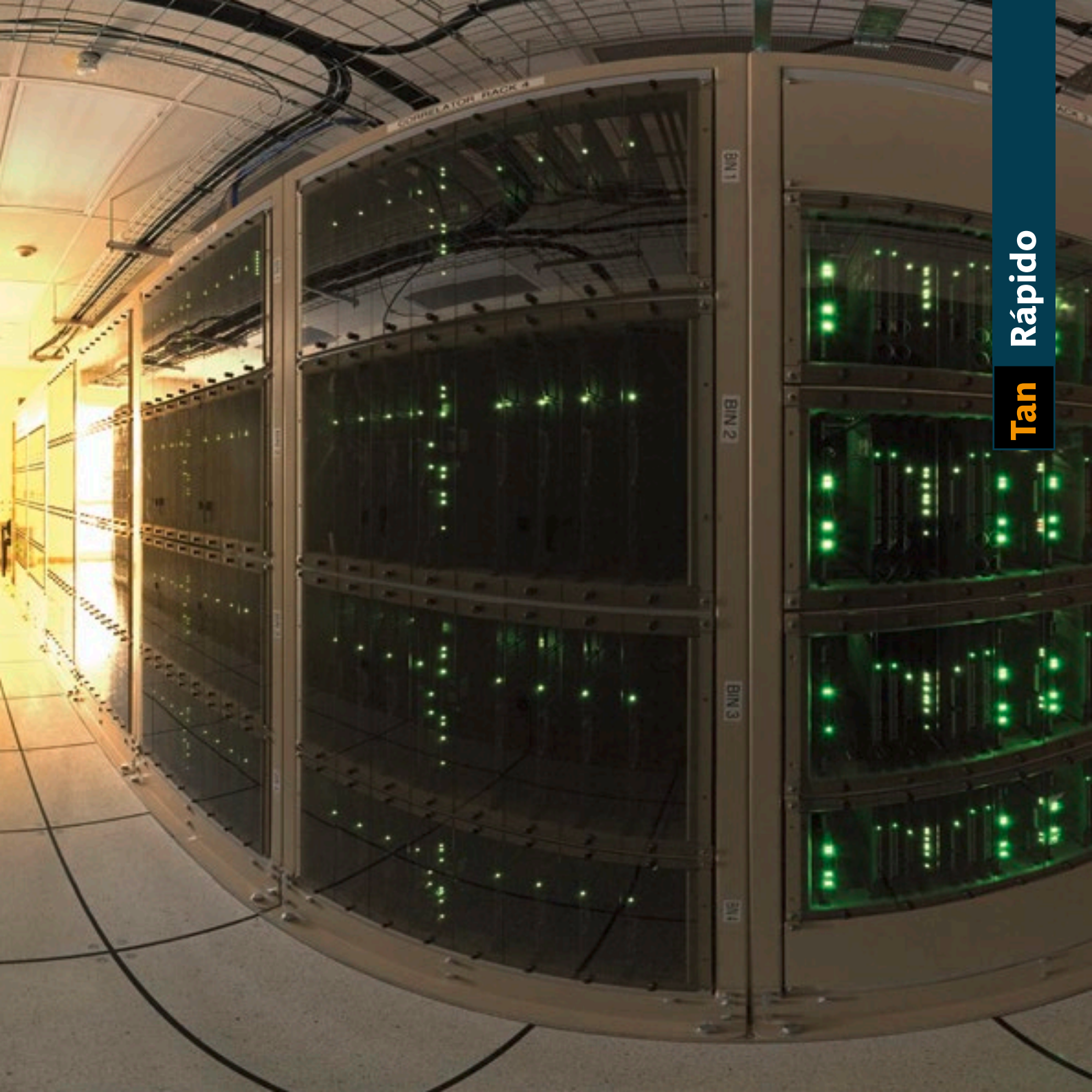
en el conjunto principal de antenas– deben ser matemáticamente comparadas miles de millones de veces por segundo.

¡Se necesitarían aproximadamente tres millones de computadores portátiles para realizar la misma cantidad de operaciones por segundo que ALMA! Haz los cálculos y descubrirás por qué –por mucho menos dinero– decidimos crear el Correlacionador de ALMA, uno de los súper computadores más rápidos del mundo.



El Correlacionador de ALMA se ubica en el edificio técnico del Sitio de Operaciones del Conjunto (*Array Operations Site, AOS*), a 5.000 metros de altitud, en el llano de Chajnantor. Este súper computador, diseñado para un propósito específico, es el más alto y uno de los más rápidos del mundo.

Crédito (arriba): ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), S. Argandoña; Crédito (derecha): ESO.



COMPLETA LOU RACK 4

BIN 1

BIN 2

BIN 3

BIN 4

Tan
Rápido

★ De fotones a fotos

Los objetos fríos en el espacio irradian luz invisible bajo el extremo rojo del espectro, e irradian mucho menos luz que los objetos calientes como las estrellas. Para detectar los tenues, pero importantes “guiños” de luz provenientes de lugares donde las estrellas y planetas se están formando, se requiere de instrumentos de un impresionante poder recolector de luz.

Cada una de las antenas de ALMA de 12 metros de diámetro es más grande que el mayor de los telescopios de luz visible existentes en la Tierra.

ALMA contará con 54 antenas de doce metros de diámetro y 12 antenas de siete metros de diámetro. Estas últimas, más cuatro de las grandes, conforman el Conjunto Compacto de Atacama (*Atacama Compact Array, ACA*) que permite a ALMA realizar mejores observaciones de objetos más amplios en el Universo, tales como las nubes gigantes de gas molecular que están en la Vía Láctea, o galaxias cercanas.

Debido a su gran cantidad de antenas, la superficie total del interferómetro de ALMA es levemente superior a 6.500 metros cuadrados, lo que equivale a una cancha de fútbol. Ello permite detectar las radiaciones muy débiles, pero combinar dichas señales provenientes de todas las antenas para producir una imagen en alta resolución del objeto observado, es otra cosa. Es un verdadero desafío que requiere que las 66 antenas y los componentes electrónicos trabajen en perfecta sincronía, con una precisión de una millonésima de millonésima de segundo (detalles en la imagen de la página 19).

¿Cómo funciona ALMA?

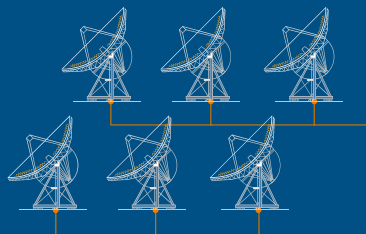
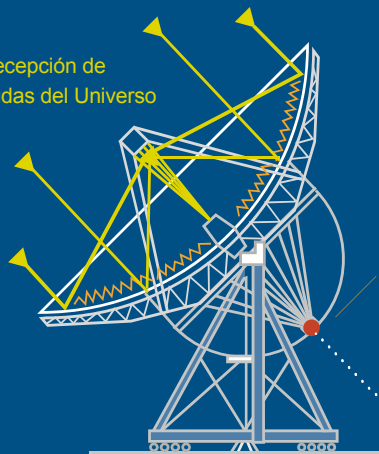


- 1 Cada antena posee una parábola que recolecta las longitudes de onda milimétricas y submilimétricas del Universo.



- 3 El Correlacionador combina las señales que provienen de todas las antenas y genera información astronómica.

Recepción de ondas del Universo



(66 antenas)

Hasta 16 kms de fibra óptica

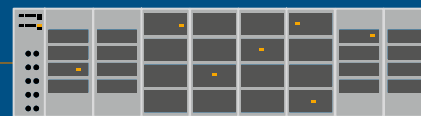
Front End

Back End

1010101

Análogo / Digital

Sitio de Operaciones del Conjunto / AOS
Correlacionador



Centro de Operaciones / OSF

- 4 Los datos se envían al Centro de Operaciones, después al Archivo Central en Santiago y finalmente a los Centros Regionales de ALMA en Europa, América del Norte y Asia del Este. Una vez aquí, los astrónomos reciben los datos procesados y los analizan.

2

La señal del Universo es medida por sensibles receptores, enfriados hasta los -269°C y luego es digitalizada antes de ser transmitida a través de 16 kilómetros de fibra óptica.



Sincronizado
Tan

★ La increíble resolución de imagen de ALMA

Una vez que hemos superado las distorsiones provocadas por la turbulencia atmosférica, la habilidad de un telescopio para observar detalles depende considerablemente de dos cosas: el color (longitud de onda) de la luz y el diámetro del telescopio.

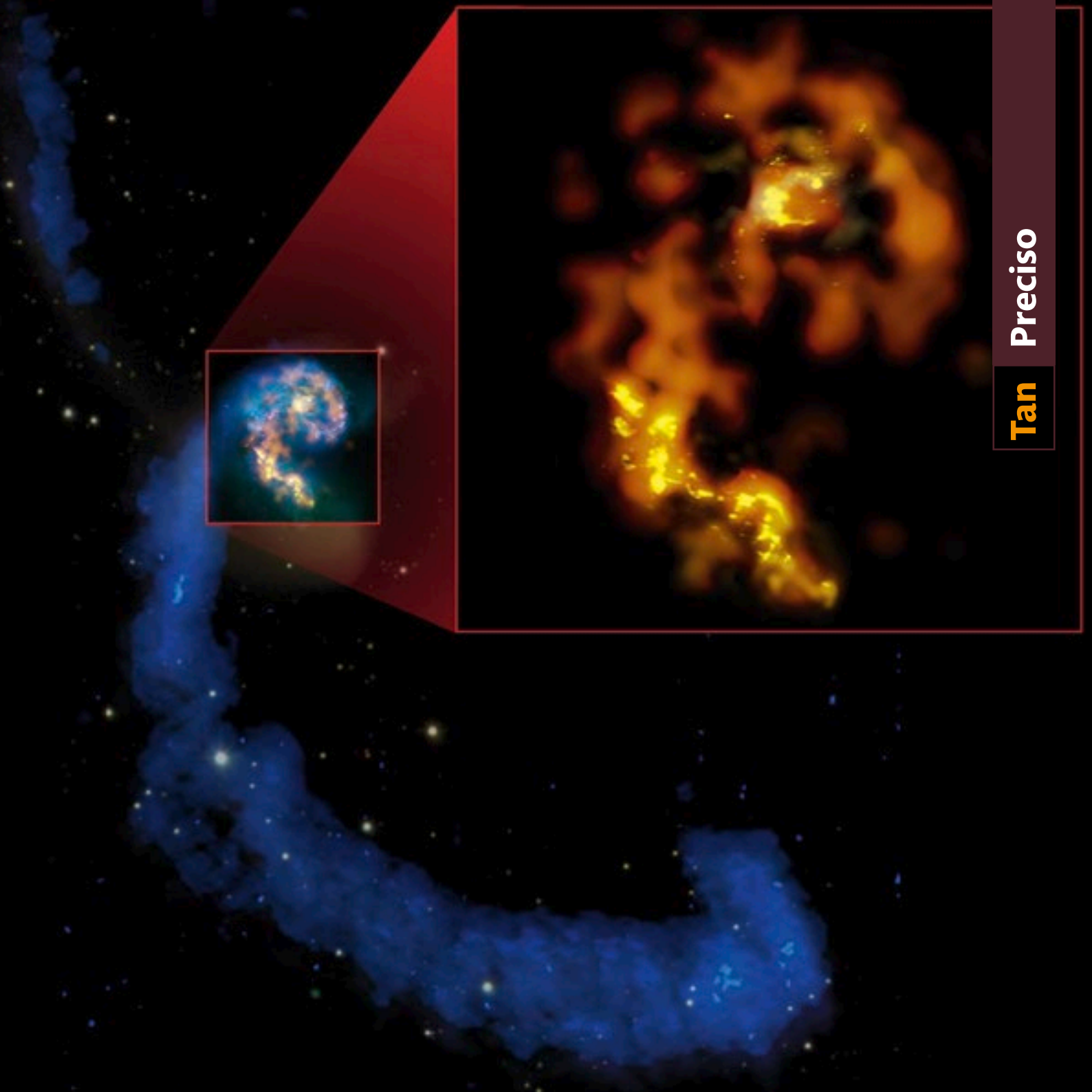
Mientras más larga es la longitud de onda de la luz que se quiere detectar, más borrosa será la imagen producida por el telescopio. La única forma de obtener una imagen realmente clara en este tipo de luz es construyendo un telescopio realmente grande.

Para observar con una claridad equivalente a la que puede ver una persona en la luz visible, un telescopio de longitud de onda milimétrica debe ser 500 veces más ancho que el ojo humano.

Las antenas de ALMA, de 7 y 12 metros de diámetro, pueden entonces ver más nítidamente que un ojo humano. Y, en su conjunto, cuando todas las antenas estén funcionando en forma sincronizada, ALMA será capaz de obtener detalles con una resolución diez veces mayor que el Telescopio Espacial Hubble.

Combinando las señales —primero en forma electrónica y luego matemática— de las antenas distribuidas a lo largo de 16 kilómetros, podemos crear un poder de resolución equivalente a contar con un solo telescopio de 16 kilómetros de diámetro! Es por eso que se denomina a ALMA un “interferómetro”.

Derecha: Imagen compuesta en múltiples longitudes de onda de las galaxias en interacción NGC 4038/4039, “Las Antenas”, donde se aprecian sus colas —por las que obtienen tal nombre— en onda de radio (azules), las formaciones de estrellas pasadas y recientes en luz visible (blancos y rosados), y una selección de regiones de estrellas actualmente en formación en ondas milimétricas y submilimétricas (naranjas y amarillos). En detalle: primeras observaciones milimétricas y submilimétricas de ALMA en las bandas 3 (naranja), 6 (ámbar) y 7 (amarillo), con un nivel de detalle que sobrepasa todas las otras imágenes de estas longitudes de onda. *Crédito: (NRAO/AUI/NSF); ALMA (ESO/NAOJ/NRAO); HST (NASA, ESA, y B. Whitmore (STScI)); J. Hibbard, (NRAO/AUI/NSF); NOAO/AURA/NSF.*



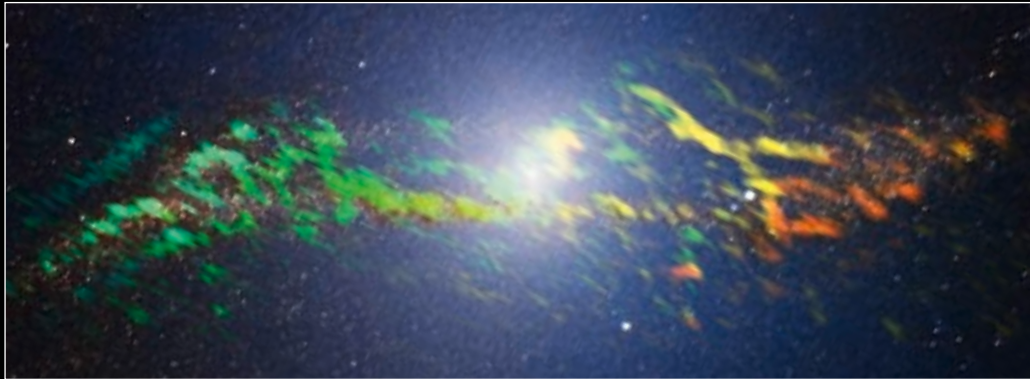
Tan Preciso

★ El cielo de ALMA

Por cuatro siglos, telescopios de todos los tipos nos han deleitado con imágenes del Universo que intrigan, sorprenden y nos hacen más humildes ante la inmensidad que nos rodea. Dichas imágenes nos han mostrado explosiones de estrellas, galaxias colisionando, el nacimiento de planetas, cúmulos estelares, galaxias lejanas, chorros de gas expulsados por estrellas jóvenes y muchos otros objetos o fenómenos que, además de su hermosa apariencia, también conllevan atractivas historias y secretos.

Con ALMA está apareciendo la misteriosa luminosidad del Universo más frío y oculto.

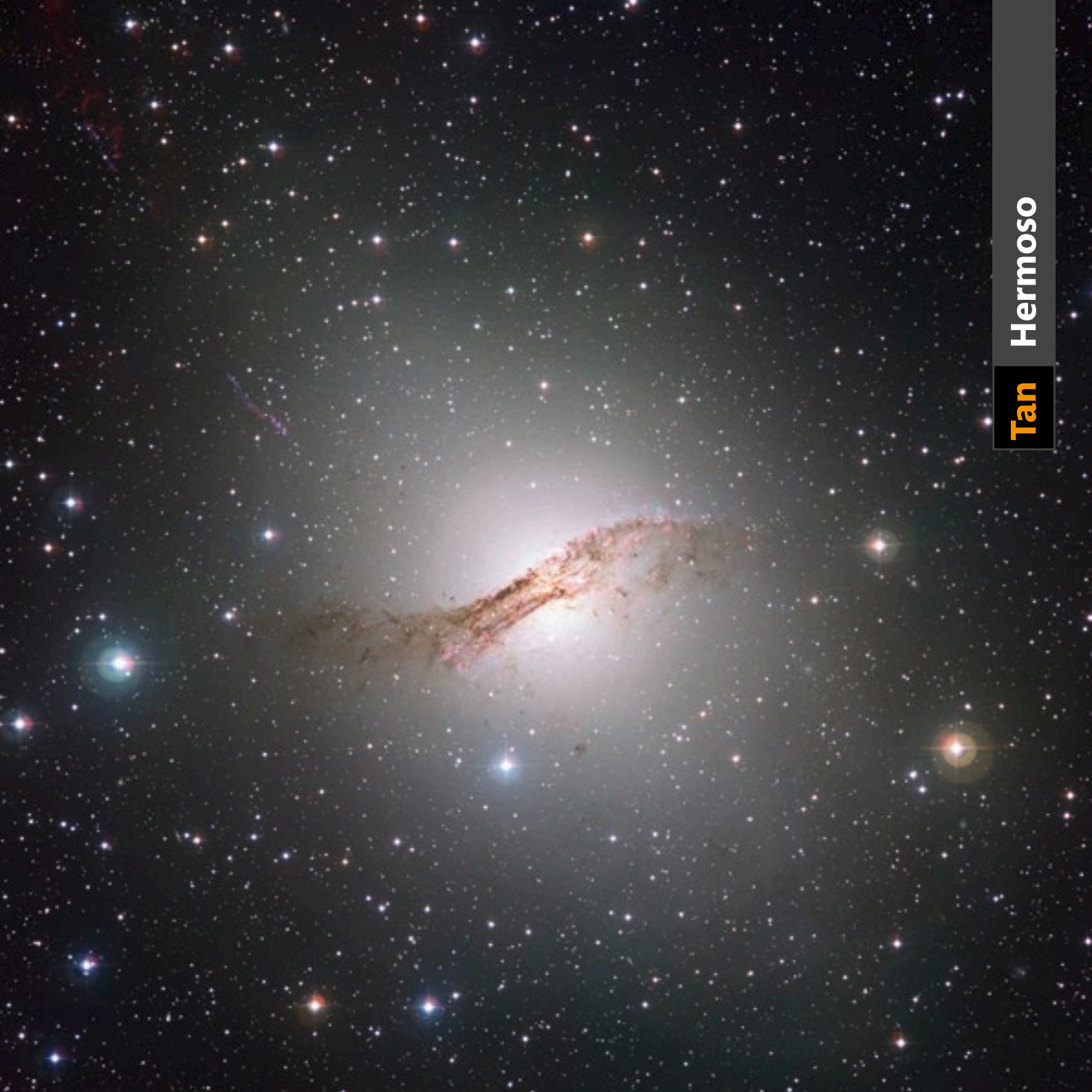
Podemos contemplar con vívida claridad lo que ningún ojo humano ha visto. Podemos sondear el nacimiento de estrellas y planetas y vislumbrar las primeras fases de formación de dichos objetos astronómicos. Podemos estudiar las primeras estrellas y galaxias que emergieron desde la “Edad Oscura” cósmica, hace miles de millones de años. Podemos determinar la composición química de la atmósfera de planetas en formación y ojalá podamos también detectar las primeras huellas de vida. ¡Podremos observar tantas cosas más! En resumen, tenemos la oportunidad de explorar nuestros orígenes cósmicos.



Arriba: Imagen de Centaurus A (NGC 5128) combinando observaciones de ALMA con observaciones en infrarrojo cercano. Las nuevas observaciones de ALMA, representadas en la imagen superior en un rango de verde, amarillo y naranja, revelan la posición y el movimiento de las nubes de gas en la galaxia.

Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO); ESO/Y. Beletsky.

Derecha: Imagen en luz visible de Centaurus A tomada con la Cámara de Gran Campo (WFI por su sigla en inglés) del telescopio MPG/ESO de 2,2 metros del Observatorio La Silla, en Chile. *Crédito: ESO.*



Hermoso

Tan

★ ALMA desentraña las galaxias más tempranas

A medida que la luz del *Big Bang* se fue desvaneciendo, el universo temprano se volvió más y más oscuro. No había estrellas, sólo gases –en su mayor parte hidrógeno, un poco de helio, trazos de litio y berilio– de los cuales finalmente se formarían las primeras estrellas. Nadie sabe con exactitud cuánto tiempo duró esta “Edad Oscura”, pero en algún momento durante los primeros cientos de millones de años, algunas estrellas se condensaron a partir de ese gas y comenzaron a brillar.

De acuerdo a la teoría, estas primeras estrellas tenían una masa mucho mayor y eran más luminosas que las actuales. Vivían sólo un millón de años antes de explotar espectacularmente, disparando al espacio los elementos químicos acumulados profundamente en sus centros.

Incluso los telescopios más poderosos con que contamos hoy no pueden detectar la luz proveniente de estrellas individuales de esa primera generación. Los observatorios espaciales que vendrán serán técnicamente capaces de registrar la mayor cantidad de

luz emitida por ese tipo de estrellas cuando explotan, pero las oportunidades de hacer algo así –incluso una vez– en el tiempo de vida de un observatorio, son escasas.

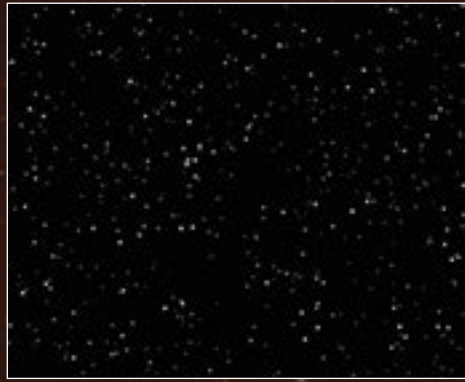
Paradójicamente, nuestra mayor esperanza de detectar la era de las primeras estrellas radica en uno de los elementos más débiles del Universo. Entre el material expelido hacia el espacio por esas estrellas estaba el polvo formado de la fusión termonuclear de elementos más livianos contenidos en éstas. Así, las primeras apariciones de polvo se convierten en nuestra mejor evidencia sobre la vida y muerte de las primeras estrellas.

ALMA está diseñado para detectar polvo en el universo temprano. Al escudriñar el espacio en profundidad –recordemos que cuanto más lejos vemos, más retrocedemos en el tiempo–, ALMA detecta el brillo del polvo tibio presente en las galaxias más lejanas y por lo tanto más antiguas, mucho más de lo que podríamos detectar en las más profundas observaciones en luz visible o infrarroja.

Galaxias "cercanas" vistas por ALMA (simulación)

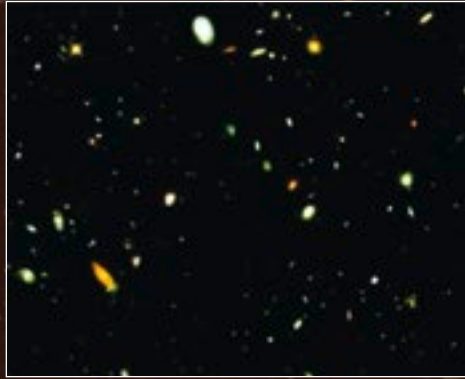


Galaxias "distantes/tempranas" vistas por ALMA (simulación)

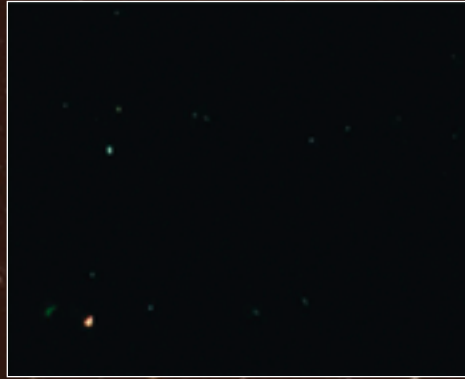


Crédito: W.-H. Wang (NRAO), L. L. Cowie (IfA, U. H., Honolulu), A. J. Barger (U. W.-Madison).

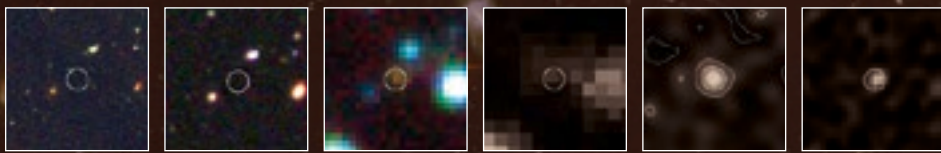
Galaxias "cercanas" vistas por Hubble



Galaxias "distantes/tempranas" vistas por Hubble



Crédito: K. Lanzetta, K. Moore, A. Fernández-Soto, A. Yahil (SUNY). © 1977 Kenneth M. Lanzetta.



Una galaxia distante observada en longitudes de onda de luz que van desde lo visible (izquierda) hasta radio (derecha), con su posición marcada por un círculo. Note que la galaxia no se ve en longitud de onda visible. La quinta imagen muestra luz submilimétrica, donde la galaxia brilla en su mayor intensidad. Crédito: W.-H. Wang (NRAO).

★ ALMA devela la formación de estrellas y planetas

Las estrellas brillan por millones o miles de millones de años, pero su formación –que toma algunos miles de años– permanece literalmente escondida en el misterio. Ello se debe a que los telescopios de luz visible no pueden observar dentro de las polvorientas concentraciones de gas de las que nacen las estrellas. Y los telescopios infrarrojos, que sí pueden revelarnos las estrellas recién nacidas antes de que emerjan completamente de sus polvorientos capullos, no son capaces de observar el proceso de desarrollo de pre-ignición de las estrellas.

Sabemos que inmensas nubes colapsan bajo la fuerza de gravedad para formar estrellas. Pero, ¿cómo se fragmentan en nubes más pequeñas para convertirse en una mezcla de estrellas grandes y pequeñas?, ¿cómo se sobrepone la gravedad a la turbulencia, flujos y fuerzas magnéticas que se resisten al colapso de la nube? Incluso más, ¿cómo siguen las estrellas destinadas a convertirse en masivas acumulando gas una vez que ya se encuentran encendidas?, ¿por qué el viento que fluye desde esas estrellas no detiene su expansión?

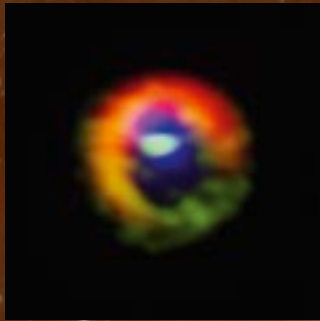
ALMA ayuda a desentrañar estos misterios observando en profundidad las nubes de formación de estrellas, detectando la suave luz emitida por la

materia que recién comienza a calentarse e incluso mapeando el movimiento de esa materia.

De acuerdo a nuestro actual conocimiento, los planetas se forman alrededor de una nueva estrella al condensarse en un disco de gas molecular y polvo incrustado dentro de una nube molecular más grande. Las condensaciones aumentan hasta convertirse en planetas gigantes, que se calientan, limpian sus órbitas en el disco y posiblemente lo encorvan. El gas que permanece en el disco finalmente desaparece, dejando planetas y un disco de polvo y deshechos.

ALMA estudia todas las fases de formación de planetas: sondea los discos protoplanetarios –embriones planetarios– en alta resolución; puede captar el aumento de brillo y temperatura de los planetas en formación y detectar directamente cómo planetas gigantes van limpiando sus órbitas en los discos. ALMA puede encontrar más planetas midiendo los efectos increíblemente pequeños que tienen éstos sobre las estrellas que orbitan y quizás nos permita medir la masa de algunos planetas que ya han sido descubiertos. Además ALMA puede examinar discos de polvo y deshechos que permanecen alrededor de las estrellas una vez que el gas ha desaparecido.

Derecha: Imagen coloreada de la nebulosa Carina, mostrando gran detalle de las estrellas y polvo presentes en la zona. *Crédito: ESO.*



Izquierda: observaciones realizadas con ALMA del disco de gas y polvo cósmico en torno a la joven estrella HD 142527, muestran enormes chorros de gas fluyendo a través de un hueco en el disco. Se trata de las primeras observaciones directas de estos chorros, cuyo origen puede estar en planetas gigantes que devoran gas a medida de que crecen, lo que supone una etapa clave en el nacimiento de estos planetas. **Derecha:** impresión artística del disco y chorros de gas.
Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/M. Kommesser (ESO), S. Casassus et al.

* ALMA investiga el polvo y las moléculas del espacio

A nivel microscópico, los paisajes del espacio muestran verdaderas fábricas químicas de increíble complejidad. Los elementos químicos se unen para formar moléculas, un proceso continuo y que se diversifica, pues al calentarse las moléculas se liberan del polvo, convirtiéndose en moléculas gaseosas en el espacio. A la derecha se muestran algunos ejemplos. Estas moléculas constituyen los pilares fundamentales de la vida y proveen de alimento a los planetas jóvenes.

Si los elementos químicos fuesen letras del alfabeto, las moléculas serían las palabras. Estas últimas son más diversas, complejas e interesantes que las primeras, sin embargo, las moléculas no sobreviven bien a las altas temperaturas (miles de grados) a las que están sintonizados los telescopios de luz visible. Es necesaria, entonces, la tecnología de los radiotelescopios para observarlas.

ALMA tiene una habilidad sin precedentes para descubrir y medir la presencia de moléculas y su

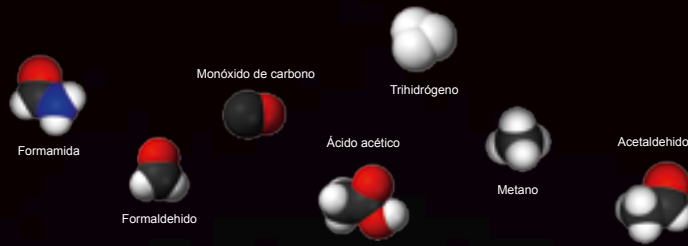
distribución en el espacio. Estamos aprendiendo sobre la química del espacio –irreproducible en laboratorios en la Tierra– y las cambiantes condiciones que la afectan.

Por ejemplo, astrónomos utilizando ALMA ya han detectado moléculas de azúcar en el gas que rodea a una estrella joven similar al Sol. Esta es la primera vez que se encuentra azúcar en el espacio alrededor de una estrella como esa, y su hallazgo demuestra que los componentes básicos de la vida se encuentran en el lugar y el momento correctos para incorporarse a los planetas que se forman cerca de la estrella.

Y observaciones de moléculas de monóxido de carbono han revelado una estructura espiral totalmente inesperada en el material que rodea a la antigua estrella R Sculptoris (ver siguiente página, abajo). Es la primera vez que se encuentra una estructura como ésta y probablemente es producida por una estrella compañera oculta que orbita la estrella principal.

Derecha: Observaciones realizadas con el *Atacama Large Millimeter/submillimeter Array* (ALMA) han revelado una estructura espiral inesperada en el material alrededor de la vieja estrella R Sculptoris. Este corte de los nuevos datos de ALMA muestra el caparazón alrededor de la estrella, que aparece como el anillo circular exterior, así como una estructura espiral muy clara en el material interior.

Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/M. Maercker et al.



★ ALMA estudia nuestra estrella más cercana: el Sol

Sabidamente, la mayoría de los telescopios nunca son apuntados hacia el Sol. Sin embargo, ALMA puede estudiar nuestra estrella sin problemas ya que la superficie de sus antenas difuminan el calor permitiendo enfocar las ondas milimétricas del espectro de luz sin quemar las antenas ni los receptores.

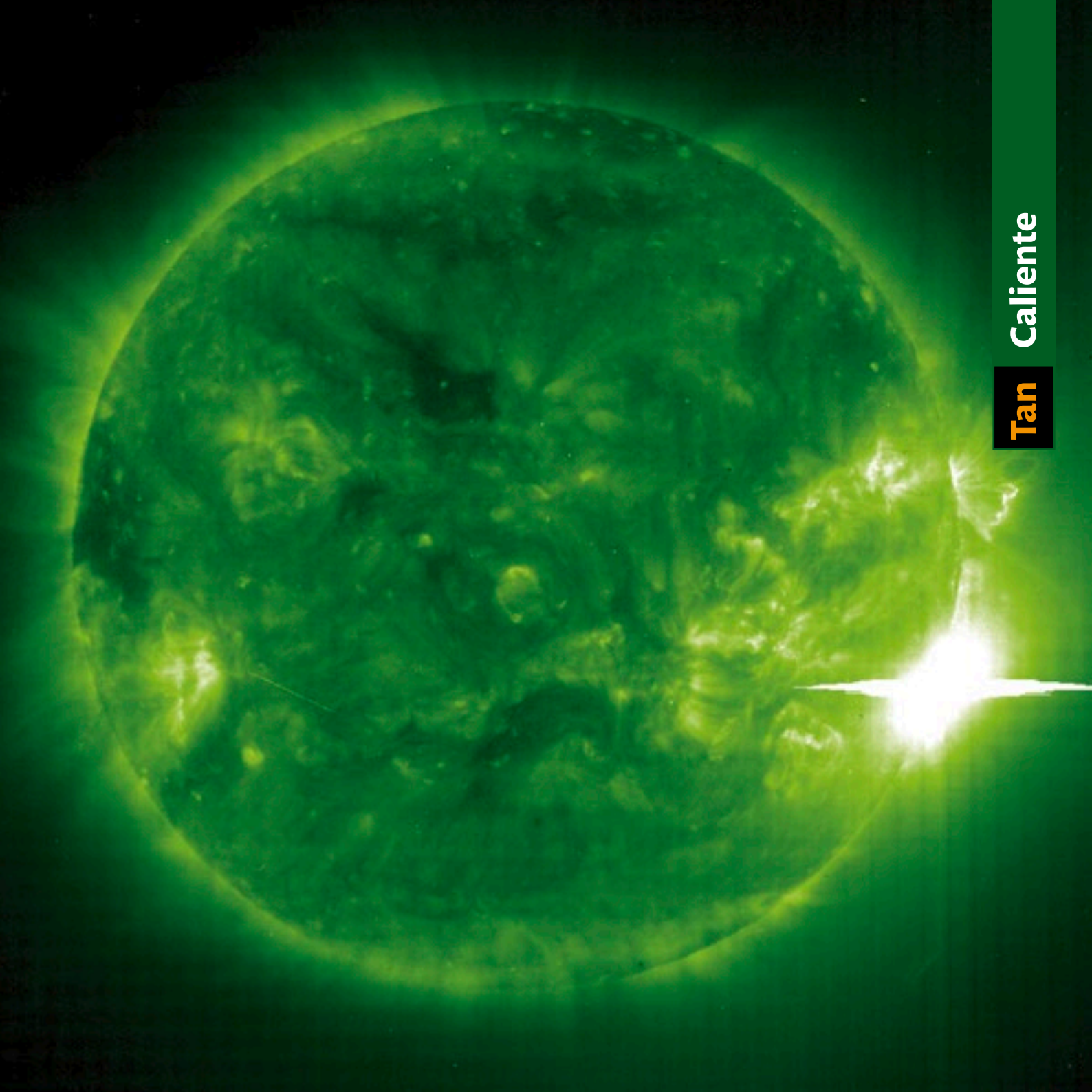
ALMA investiga las grandes erupciones que ocurren en el Sol y su emisión de partículas a alta velocidad. Estudia la estructura y evolución de las protuberancias y filamentos solares, hebras de gas a 6.000°C suspendidas en la atmósfera solar (corona) a $3.000.000^{\circ}\text{C}$.

Hasta hoy es un misterio por qué el Sol tiene una atmósfera tan caliente. ALMA sondea su atmósfera justo bajo el punto donde la temperatura se eleva drásticamente. Así nos ayuda a entender áreas de la atmósfera solar que son imposibles de estudiar de cualquier otra forma.



Arriba: Antenas de ALMA apuntando hacia el Sol desde Chajnantor. *Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO).*

Derecha: Probablemente la más poderosa llamarada solar jamás observada, vista en luz ultravioleta por el satélite SOHO, el 4 de noviembre de 2003. Las imperfecciones en la imagen fueron producidas por la saturación del detector. *Cortesía de SOHO (ESA & NASA).*



Tan Caliente

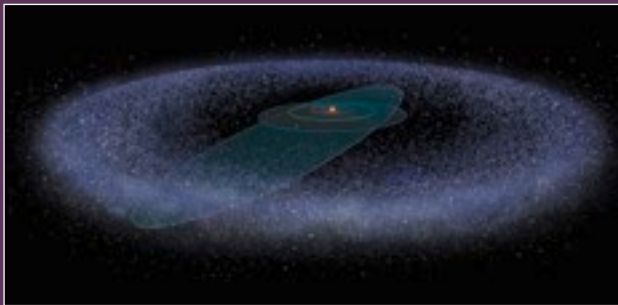
* ALMA explora los mundos que rodean nuestro Sol

El Sistema Solar constituye la pequeña parte del Universo que podemos visitar con sondas robóticas. Pero el dinero sólo alcanza para unas pocas sondas a la vez y son miles los planetas, las lunas, los asteroides y cometas por explorar. Por lo mismo, queda una gran labor para la observación desde la Tierra.

ALMA observa planetas y mide sus vientos. Analiza las moléculas emitidas por cometas y asteroides, incluso cuando están en su punto más activo al pasar cerca del Sol, momento en que otros telescopios no pueden observarlos.

El estudio de la composición de los cometas nos entrega una nueva visión sobre la formación temprana del Sistema Solar, como también lo hace la observación de moléculas esparcidas en el espacio.

ALMA descubrirá miles de nuevos objetos en el Cinturón de Kuiper (al que ahora sabemos que pertenece Plutón), observando la luz que emiten y no la luz que reflejan del Sol –como eran estudiadas hasta ahora–, permitiéndonos calcular sus tamaños reales.



Arriba a la izquierda: Impresión artística del Cinturón de Kuiper.

Crédito: artwork © Don Dixon/cosmographica.com.

Arriba a la derecha: Chorros de agua estallando en Enceladus, una luna de Saturno, vista por la sonda Cassini de la NASA. *Crédito: NASA/JPL/Space Science Institute.*

Derecha: Fotografía del brillante cometa McNaught, llamado el “gran cometa de 2007”, pasando sobre el edificio técnico del Sitio de Operaciones del Conjunto de ALMA, en el llano de Chajnantor.

Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO).



Tan

Cerca

✦ Los mayores descubrimientos de ALMA: lo que aún no podemos prever

La luz no deja de caer sobre nosotros desde el cielo.

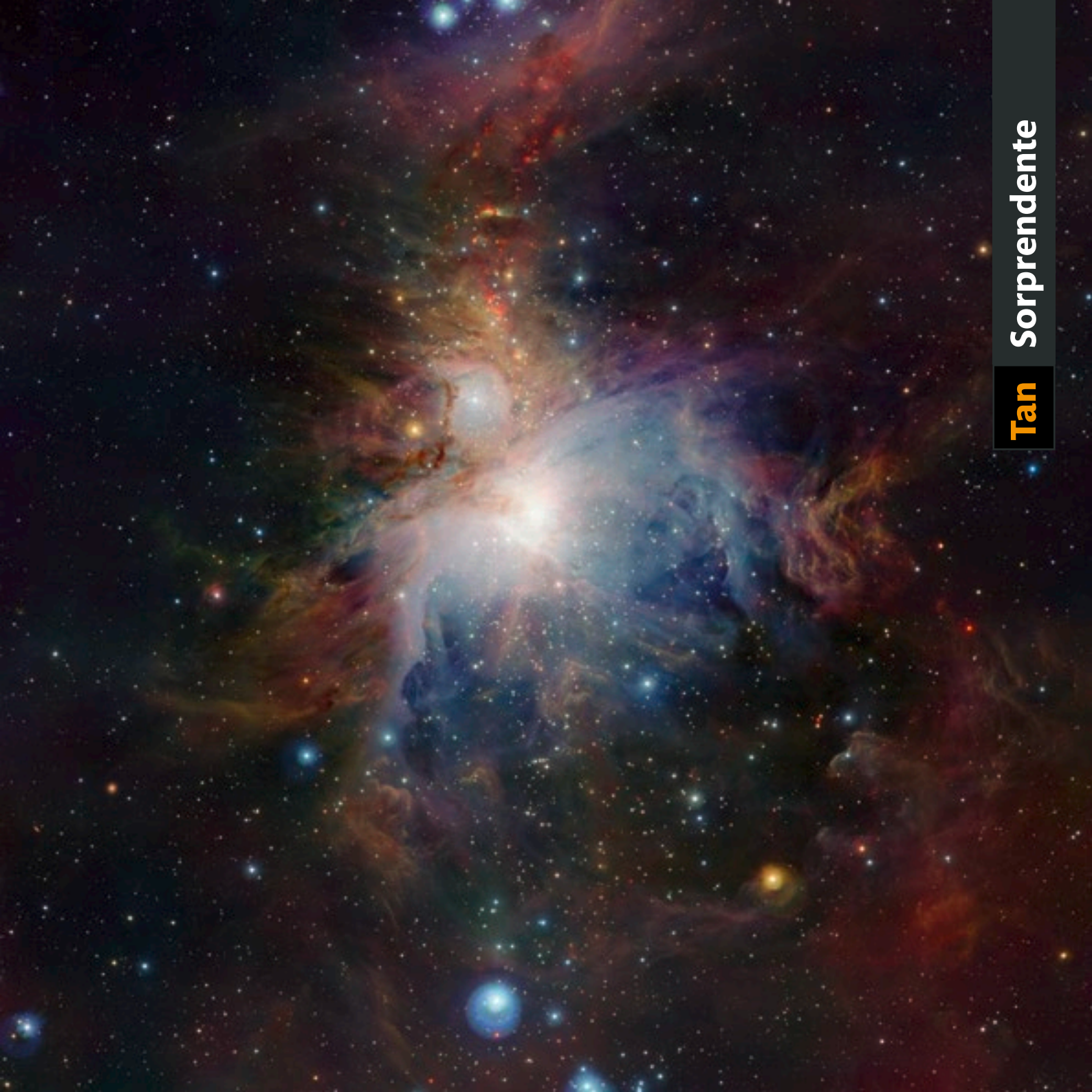
Cada vez que potenciamos nuestras capacidades para capturar y analizar esta luz, el Universo nos revela nuevos secretos.

Tal como sus predecesores, ALMA nos permitirá observar aspectos del Universo cuya existencia ni siquiera sospechamos.



Arriba: Las antenas de ALMA instaladas en un paisaje sobrenatural, a 5.000 metros de altitud en el Llano de Chajnantor. *Crédito: ESO/B. Tafreshi (twanight.org).*

Derecha: Imagen de amplio campo de la Nebulosa de Orión (Messier 42), que se ubica a unos 1.350 años-luz de la Tierra, tomada con el telescopio infrarrojo de sondeo VISTA ubicado en el Observatorio Paranal de ESO en Chile. *Crédito: ESO/J. Emerson/VISTA. Agradecimientos: Cambridge Astronomical Survey Unit.*



Tan

Sorprendente

★ Las personas, talentos y países construyendo ALMA

ALMA es una colaboración global entre las comunidades científicas de Europa, Norteamérica y Asia del Este, en cooperación con Chile.

Se trata de un lugar de encuentro internacional, donde personas de 20 nacionalidades, de los más diversos lenguajes y culturas, se unen por un objetivo común. Quienes trabajan en las oficinas y laboratorios de ALMA o en el mismo lugar del telescopio —enfrentados a veces a

condiciones extremas— se suman a otras miles de personas que, desde remotas universidades, institutos, laboratorios y empresas de distintos rincones del planeta, están enfocados en hacer realidad el telescopio de radioastronomía más potente del mundo.

Todos contribuyen con su experiencia científica, nuevos diseños y desarrollo de tecnologías de vanguardia.



Arriba: Veinte países de cuatro continentes están asociados en torno a ALMA, un verdadero esfuerzo global.

Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), W. Garnier (ALMA).

Derecha: Mosaico realizado sobre la base de fotografías individuales del equipo humano que compone ALMA. *Crédito:* ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), A. Peredo.



Tan Global



* Archivo público de datos de ALMA

ALMA tendrá 100 veces más sensibilidad y resolución espectral y de imagen que sus predecesores en ondas milimétricas/submilimétricas. Nunca antes se ha logrado un salto de esa magnitud en astronomía.

Científicos de todo el mundo ya compiten por tiempo de observación en ALMA (los astrónomos chilenos tienen un 10% de este tiempo, mientras que el resto se divide entre los socios de ALMA y otros países). Para el primer ciclo de observaciones, el llamado "Ciclo 0" lanzado a fines de septiembre de 2011, la comunidad científica mundial envió un impresionante número de propuestas (919). Ello da cuenta de un nivel de demanda sin precedentes en ningún telescopio espacial o terrestre. Y por cierto, los próximos períodos de observación son esperados con entusiasmo por los astrónomos de todo el mundo.

Los astrónomos que obtienen tiempo de observación tienen acceso exclusivo a los datos recolectados durante un año. Transcurrido ese plazo, la información se hace pública en una vasta biblioteca que, cuando alcance su capacidad máxima, crecerá a un rango de 800 gigabytes por día.

Estos datos recabados en las observaciones son la fuente primaria de nuevos descubrimientos. Finalmente, el archivo tendrá vida propia, convirtiéndose en un tesoro de información que podrá ser aprovechado por toda la humanidad.



Tan Organizado

✦ El valor de ALMA para todos nosotros

La astronomía es única entre las ciencias por su poder para captar la imaginación. Como uno de los más importantes observatorios basados en Tierra que existirán en las próximas décadas, ALMA tiene un impacto enorme, inspirando a científicos y entusiastas de la ciencia de todo el mundo a explorar las inexpugnables fronteras de lo desconocido, con las nuevas herramientas que hoy están en nuestras manos.

ALMA está contribuyendo a satisfacer esa curiosidad, y no sólo la del investigador profesional, sino también la del niño que mira a un cielo lleno de estrellas y se pregunta qué son y qué parte de ese Universo ocupamos.



Arriba: Niños de una escuela chilena acompañados por el astrónomo de ALMA Antonio Hales.

Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO).

Derecha: Niños de la ciudad de Calama disfrutando con una maqueta interactiva de ALMA.

Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), R. Bennett (ALMA).







Un escenario similar al de Marte, tecnología de vanguardia, ciencia de frontera, 20 nacionalidades diferentes, todos trabajando por un mismo objetivo. Una combinación de elementos que hace que el sueño de ALMA se convierta en realidad allí en el norte de Chile, a los 5.000 metros de altitud en el llano de Chajnantor.

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



El *Atacama Large Millimeter/submillimeter Array* (ALMA), una instalación astronómica internacional, es una asociación entre Europa, Norteamérica y Asia del Este en cooperación con la República de Chile. ALMA es financiado en Europa por el Observatorio Europeo Austral (ESO), en Norteamérica por la Fundación Nacional de Ciencias de EE.UU. (NSF, por su sigla en inglés) en cooperación con el Consejo Nacional de Investigaciones de Canadá (NRC, por su sigla en inglés) y el Consejo Nacional de Ciencia de Taiwán (NSC, por su sigla en inglés) y en Asia del Este por los Institutos Nacionales de Ciencias Naturales (NINS, por su sigla en inglés) de Japón en cooperación con la Academia Sinica (AS) en Taiwán.

La construcción y operaciones de ALMA son conducidas en nombre de Europa por ESO, en nombre de Norteamérica por el Observatorio Radio Astronómico Nacional (NRAO), que es operado por *Associated Universities, Inc.* (AUI) y en nombre de Asia del Este por el Observatorio Astronómico Nacional de Japón (NAOJ). El *Joint ALMA Observatory* (JAO) tiene a su cargo la dirección general y la gestión de la construcción, como también la puesta en marcha y las operaciones de ALMA.



★ Contáctanos:

Oficina de Extensión y Educación de ALMA (JAO)
+56 2 2467 6258 / +56 2 2467 6100 / info@alma.cl
www.almaobservatory.org

En Europa:
Observatorio Europeo Austral (ESO)
Departamento de Extensión y Educación
+49 89 3200 6291 / information@eso.org
www.eso.org

En América del Norte:
Observatorio Radio Astronómico Nacional (NRAO)
Departamento de Extensión y Educación
+1 434 244 6896 / info@nrao.edu
www.nrao.edu

En Asia del Este:
Chile Observatory, Observatorio Astronómico Nacional de Japón (NAOJ)
+81 422 34 3630 / alma-info@nao.ac.jp
alma.mtk.nao.ac.jp/e/

www.almaobservatory.org



ALMA!

Tan