La formación del Universo

Érase una vez la Nada, hace 13.700 millones de años. Surgió entonces un punto que contenía una energía inmensa e infinitamente concentrada y ocurrió la “gran explosion”. Se crearon así el tiempo y el espacio, la materia y la radiación. Había nacido el Universo...

El origen según la cosmología moderna

La teoría del Big-Bang (o “Gran-Explosión”) es actualmente la teoría científica más aceptada sobre la formación del Universo.

El Cosmos se despliega a partir de un punto, dando inicio a un colosal proceso de expansión y enfriamiento en el que se diversifican las fuerzas y todos los constituyentes fundamentales. Dentro de su primer millón de años de vida, el Universo pasa de una “sopa” densa de partículas a temperaturas inimaginables, a ser algo muy parecido a lo que observamos actualmente. Comienza la formación de estructuras (estrellas, galaxias, cúmulos de galaxias), proceso que, paralelamente a la expansión, continúa hasta el día de hoy. Los cálculos más recientes indican que el Universo seguiría expandiéndose indefinidamente.

ANIQUILACIÓN MATERIA - ANTIMATERIA

A temperaturas muy elevadas, se genera un proceso llamado “producción de pares”: la energía se convierte en pares de partículas de materia y de antimateria, las cuales se aniquilan entre ellas para volver a transformarse en energía, y así sucesivamente.

Sin embargo, cuando la temperatura del Universo bajó y los pares se aniquilaron finalmente entre sí, quedó un exceso de materia.

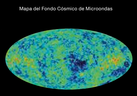
¡ Ese pequeño “sobrante” es toda la materia que existe en el Universo !

DESACOPLAMIENTO RADIACIÓN-MATERIA

Los fotones pueden finalmente atravesar la materia y viajar libres por el espacio-tiempo.

Esta radiación es detectada actualmente en el espectro de las microondas y es la primera imagen que tenemos del Universo.

Mapa del Fondo Cósmico de Microondas



WMAP Science Team, NASA

Si pudiéramos resumir la vida del Universo en 24 horas

00:00:00
BIG BANG

00:00:02
Toda la primera fase hasta la liberación de los fotones

00:00:06
Comienza la formación de galaxias

16:45:00
Formación del Sistema Solar

18:00:00
Aparición de la vida en la Tierra

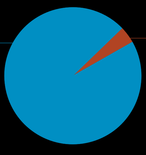
23:59:30
Aparición de los primeros homínidos

23:59:59
Aparición del Homo Sapiens

¿De qué está hecho el Universo?

UNIVERSO DESCONOCIDO 96%
74% Energía oscura
22% Materia oscura

Descifrar la naturaleza de la materia y la energía oscuras tendrá un papel clave en el conocimiento del Universo y la comprensión de su futuro.

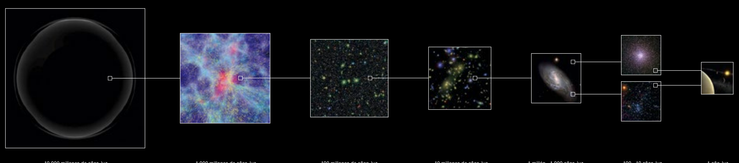


MATERIA COMÚN 4%
80% Hidrógeno
20% Helio
0,02% Elementos pesados

Los seres humanos y todo el Universo conocido estamos hechos de materia común.

Estructura jerárquica del Universo

Somos menos que un grano de arena en un universo inmenso y todavía desconocido en su mayor parte.



10.000 millones de años-luz
UNIVERSO HOMOGÉNEO A GRAN ESCALA

1.000 millones de años-luz
FILAMENTOS Y MURALLAS

100 millones de años-luz
SUPERCÚMULOS DE GALAXIAS

10 millones de años-luz
CÚMULOS DE GALAXIAS

1 millón - 1.000 años-luz
GALAXIAS

100 - 10 años-luz
CÚMULOS ESTELARES

1 año-luz
SISTEMA SOLAR

Un año-luz es la distancia recorrida por la luz en un año, a la velocidad de 300.000 km por segundo, lo que equivale a 9,5 millones de millones de kilómetros.

Si el Universo fuera el Desierto de Atacama

LOS FILAMENTOS Y MURALLAS
Serían como la distancia entre Antofagasta y Paranal, 100 km

LOS SUPERCÚMULOS DE GALAXIAS
Serían como el tamaño de Antofagasta, 10 km

LOS CÚMULOS DE GALAXIAS
Serían como un cerro grande, 1 km

LAS GALAXIAS
Serían como un cerro chico - roca, 100 m - 10 cm

LOS CÚMULOS ESTELARES
Serían como una piedrita, 1 cm - 1 mm

EL SISTEMA SOLAR
Sería como un grano de arena, 0,1 mm

Imagen del cúmulo globular gigante Omega Centauri, tomada por el VST.
Crédito: ESO/INAF-VST/OmegaCAM. Agradecimientos: A. Grado/INAF–Observatorio Capodimonte

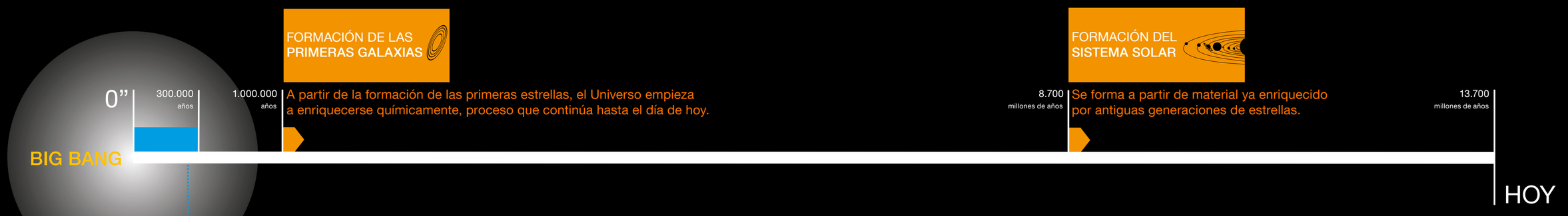
El origen de la materia

“Nada se crea, nada se destruye, todo se transforma” (A. Lavoisier)

Toda la materia, en forma de partículas fundamentales, se ha creado junto con el Universo. De ahí en adelante, se ha ido diversificando, dando lugar a la variedad de los elementos conocidos.

“Somos polvo de estrellas” (C. Sagan)

El Hidrógeno (H) es el elemento más simple y el único que se ha formado en los primerísimos instantes del Universo. Todos los demás han sido creados en el interior de las estrellas, a partir del primer millón de años de vida del Universo. Los átomos que componen nuestros cuerpos, al igual que los minerales del Desierto de Atacama tienen, al menos, 5.000 millones de años de antigüedad.



NUCLEOSÍNTENSIS PRIMORDIAL

Los elementos más simples

Todos los núcleos de Hidrógeno (protones) se crearon en las primeras fracciones de segundo del Universo.

A continuación y durante los primeros minutos, la temperatura del Universo era todavía suficientemente elevada para producir reacciones de fusión termonuclear: se trata de la nucleosíntesis primordial, en la que se sintetizan núcleos de Helio (He) y cantidades menores de Litio (Li) y Berilio (Be).

Al seguir la expansión, el Universo pasa a ser demasiado frío para que se den reacciones de fusión. La fábrica de los elementos se traslada al interior de las estrellas.

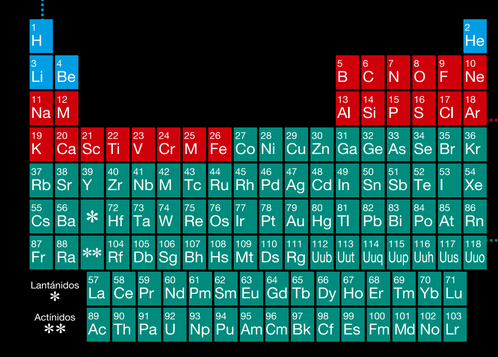


Tabla periódica de los elementos

Todo material conocido, ya sea orgánico, inorgánico o sintético, posee una estructura molecular propia que lo caracteriza. A su vez, toda molécula es una combinación más o menos compleja de un cierto número de ingredientes básicos o elementos químicos existentes en la naturaleza.

Observando nuestro mundo diríamos que los “elementos pesados” son los más abundantes. En cambio, constituyen una fracción casi despreciable de la materia conocida, formada por casi un 80% de Hidrógeno y casi un 20% de Helio.

FUSIÓN TERMONUCLEAR

Los elementos hasta el Hierro

Una estrella es un enorme horno termonuclear. De ahí viene la energía que la hace brillar.

La vida de una estrella es una secuencia de combustiones termonucleares en las que, a partir del Hidrógeno, se sintetizan elementos cada vez más complejos.

CAPTURA DE NEUTRONES

Todos los elementos más pesados que el Hierro

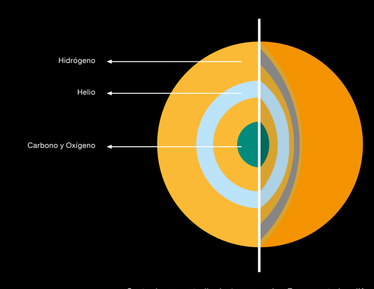
Estos procesos se dan de forma espontánea en las fases finales de la vida de una estrella y especialmente en las explosiones de supernovas.

¿Nuestro Sol produce Cobre?

Una estrella es una fábrica especializada, homologada, según su masa, para la producción de ciertos elementos. Cuanto más masiva la estrella, más complejos los elementos sintetizados en su interior, más corta su vida y más violenta su muerte.

Estrella como el Sol

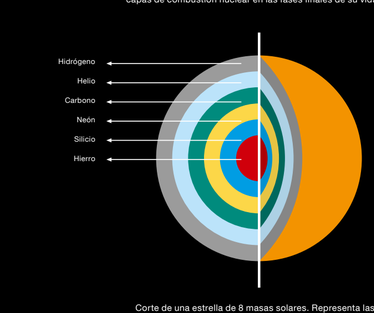
Nuestro Sol, tan grande y brillante debido a su cercanía, es una estrella poco masiva, que pasará gran parte de su vida (unos 10.000 millones de años) quemando Hidrógeno para transformarlo en Helio. En una segunda fase, quemará Helio para formar un núcleo inerte de Carbono y Oxígeno. Finalmente, el horno nuclear se apagará, sin llegar a producir elementos más pesados.



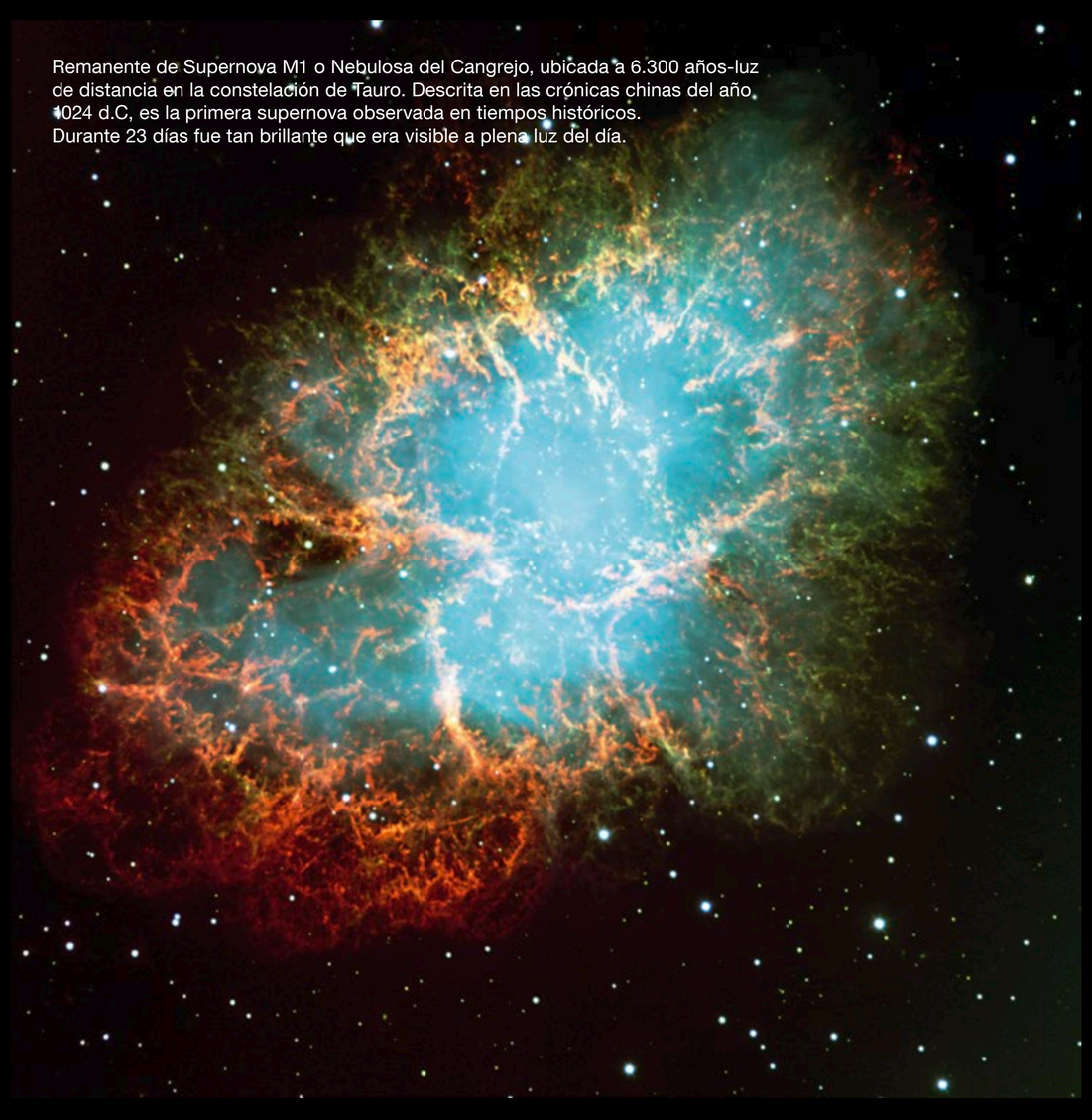
Corte de una estrella de 1 masa solar. Representa las diferentes capas de combustión nuclear en las fases finales de su vida.

Estrella masiva
(más de 8 veces nuestro Sol)

Una estrella masiva consume su vida en pocos cientos de millones de años, en una cadena de reacciones termonucleares que llegan a formar los elementos más pesados hasta el Hierro, y que culminan en un final grandioso: la explosión de una supernova.



Corte de una estrella de 8 masas solares. Representa las diferentes capas de combustión nuclear en las fases finales de su vida.



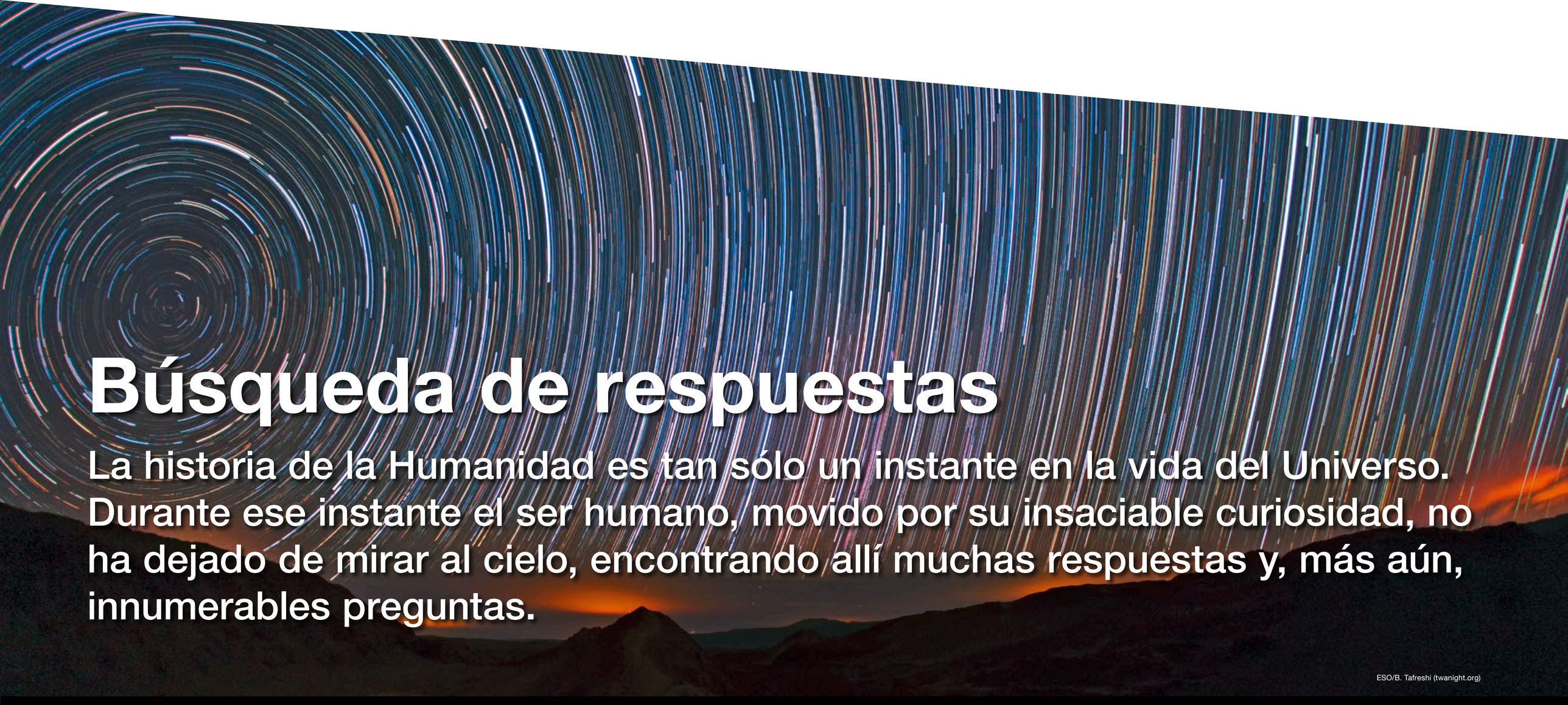
Remanente de Supernova M1 o Nebulosa del Cangrejo, ubicada a 6.300 años-luz de distancia en la constelación de Tauro. Descrita en las crónicas chinas del año 1024 d.C, es la primera supernova observada en tiempos históricos. Durante 23 días fue tan brillante que era visible a plena luz del día.

El ciclo vital de las estrellas

Las estrellas nacen de la materia interestelar. Viven, según su masa, de unos pocos cientos a varias decenas de miles de millones de años. Al morir se desvisten de una cierta cantidad de su materia, que es devuelta al lugar de origen: el medio interestelar.

Una supernova es la muerte de una estrella masiva y uno de los eventos más energéticos del Universo. Una gran cantidad de materia enriquecida es lanzada al espacio. De ella nacerán nuevas generaciones de estrellas, planetas y, tal vez, seres vivos.

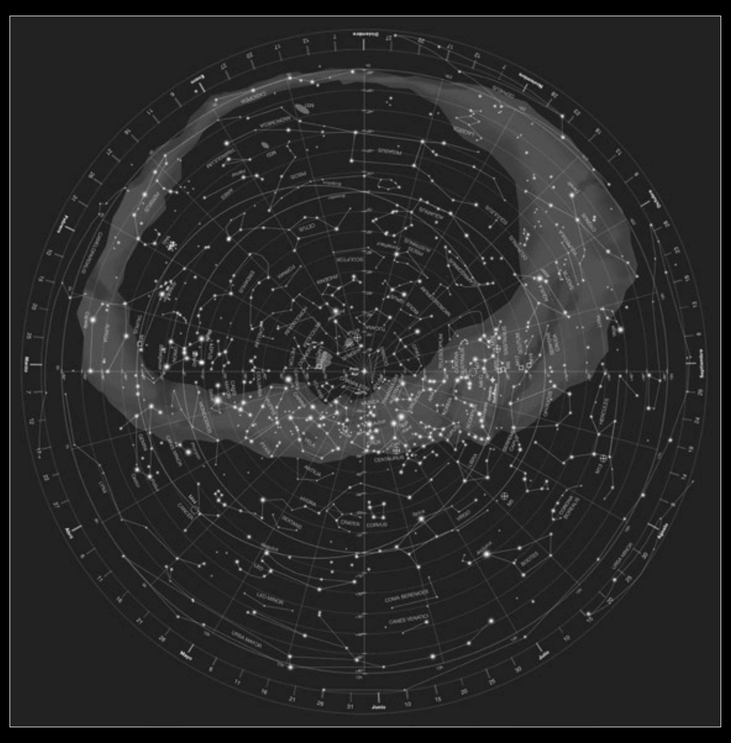
Nebulosa de la Laguna, M8



Búsqueda de respuestas

La historia de la Humanidad es tan sólo un instante en la vida del Universo. Durante ese instante el ser humano, movido por su insaciable curiosidad, no ha dejado de mirar al cielo, encontrando allí muchas respuestas y, más aún, innumerables preguntas.

ESO/B. Tafreshi (twanight.org)



Mapa del cielo desde el polo sur, hasta 60° Norte.

Historias escritas en el cielo

En el siglo II, el astrónomo griego Ptolomeo catalogó en su Almagesto las 12 constelaciones zodiacales más otras 36, todas inspiradas en la mitología clásica. A partir del siglo XVI, con las grandes navegaciones, los astrónomos europeos y cartógrafos agregaron neuvas constelaciones, principalmente en el Hemisferio Sur.

En 1930 la Unión Astronómica Internacional (IAU) ratificó las constelaciones tradicionales de la cultura occidental y estableció límites precisos para ellas, subdividiendo finalmente la esfera celeste en 88 constelaciones.

Constelaciones andinas, constelaciones sin estrellas

El firmamento austral visto desde el Desierto de Atacama ofrece un espectáculo tan sobrecogedor, que los pueblos originarios andinos definieron sus constelaciones por las manchas oscuras sobre la Vía Láctea, en vez de usar las estrellas más brillantes. En ellas veían a los animales que eran parte de su vida diaria, como la llama *(yakana).*

ESO/H. Dahle

Petroglifos hallados en las cercanías del Observatorio La Silla, IV Región. Dan cuenta de la importancia de la llama en las culturas precolombinas.

La Cruz del Sur

Los antiguos griegos incluían Crux, o Cruz del Sur, dentro de la constelación del Centauro.

Recién a partir del siglo XVI, esta constelación fue reconocida como un conjunto estelar independiente.

La Cruz es la constelación de referencia para orientarse en el hemisferio sur: proyectando su eje principal unas 3 veces y media hacia los pies de la cruz, se encuentra el polo sur celeste.

ESO/Yuri Beletsky

Nebulosa de reflexión M 78

Panorama de la Vía Láctea
Crédito: ESO/S. Brunier

El cielo de Atacama

Los cielos del norte de Chile representan un recurso natural único e insustituible, materia prima de excelencia para los grandes telescopios del presente y del futuro.

ESO/B. Tafreshi (twanight.org)

Desierto de Atacama: ventana al Universo

Receta para una buena atmósfera

- Altitud elevada (+ 2000m)
- Menor espesor de atmósfera arriba del telescopio
- Por encima de la capa de inversión térmica, es decir, de las nubes
- Elevado porcentaje de noches despejadas
- Estabilidad
- Bajo contenido de vapor de agua
- Escasa turbulencia

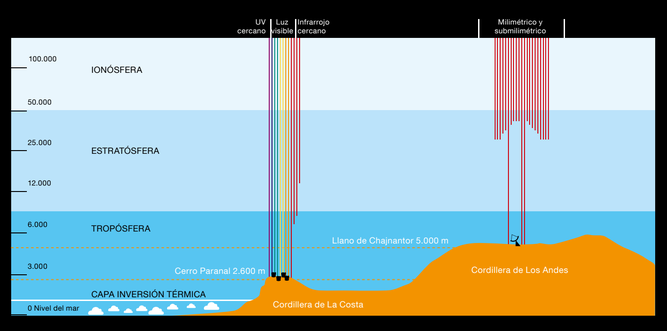
Los cielos ideales para las observaciones astronómicas se dan con mayor frecuencia en lugares elevados y secos.

Atmósfera querida e incómoda

La atmósfera de la Tierra es el escudo que nos protege de agentes externos como radiaciones muy energéticas y meteoros. Es el aire que respiramos, las nubes, el viento y la lluvia. Sin ella no habría vida en la Tierra.

Además de actuar como filtro selectivo, la atmósfera desvía y dispersa la luz que la atraviesa, distorsionando finalmente la imagen del objeto observado.
La atmósfera es un sistema dinámico, en continuo movimiento. Nos encontramos inmersos en ella y esto nos causa varios problemas a la hora de mirar al cielo. Por ello, los grandes telescopios modernos demandan condiciones muy especiales.

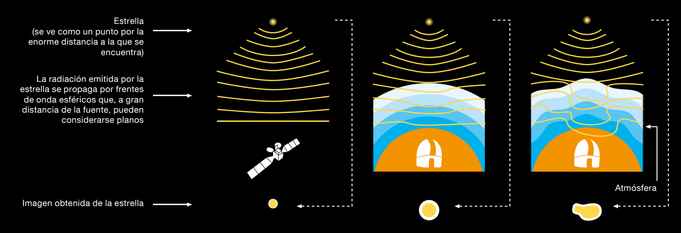
Radiaciones captadas desde Paranal y Chajnantor



¿Por qué ALMA está en un lugar mucho más elevado que Paranal?

La atmósfera de la Tierra deja pasar la luz visible y parte de la radiación ultravioleta e infrarroja. El vapor de agua absorbe gran parte del infrarrojo, el milimétrico y el submilimétrico, haciendo posible su detección sólo desde lugares de gran altura, como por ejemplo, el Llano de Chajnantor.

Calidad atmosférica



DESDE EL ESPACIO
(ausencia de atmósfera)

La imagen es un disco producto de la difracción, una propiedad intrínseca de la radiación. Debido a ella, nunca veremos un objeto puntual como un punto, sino como un pequeño disco.

ATMÓSFERA BUENA
(sin turbulencias)

La distorsión sobre la imagen es mínima, por lo que veremos un disco un poco más grande que el que veríamos en el espacio. Cuanto mejores sean las condiciones, más se aproximará la imagen a lo que veríamos desde el espacio.

ATMÓSFERA MALA
(turbulenta)

La luz procedente de la estrella es distorsionada de forma importante, dando como resultado final una imagen borrose.

Sitios especiales

Cerro Paranal (VLT)

J. L. Dauvergne & G. Hüdepohl (atacamaphoto.com)/ESO

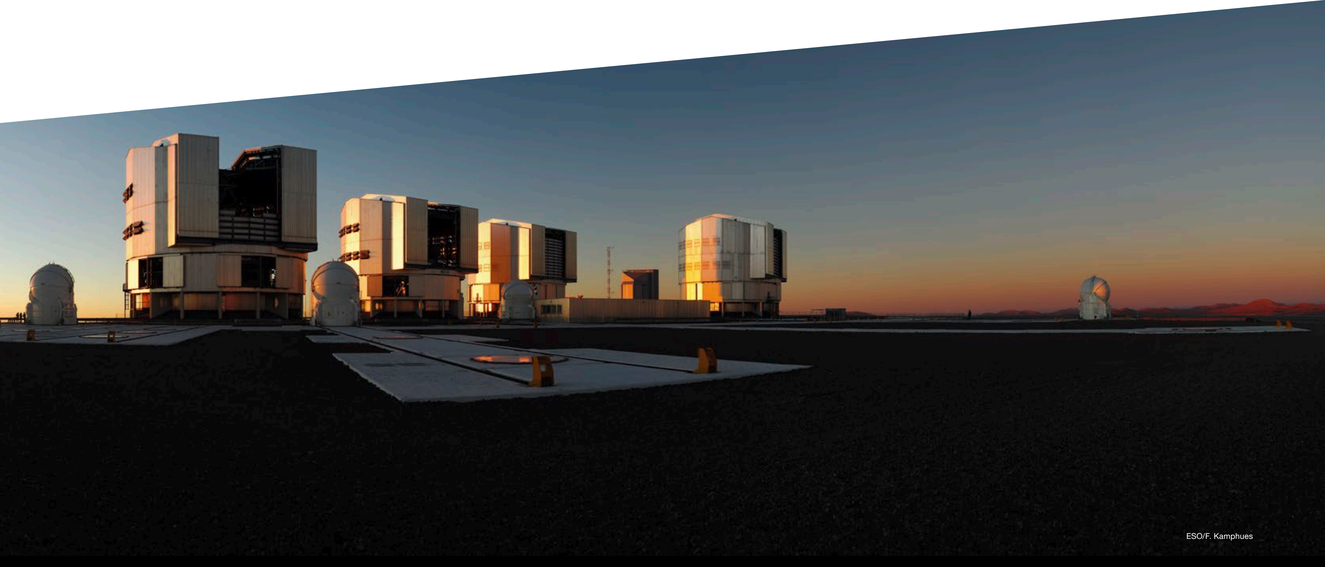
- 120 km al sur de Antofagasta
- Cordillera de La Costa
- 88% de noches despejadas
- Precipitaciones anuales inferiores a los 10 mm
- Humedad 5-20%
- Océano frío + Desierto
- Rango de observación 0,3-25 micras
- Uno de los lugares más secos de la Tierra

Llano de Chajnantor (ALMA)

Clem & Adri Bacri-Normier (wingsforscience.com)/ESO

- A 60 km de San Pedro de Atacama
- Cordilera de Los Andes
- Rango 0,3-9,6 mm (ventana de radiaciones de difícil detección desde la Tierra)
- Precipitaciones anuales inferiores a los 10 mm

Imagen infrarroja de la Nebulosa de Orión

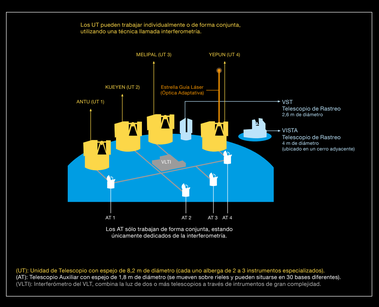


ESO/F. Kamphues

Observatorios ESO en Chile

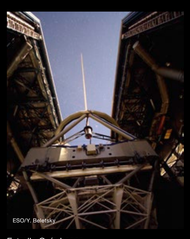
El Observatorio Europeo Austral (ESO) está presente en Chile desde 1964 y actualmente opera, entre otros, el Very Large Telescope (VLT), el telescopio óptico terrestre más avanzado del mundo.

El VLT en Observatorio Paranal: una “herramienta multifunción”



Una fábrica de datos astronómicos

El Observatorio Paranal produce un promedio de 2Gb por noche, lo que se traduce en 2 publicaciones científicas diarias basadas en los datos del VLT. A partir de estos datos los astrónomos formulan las teorías que intentan develar los misterios del Universo, contestando preguntas viejas y nuevas.



ESO/Y. Beletsky

Estrella Guía Laser

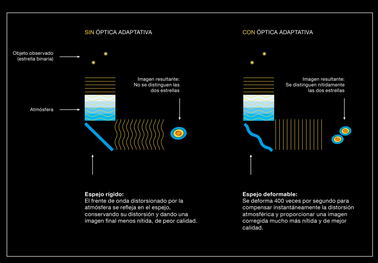
ESO/Oscar Pizarro Colaco Salgado (photographer)

Telescopio Auxiliar AT 4

Las técnicas del VLT

Óptica adaptativa

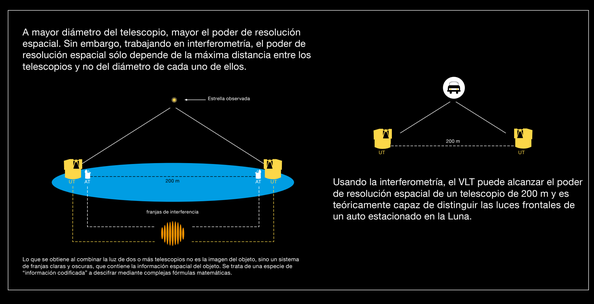
A pesar de las condiciones atmosféricas excepcionales, hay observaciones que demandan una “nitidez” aún mayor. La mejor opción desde la Tierra es la Óptica adaptativa, una técnica que permite obtener una imagen casi tan nítida como la que lograríamos desde el espacio.



Interferometría

La interferometría es una técnica que permite combinar la luz capturada por diferentes telescopios que observan simultáneamente el mismo objeto.

La ventaja más notoria de la interferometría es la posibilidad de aumentar el poder de resolución espacial del telescopio, es decir, la capacidad de separar dos puntos y, por ende, de captar detalles.



Observatorio La Silla

El primer observatorio de ESO en Chile, ubicado unos 160 km al norte de La Serena (IV Región), a 2.400 m.s.n.m.

El sitio fue escogido en 1964 y el observatorio inaugurado en 1969. Desde entonces, ha operado con unos 20 telescopios de tamaños que van desde los 25 cm hasta los 3,6 m, muchos de los cuales ya no se encuentran en funcionamiento.

Actualmente, el Telescopio ESO de 3,6 m sigue operando con el espectrógrafo HARPS, el buscador de exoplanetas más preciso que existe. El New Technology Telescope (NTT), de 3,58 m, ha sido el precursor del VLT.

Foto aérea del Observatorio La Silla

Iztok Bončina/ESO

Telescopio APEX

APEX, el Experimento Pionero de Atacama

Consiste en un prototipo modificado de las antenas de ALMA que trabaja de forma individual.

Opera en el Llano de Chajnantor, a 5.100 m.s.n.m., desde 2005.

APEX es una colaboración entre el Instituto de Radioastronomía Max Planck (Alemania), el Observatorio Espacial de Onsala (Suecia) y ESO.

Nebulosa planetaria Helix

ESO/C. Malin

Los ojos del mundo puestos en el cielo

La Ciencia es una búsqueda constante. ESO, como organización de vanguardia a nivel mundial en el campo de la astrofísica desde la Tierra, mira al futuro con proyectos ambiciosos.

ALMA, Atacama Large Millimeter/submillimeter Array

Inaugurado en marzo de 2013, ALMA es el mayor desafío científico y tecnológico de la astronomía desde la Tierra y el telescopio más poderoso del mundo para observar el universo frío. ALMA es la mayor cooperación internacional en campo astronómico, involucrando las comunidades científicas de Asia del Este, Europa y Norteamérica, en colaboración con la República de Chile. ESO es el socio europeo en ALMA.

Clem & Adri Baan-Nommer (wingsforscience.com)/ESO

Aerial view of the ALMA array.

Hacia los orígenes cósmicos

ALMA detecta las radiaciones milimétricas y submilimétricas con una calidad sin precedentes, permitiendo así ver desde el nacimiento de estrellas y planetas hasta las primeras galaxias que se formaron en el Universo.

ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)

Un lugar único

El área donde se ubica ALMA es un lugar único, no sólo por la extraordinaria calidad de sus cielos, sino también por su biodiversidad y su historia milenaria.

Uno de los grandes legados de ALMA es garantizar la preservación tanto de la fauna y flora nativas como del patrimonio cultural de la zona. Como sello de este compromiso, se inauguró en 2006 un Museo de Sitio, reconstrucción de una típica estancia de pastores trashumantes.

ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)

Medicina de altura

ALMA colabora en programas de investigación médica para el estudio del comportamiento fisiológico humano ante la exposición prolongada a gran altura.

Al terminar la construcción, las actividades humanas en el Llano de Chajnantor son reducidas al mínimo, ya que las antenas son controladas desde las instalaciones ubicadas a 2900 m.s.n.m.

ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)

Lore & Otto

Cada una de las 66 antenas de ALMA pesa más de 100 toneladas y necesita ser posicionada con una precisión de milímetros en una de las 192 estaciones, distribuidas sobre un área de unos 16 km de diámetro.

Los encargados de llevar a cabo tan delicada tarea en el ambiente hostil de Chajnantor, a 5.000 m de altura, son Lore y Otto, dos vehículos transportadores especialmente diseñados, que se mueven sobre 14 pares de ruedas articuladas.

El European Extremely Large Telescope (E-ELT)

ESO encabeza la carrera hacia la próxima generación de telescopios gigantes con el E-ELT. Con un espejo primario de 39 metros de diámetro, el E-ELT será el telescopio óptico terrestre más grande del mundo.

El sitio elegido para el E-ELT es Cerro Armazones, de 3060 metros de altura y ubicado a unos 20 km de distancia del Cerro Paranal, en la Región de Antofagasta.

Una vez que entre en operaciones, a comienzos de la próxima década, el E-ELT permitirá dar un enorme paso adelante en el estudio de exoplanetas, agujeros negros súper masivos, materia y energía oscuras, pudiendo potencialmente revolucionar nuestra comprensión del Universo, tal como el telescopio de Galileo lo hizo hace 4 siglos.