

ESO

Observatorio
Europeo
Austral

Un Universo de Descubrimientos



Índice

Acerca de ESO	3
ESO y la Astronomía	4
Comprendiendo nuestro mundo	7
Develando los secretos cósmicos	8
<i>Personas en ESO: Christophe Dumas</i>	8
En busca de otros mundos	9
Estrellas muy antiguas	9
<i>Personas en ESO: Lucie Jilková</i>	10
Un agujero negro en el centro de nuestra galaxia	10
Explosiones de rayos gamma	12
Los 10 principales descubrimientos astronómicos de ESO	13
Apoiando a los astrónomos europeos	14
Paranal	16
<i>Personas en ESO: Karla Aubel</i>	17
Muchos ojos, una visión	18
Telescopios móviles	19
Telescopios de Rastreo	21
La Silla	22
<i>Personas en ESO: Françoise Delplancke</i>	25
A la vanguardia de las nuevas tecnologías	25
Galería de imágenes del VLT	26
ALMA: Explorando el Universo Frío	28
<i>Personas en ESO: Stefano Stanghellini</i>	29
Un esfuerzo global	32
APEX	33
<i>Personas en ESO: Petra Nass</i>	34
Alto rendimiento: El sistema de flujo de datos	34
Archivo científico	35
El Universo digital	35
Proyectos futuros: El E-ELT	36
<i>Personas en ESO: Marc Sarazin</i>	36
Creando alianzas	40
EIROforum	41
Encuentro con la sociedad	42
Transferencia de tecnología	43
Los programas educativos y de extensión de ESO	44
Trabajar en ESO	46
<i>Personas en ESO: Jean-Michel Bonneau</i>	46
ESO es ...	47

Acerca de ESO

ESO, el Observatorio Europeo Austral, es el observatorio más productivo del mundo científicamente. Establecido en 1962, ESO proporciona a los astrónomos y astrofísicos instalaciones de investigación de vanguardia mundial. Sus estados miembros son: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Holanda, Italia, Portugal, el Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza. Varios otros países han expresado interés en convertirse en miembros.

La sede de ESO, que constituye el centro científico, técnico y administrativo de la organización, está ubicada en Garching, cerca de Munich, Alemania. En Chile, además de su sede en Santiago, ESO posee tres centros de observación de clase mundial en el Desierto de Atacama. En La Silla, 600 kilómetros al norte de Santiago y a 2400 metros de altura, ESO opera telescopios ópticos de tamaño medio. El *Very Large Telescope* (VLT o Telescopio Muy Grande) se encuentra en

Paranal, un cerro de 2600 metros de altura al sur de Antofagasta, que alberga también al Interferómetro del VLT y dos telescopios de sondeo, el VST y VISTA. El tercer centro de observación está en el Llano de Chajnantor, a 5000 metros de altura, cerca de San Pedro de Atacama. Ahí se encuentra en operaciones un nuevo telescopio submilimétrico, APEX, y es el lugar donde se construye ALMA, un conjunto gigante de antenas submilimétricas de 12 metros de diámetro, en colaboración con Asia del Este, Norteamérica y Chile.

ESO está planificando actualmente un Telescopio Europeo Extremadamente Grande, óptico y de infrarrojo cercano, el E-ELT (por su sigla en inglés).

Las contribuciones anuales a ESO por parte de los estados miembros alcanzan aproximadamente los 135 millones de euros. En ESO trabajan alrededor de 700 empleados.

«En ESO se logra un nivel casi único de cooperación internacional y todo se realiza con los mejores, independiente del país o institución. Este espíritu de excelencia es un ejemplo para toda Europa.»

María van der Hoeven, Ministra de Educación, Cultura y Ciencia de Holanda

ESO y la Astronomía

Se suele decir que la astronomía es la ciencia más antigua. No cabe duda que una mirada hacia la majestuosa Vía Láctea extendiéndose por el cielo en una noche clara, debe haber maravillado a personas de todas las edades y culturas. Hoy en día, la astronomía destaca como una de las ciencias más modernas y dinámicas, que utiliza algunas de las más avanzadas tecnologías y las técnicas

más sofisticadas disponibles para los científicos. Estos son tiempos apasionantes para la astronomía pues la tecnología nos permite estudiar objetos en los lejanos confines del Universo y detectar evidencia de planetas alrededor de otras estrellas. Podemos comenzar a responder una pregunta fundamental que fascina a cada uno de nosotros: ¿estamos solos en el Universo?

ESO es la organización intergubernamental de ciencia y tecnología de mayor importancia en la astronomía. Lleva a cabo un ambicioso programa orientado al diseño, construcción y operación de potentes instalaciones terrestres de observación astronómica para hacer posibles importantes descubrimientos científicos.



ESO opera el Observatorio La Silla Paranal en dos lugares del Desierto de Atacama en Chile. La Silla, a 2400 metros de altura y 600 kilómetros al norte de Santiago, alberga telescopios con espejos de hasta 3,6 metros de diámetro. La instalación emblemática es el *Very Large Telescope* (VLT) en cerro Paranal, cuyo diseño, instrumentación y principios de operación marcan la pauta de la astronomía terrestre en el rango visible e infrarrojo. El interferómetro del VLT (VLTI) expande la capacidad de esta instalación única aún más lejos, como también lo hacen los telescopios de rastreo VST (óptico) y VISTA (infrarrojo cercano).

Cada año, se presentan alrededor de 2000 propuestas para utilizar los telescopios de ESO, solicitando entre cuatro a

seis veces más noches que las realmente disponibles. ESO es el observatorio terrestre más productivo del mundo, lo que ha resultado en muchas publicaciones cada año: sólo en el 2009 se publicaron 700 artículos en revistas científicas especializadas basados en la información de ESO.

ESO es también el punto focal de la participación europea en ALMA (*Atacama Large Millimeter/submillimeter Array* o Gran Conjunto Milimétrico/submilimétrico de Atacama), una colaboración intercontinental con Norteamérica, Asia del Este y la República de Chile. Los socios de ALMA están construyendo esta instalación única a gran altura en el Llano de Chajnantor, en el altiplano chileno. ALMA iniciará sus observaciones científicas

alrededor de 2011 y promete aportar tantas transformaciones a la ciencia como lo hizo el telescopio espacial Hubble.

El siguiente paso más allá del VLT es construir el *European Extremely Large optical/infrared Telescope* (E-ELT), con un espejo principal de 42 metros de diámetro. El E-ELT será el ojo más grande del mundo en el cielo: el mayor telescopio óptico y de infrarrojo cercano. ESO ha desarrollado un diseño pionero y está elaborando detallados planes de construcción en conjunto con la comunidad. El ELT proporcionará las primeras imágenes de planetas similares a la Tierra alrededor de otras estrellas, lo que constituirá un hito realmente destacable.



Tim de Z

Tim de Zeeuw
Director General de ESO



Comprendiendo nuestro mundo

Los astrónomos abordan cuestiones claves que desafían nuestra mente y nuestra imaginación. ¿Cómo se formaron los planetas? ¿Cómo se desarrolló la vida en la Tierra? ¿Es omnipresente la vida en el Universo? ¿Cómo se formaron las galaxias? ¿En qué consisten la materia oscura y la energía oscura?

La astronomía es una ciencia moderna y de alta tecnología que explora el espacio que nos rodea e intenta explicar los increíbles procesos que tienen lugar en este enorme volumen. Estudia nuestros inicios e intenta predecir el futuro de nuestro Sistema Solar, de nuestra galaxia, la Vía Láctea, así como del Universo entero.

La astronomía es una ciencia de condiciones extremas. Trabaja con las distancias más grandes, los periodos más largos de tiempo, los objetos más masivos, las temperaturas más altas, los campos eléctricos y magnéticos más intensos, las densidades más altas y más bajas y las energías más extremas conocidas.

La astronomía es una ciencia física que se basa en las observaciones. Con excepción de algunos cuerpos celestes del Sistema Solar, no podemos tocar los objetos que investigamos. Interpretamos los fenómenos observados mediante la aplicación de nuestro conocimiento de las leyes naturales.

Para hacer posibles estas observaciones, la astronomía emplea algunos de los instrumentos y métodos más sofisticados jamás concebidos por los seres humanos. La alta tecnología desempeña un papel muy importante en la astronomía.

La astronomía es parte integrante de nuestra cultura y es una poderosa representación de nuestra curiosidad inherente y del deseo de conocer mejor nuestro entorno. Ahora que hemos explorado la mayor parte de la superficie terrestre, la astronomía trata de explorar la vasta *Terra Incognita* que nos rodea.

También contribuye a comprender mejor nuestro frágil medio ambiente y el hecho extraordinario de que la vida sea posible en la Tierra. A través de la astronomía hemos podido apreciar realmente cuán precaria es nuestra posición en el Universo.

Proporciona además el marco necesario para expediciones futuras y la posible expansión de la especie humana a través del espacio. Investigando las condiciones existentes allá afuera, preparamos las tareas de las próximas generaciones.

Observar las galaxias distantes significa mirar hacia atrás en el tiempo, a veces casi hasta el inicio del propio Universo, cuando comenzó el tiempo. Significa estudiar cómo ha evolucionado el Universo, cómo se formaron las estrellas y los planetas, incluyendo la Tierra. La astronomía es el estudio de los orígenes. Es también el estudio de sucesos apocalípticos. Y de grandes misterios. No obstante y por encima de todo, es el intento más audaz de la humanidad por comprender el mundo en el que vivimos.

Develando los secretos cósmicos



Personas en ESO: Christophe Dumas, astrónomo, Jefe del Departamento de Operaciones Científicas de Paranal

«Después de graduarme como ingeniero electrónico de la escuela francesa *Supélec*, decidí seguir mi interés principal y convertirme en astrónomo. Antes de unirme a ESO trabajé primero en Hawai para obtener mi PhD en Astrofísica y luego en NASA–JPL en California. Mi interés científico consiste en estudiar los objetos pequeños y primitivos del Sistema Solar (asteroides, cometas y trans-Neptunianos) para investigar los procesos involucrados en la formación de planetas terrestres y gigantes, el origen del agua en la Tierra, y qué hace a los planetas capaces de sustentar vida tal como la conocemos. Por ello empecé a emplear óptica adaptativa, que nos permite hacer estudios geológicos remotos de estos objetos distantes. Eso me llevó a trabajar en la búsqueda de exoplanetas y estoy contento de haber sido miembro del equipo que obtuvo la primera imagen de un exoplaneta con el VLT. De hecho ¡yo fui el que tomó la fotografía en el telescopio! También estoy muy orgulloso, ya que dicha fotografía es ahora usada para ilustrar muchas revistas y textos científicos. Realmente siento que en el VLT estamos trabajando en la última frontera de la ciencia. Con la estrella guía láser, la óptica adaptativa ha llegado a ser aún más poderosa. SPHERE, la próxima generación de buscadores de exoplanetas del VLT, abrirá el camino a un progreso aún mayor en este campo, pero para mí la meta final es usar el E-ELT para fotografiar un planeta similar a la Tierra alrededor de una estrella similar al Sol.»

Los telescopios de ESO proporcionan la información que permite muchos de los grandes avances en astronomía, y posibilita un gran número de publicaciones científicas cada año. Los astrónomos utilizan estos observatorios de vanguardia para estudiar objetos, ya sea del interior del Sistema Solar o de los confines más lejanos del Universo. Aquí nos unimos a ellos en un viaje a través del cosmos, destacando algunos de los descubrimientos realizados en ESO.

La búsqueda de planetas fuera de nuestro Sistema Solar constituye un elemento clave de la que quizás sea la pregunta más profunda para la humanidad: ¿hay vida en otros lugares del Universo? Los observatorios de ESO están equipados con un arsenal único de instrumentos para encontrar, estudiar y monitorear a estos exoplanetas.

Usando el *Very Large Telescope*, los astrónomos pudieron captar por primera vez el débil resplandor de un planeta orbitando otra estrella, obteniendo la primera imagen de un exoplaneta. Se trataba de un mundo gigante, con una masa de unas cinco veces la de Júpiter. Esta observación marca un primer gran paso hacia una de las metas más importantes de la astrofísica moderna: la caracterización de la estructura física y la composición química de planetas gigantes y, posiblemente, similares a la Tierra.

Utilizando una innovadora técnica conocida como microlente, uno de los telescopios de La Silla formó parte de una red mundial de telescopios que descubrió un nuevo exoplaneta, de una masa sólo cinco veces mayor a la de la Tierra. Orbita a su estrella en unos diez años y es muy probable que posea una superficie rocosa o cubierta de hielo.

Con HARPS (*High Accuracy Radial velocity Planet Searcher*), los astrónomos han descubierto al menos cuatro planetas orbitando a una estrella cercana, todos ellos con masas inferiores a la de Neptuno. Uno de estos planetas posee dos veces la masa de la Tierra —el más pequeño jamás descubierto— y otro planeta, equivalente a siete veces la masa terrestre, reside en la zona habitable de su estrella. Este último orbita su



estrella anfitriona en unos 66 días y los astrónomos piensan que está cubierto de océanos, es decir, es un mundo acuático. Este descubrimiento marca un hito en la búsqueda de planetas que podrían contener vida.

«Las diminutas señales descubiertas por HARPS no podrían haberse distinguido del 'simple ruido' con la mayoría de los espectrógrafos existentes hoy.»

Michel Mayor, Observatorio de Ginebra, co-descubridor del primer exoplaneta

«Los espectros que hemos obtenido de esta estrella relativamente débil son absolutamente magníficos, de una calidad que hasta hace poco sólo se alcanzaba con estrellas perceptibles a simple vista. A pesar de su debilidad, la línea de uranio puede medirse con gran precisión.»

Roger Cayrel, Observatorio de París

Equipos de astrónomos han usado el *Very Large Telescope* para realizar mediciones que allanan el camino hacia un cálculo independiente de la edad del Universo. Éstos han medido la cantidad del isótopo radiactivo uranio-238 en una estrella nacida cuando la Vía Láctea aún se estaba formando.

Tal como ocurre en arqueología con la datación mediante carbono, este reloj de uranio mide la edad de la estrella, pero en escalas de tiempo mayores. Y muestra que la estrella más antigua tiene 13 200 millones de años. Puesto que la estrella no puede ser más antigua que el propio Universo, el cosmos debe tener una edad aún mayor. Esto concuerda con lo que conocemos gracias a la cosmología, que indica una edad del Universo de 13 700 millones de años. Esta estrella y nuestra galaxia deben haberse formado muy poco después de la Gran Explosión o *Big Bang*.

Existe otro resultado que lleva la tecnología astronómica a sus límites y arroja nueva luz sobre las épocas más primitivas de la Vía Láctea. Astrónomos realizaron las primeras mediciones del contenido de berilio en dos estrellas de un cúmulo globular. Ello ha permitido estudiar la fase temprana entre la formación de las primeras estrellas en la Vía Láctea y el nacimiento de aquéllas en este cúmulo. Descubrieron que la primera generación de estrellas en la Vía Láctea tiene que haberse formado muy poco después de la Era Oscura, que perduró 200 millones de años tras el *Big Bang*.

Un agujero negro en el centro de nuestra galaxia



Personas en ESO: Lucie Jílková,
Estudiante en ESO Vitacura

«Pasé el primer año de mi PhD en la Universidad Masaryk, en Brno, República Checa, y volveré allí para terminar mis estudios después de estar dos años en ESO en Chile. Hasta ahora siempre había preferido la teoría sobre las observaciones, pero vine a ESO para comprobarlo en un medio de primera categoría. Esta es una de las razones por las que elegí la beca de ESO en Santiago: para realmente experimentar y aprender más sobre astronomía observacional. En mi tema de tesis estoy analizando en detalle la estructura y movimientos de nuestro pequeño rincón en la galaxia Vía Láctea, al estudiar las órbitas de jóvenes cúmulos abiertos. Para esta investigación planeo usar, entre otros, datos del instrumento FLAMES en el VLT. Obtener y procesar esta información será un gran desafío para mí y estoy deseando empezar este nuevo tipo de trabajo. Aparte de la experiencia única y de la colaboración internacional que disfruto aquí en ESO, también estoy contenta de estudiar en Chile, un país sorprendente, con impresionantes paisajes montañosos, tan diferentes de mi país de origen en el corazón de Europa.»





¿Qué hay en el centro de la Vía Láctea? Durante mucho tiempo los astrónomos han sospechado que un agujero negro merodea el centro de nuestra galaxia, pero no tenían certeza. Después de 16 años de observar regularmente el Centro Galáctico con los telescopios de ESO en el Observatorio La Silla Paranal, los científicos han obtenido finalmente una prueba concluyente.

Las estrellas del centro de la Vía Láctea están tan densamente concentradas que fue necesario usar técnicas especiales de fotografía tales como la óptica adaptativa (ver página 25) para incrementar la resolución del VLT. Los astrónomos pudieron así distinguir estrellas individuales con una precisión sin precedentes a medida que se movían alrededor del Centro Galáctico. Sus trayectorias muestran de modo concluyente que deben estar orbitando en el inmenso campo gravitatorio de un agujero negro súper masivo, con una masa casi tres millones de veces mayor que la del Sol.



Las partes centrales de la galaxia activa NGC 1097.

El centro de la Vía Láctea.

Las observaciones con el VLT también revelaron destellos de luz infrarroja que emergen de la zona a intervalos regulares. Aunque la causa exacta de este fenómeno sigue siendo desconocida, se ha sugerido que el agujero negro podría estar girando rápidamente. Sea lo que sea que esté ocurriendo, en la vida del agujero negro no todo es paz y quietud.

Los astrónomos también usan el VLT para asomarse a los centros de otras galaxias, en los que nuevamente encuentran signos claros de agujeros negros súper masivos. En la galaxia activa NGC 1097 pudieron ver el intrincado detalle de una compleja red de filamentos que caen en espiral hacia el centro de la galaxia. Quizá se trate de la primera visión detallada del proceso que conduce a la materia desde la parte principal de la galaxia hasta su deceso en el núcleo.

«Necesitábamos imágenes aún más nítidas para resolver la cuestión de si era posible alguna configuración que no fuese un agujero negro y contábamos con que el VLT de ESO las proporcionara. ¡Ahora ha empezado verdaderamente la era de la física observacional de agujeros negros!»

Reinhard Genzel,
Director del Instituto Max Planck de Física Extraterrestre

Explosiones de rayos gamma

Las explosiones de rayos gamma (GRB por su sigla en inglés) son estallidos altamente energéticos de rayos gamma que pueden durar desde menos de un segundo hasta varios minutos: un abrir y cerrar de ojos en escalas de tiempo cosmológicas. Se sabe que ocurren a inmensas distancias de la Tierra, hacia los límites del Universo observable.

El VLT ha observado la luminiscencia posterior a una explosión de rayos gamma, que corresponde a la más lejana que se conoce. Con un desplazamiento al rojo de 8,2, la luz de esta fuente astronómica tan remota ha tardado más de 13 mil millones de años en alcanzarnos. Por lo tanto, la vemos tal como era cuando el Universo tenía unos 600 millones de años, es decir, menos del cinco por ciento de su edad actual. En sólo unos pocos segundos debe haber liberado unas 300 veces la energía que producirá el Sol en toda su vida, es decir, durante más de diez mil millones de años. Estos fenómenos constituyen, por tanto, las explosiones más potentes del Universo desde el *Big Bang*.

Los investigadores han intentado por largo tiempo descubrir la naturaleza de estas explosiones. Las observaciones muestran que hay dos tipos de GRB: de corta duración (menos de unos pocos segundos) y de larga duración. Se sospechaba que eran causados por dos tipos diferentes de eventos cósmicos.

En 2003, astrónomos que utilizaron los telescopios de ESO desempeñaron un papel clave al vincular los GRB de larga duración con las explosiones finales de estrellas masivas, conocidas como «hipernovas.» Siguiendo las secuelas de una explosión durante todo un mes, se comprobó que la luz tenía propiedades parecidas a las de una supernova, causada por el estallido de una estrella masiva al final de su vida.

En 2005 los telescopios de ESO detectaron por primera vez la luz visible que sigue a una explosión de corta duración. Siguiendo esta luz durante tres semanas, los astrónomos mostraron que las explosiones de corta duración, a diferencia de las de larga duración, no podían deberse a una hipernova. En cambio, se cree que son causadas por la violenta fusión de estrellas de neutrones o de agujeros negros.





Los 10 principales descubrimientos astronómicos de ESO

1 El Universo en aceleración

Basados en observaciones de estrellas en explosión realizadas con telescopios astronómicos en La Silla, dos equipos de investigación independientes han mostrado que la expansión del Universo se está acelerando.

2 Primera imagen de un exoplaneta

El VLT ha obtenido la primera imagen que se haya tomado de un planeta fuera del Sistema Solar. El planeta tiene cinco veces la masa de Júpiter y orbita a una estrella fallida —una enana marrón— a una distancia 55 veces mayor a la existente en promedio entre la Tierra y el Sol.

3 Estrellas que orbitan el agujero negro de la Vía Láctea

Varios telescopios emblemáticos de ESO fueron usados en un estudio que duró 16 años para obtener la visión más detallada jamás lograda de los alrededores del monstruo que acecha el corazón de nuestra galaxia: un agujero negro súper masivo.

4 Conexión entre estallidos de rayos-gamma con supernovas

Los telescopios ESO han proporcionado pruebas definitivas de que estallidos de rayos-gamma de larga duración están ligados a las explosiones finales de estrellas masivas, resolviendo así un misterio de larga data.

5 El movimiento de estrellas en la Vía Láctea

Después de más de mil noches de observaciones en La Silla, distribuidas a través de 15 años, los astrónomos han determinado los movimientos de más de 14 000 estrellas similares al Sol que residen en los alrededores de éste, y que muestran que nuestra galaxia ha llevado una vida mucho más turbulenta y caótica que lo que previamente se asumía.

6 La estrella más antigua que se conoce en la Vía Láctea

Empleando el VLT de ESO, los astrónomos han medido la edad de la estrella más anciana conocida en nuestra galaxia, la Vía Láctea. Con 13 mil 200 millones de años, la estrella nació en la era más temprana de la formación estelar en el Universo.

7 Conexión entre la fusión de estrellas de neutrones y estallidos de rayos-gamma

Un telescopio en La Silla fue capaz de observar por primera vez la luz visible de un breve estallido de rayos-gamma, mostrando que esta familia de objetos probablemente se originó de la violenta colisión de dos estrellas de neutrones fusionándose.

8 La temperatura cósmica medida independientemente

El VLT ha detectado por primera vez moléculas de monóxido de carbono en una galaxia ubicada a casi 11 mil millones de años-luz de distancia, una hazaña que había permanecido esquiva durante 25 años. Esto ha permitido a los astrónomos obtener las mediciones más precisas de la temperatura cósmica en una época tan remota.

9 El objeto más distante medido

El *Very Large Telescope* ha obtenido la firma espectral del objeto más temprano y distante conocido en el Universo, visto sólo unos 600 millones de años después del *Big Bang*.

10 El exoplaneta más liviano encontrado

El espectrógrafo HARPS ayudó a los astrónomos a descubrir un sistema que contiene al exoplaneta más liviano —sólo unas dos veces la masa de nuestra Tierra— al igual que un planeta ubicado dentro de la zona habitable, donde podrían existir océanos de agua líquida.

Apoyando a los astrónomos europeos





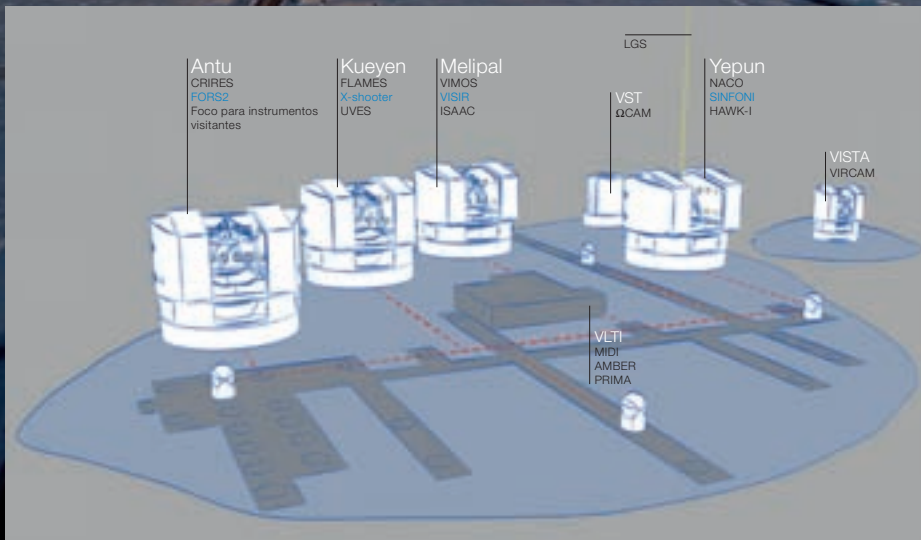
Como está establecido en su conven-
ción, ESO proporciona instalaciones
de vanguardia a los astrónomos euro-
peos y promueve y organiza la coopera-
ción en investigación astronómica.
Hoy en día ESO opera algunas de las
mayores y más avanzadas instalaciones
de observación del mundo en tres sitios
del norte de Chile: La Silla, Paranal y
Chajnantor. Estos son los mejores empla-
zamientos conocidos en el hemisferio
sur para las observaciones astronómicas.
A través de otras actividades tales como
el desarrollo de tecnología, conferencias
y proyectos educativos, ESO tiene tam-
bién un papel decisivo en la formación
de un Área Europea de Investigación en
astronomía y astrofísica.

*«Este es un tributo al genio humano.
Es una contribución extraordinaria
al desarrollo del conocimiento y,
como Comisionado de Investiga-
ción, estoy orgulloso de que sea un
logro europeo.»*

Philippe Busquin, Comisionado
Europeo de Investigación
(2000–2005)

Paranal

El conjunto del *Very Large Telescope* es el emblema de la astronomía europea al inicio del tercer milenio.



Instrumentos del *Very Large Telescope*.

El VLT es el instrumento óptico más avanzado del mundo. Consta de cuatro telescopios con espejos principales de 8,2 metros de diámetro y cuatro telescopios auxiliares móviles de 1,8 metros que pueden ser combinados con los telescopios principales para formar un interferómetro.

También es posible utilizar por separado los telescopios de 8,2 metros. Con un telescopio de estas características se pueden obtener, en una hora de exposición, imágenes de objetos celestes apenas visibles, de magnitud 30. Esto equivale a ver objetos que son cuatro mil millones de veces más débiles que aquéllos que se ven a simple vista.

El programa de instrumentación del VLT es el más ambicioso jamás concebido para un solo observatorio. Éste incluye cámaras de campo amplio, espectrógrafos y cámaras con corrección de óptica adaptativa, así como también espectrógrafos de alta resolución y multi-objeto que cubren una amplia banda del espectro, desde longitudes de onda del ultravioleta profundo (300 nm) hasta el infrarrojo intermedio (20 μm).

Los telescopios de 8,2 metros están ubicados en compactos edificios climatizados que rotan sincronizadamente junto a los telescopios. Este diseño minimiza cualquier efecto adverso en las condiciones de observación, por ejemplo, una turbulencia de aire en el

tubo del telescopio, que podría ocurrir debido a variaciones en la temperatura y al flujo de viento.

El primero de los telescopios, Antu, comenzó sus operaciones científicas el 1 de abril de 1999. Hoy en día, las cuatro Unidades de Telescopios y los cuatro Telescopios Auxiliares están operativos. El VLT ha causado ya un enorme impacto en la astronomía observacional. Es la instalación terrestre más productiva del mundo, con un promedio de más de una publicación diaria de un artículo científico basado en información proporcionada por el VLT.



Personas en ESO: Karla Aubel, Operadora de Telescopio e Instrumentos en Paranal

«Llegué a ESO en 2001, mientras aún hacía mi tesis para titularme de ingeniera en física. Primero trabajé en La Silla, usando mis días libres para completar mi tesis, y llegué al VLT en 2005. Desde joven he tenido curiosidad por las cosas, intentando encontrar respuestas, y creía que la física sería el camino para lograrlo. Pilotar el VLT, proveer la mejor calidad de imagen, el seguimiento más preciso, y estar alerta durante toda la noche es mi forma de contribuir a los esfuerzos de los astrónomos por resolver los misterios del Universo. Y en invierno, cuando los turnos de noche duran 14 horas, ¡este oficio puede ser duro! Pero me gusta. Y cuando veo un artículo en la prensa acerca de un descubrimiento hecho por el VLT, no puedo evitar pensar que yo he participado. ¡Realmente me hace sentir bien y uno se da cuenta de que es parte de algo importante!»

Muchos ojos, una visión

Los telescopios individuales del observatorio VLT pueden combinarse, en grupos de dos o tres, para formar el interferómetro gigante del VLT, permitiendo a los astrónomos observar detalles hasta 25 veces más finos que con los telescopios individuales y estudiar objetos celestes a un nivel sin precedentes. Es posible observar detalles de la superficie de las estrellas e incluso estudiar los alrededores de un agujero negro.

Los haces de luz se combinan en el VLTI usando un complejo sistema de espejos en túneles subterráneos donde las trayectorias de luz deben mantenerse iguales, alineándose con una precisión de menos de 1/1000 milímetros sobre una distancia de unos 100 metros.

Con este tipo de precisión, el VLTI puede reconstruir imágenes con una resolución angular de milisegundos de arco, permitiendo a los astrónomos obtener una de las imágenes más nítidas que se hayan conseguido de una estrella, con una resolución espacial de 4 milisegundos de arco. Ello equivale a ver la cabeza de un tornillo en la Estación Espacial Internacional, ubicada a 400 kilómetros de distancia de la Tierra.

Instrumentos para el Interferómetro VLT

- VINCI: el instrumento para puesta a punto del Interferómetro VLT
- AMBER: el instrumento de infrarrojo cercano para estudios fotométricos y espectroscópicos
- MIDI: el instrumento de infrarrojo medio para fotometría y espectroscopia
- PRIMA: el instrumento de imagen con referencia de fase y astrometría con precisión de microsegundos de arco, de interés particularmente para la detección de fuentes más débiles y la búsqueda de exoplanetas

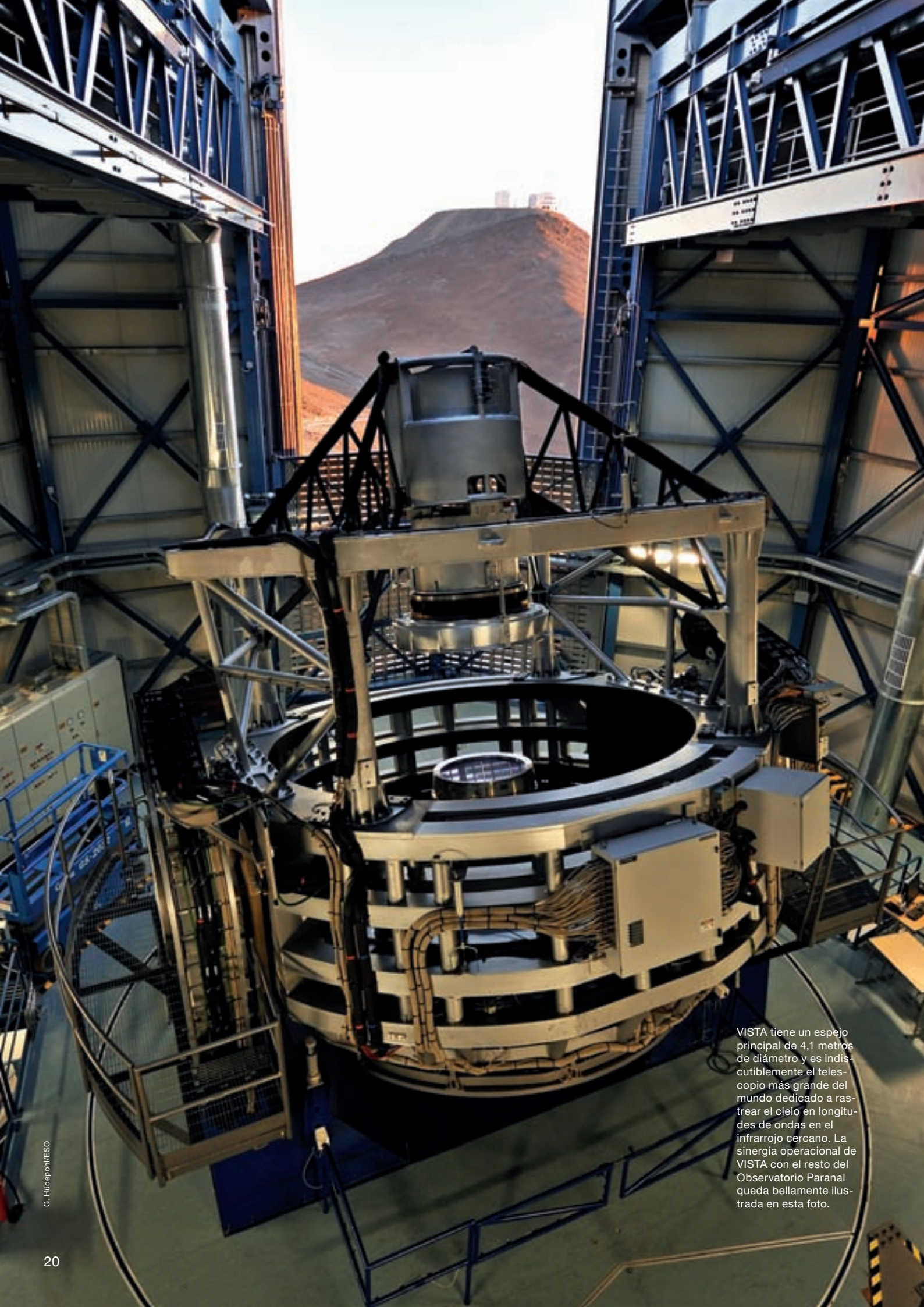
Telescopios móviles

Si bien los cuatro telescopios de 8,2 metros pueden combinarse para formar el VLTI, durante la mayor parte del tiempo se emplean por separado, para otros fines, y por tanto sólo están disponibles para observaciones interferométricas un número limitado de noches.

Para poder aprovechar el poder del VLTI cada noche, se dispone de cuatro telescopios auxiliares (*Auxiliary Telescopes*, ATs) especializados y de menor tamaño. Los ATs están montados sobre rieles

y pueden moverse entre estaciones de observación bien definidas. Desde estas estaciones, los haces de luz son reflejados desde los espejos de los ATs y combinados en el VLTI.

Los ATs son telescopios muy poco habituales: son autosuficientes en sus cúpulas protectoras ultra compactas, llevan consigo sus propios sistemas electrónicos, de ventilación, hidráulicos y de enfriamiento y poseen su propio transportador que eleva el telescopio y lo mueve de una estación a otra.



VISTA tiene un espejo principal de 4,1 metros de diámetro y es indiscutiblemente el telescopio más grande del mundo dedicado a rastrear el cielo en longitudes de ondas en el infrarrojo cercano. La sinergia operacional de VISTA con el resto del Observatorio Paranal queda bellamente ilustrada en esta foto.

Telescopios de Rastreo

Dos nuevos y poderosos telescopios —el *Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy* (VISTA) y el *VLT Survey Telescope* (VST)— están comenzando su trabajo en el Observatorio Paranal de ESO en el norte de Chile. Puede decirse que son los telescopios más potentes del mundo dedicados al sondeo de imágenes y aumentarán enormemente el potencial de descubrimientos científicos del Observatorio Paranal.

Muchos de los objetos astronómicos más interesantes son escasos, desde los pequeños pero potencialmente peligrosos asteroides cercanos a la Tierra, hasta los más remotos quásares. Encontrarlos es como buscar una aguja en un pajar. Los más grandes telescopios, tales como el *Very Large Telescope* (VLT) de ESO y el Telescopio Espacial Hubble de NASA/ESA, sólo pueden estudiar una ínfima parte del cielo en un momento dado, pero VISTA y el VST están diseñados para fotografiar grandes áreas de forma

rápida y profunda. Ambos telescopios ocuparán la mayor parte de sus primeros cinco años realizando un total de nueve sondeos cuidadosamente diseñados y crearán vastos archivos tanto de fotografías como de catálogos de objetos que serán «cosechados» por los astrónomos en las próximas décadas.

Los rastreos producirán ciencia directamente y, además, los interesantes objetos descubiertos por dichos telescopios constituirán objetivos para el estudio detallado tanto por el VLT como por otros telescopios basados en Tierra y en el espacio. Ambos telescopios de sondeo están instalados en cúpulas cercanas al VLT y comparten las mismas condiciones excepcionales de observación, así como su modelo operacional altamente eficiente.

VISTA tiene un espejo principal de 4,1 metros de diámetro y es por lejos el telescopio más grande del mundo

dedicado a sondear el cielo en longitudes de onda de infrarrojo cercano. En el corazón de VISTA hay una cámara de 3 toneladas que contiene 16 detectores especiales sensibles a la luz infrarroja, con un total combinado de 67 megapíxeles. Tendrá una cobertura más amplia que cualquier cámara astronómica de infrarrojo cercano existente.

El VST es un telescopio de vanguardia de 2,6 metros, equipado con OmegaCAM, una enorme cámara CCD de 268 megapíxeles, con un campo visual equivalente a cuatro veces el área de la Luna llena. Complementa a VISTA y rastreará el cielo en luz visible.

El VST es resultado de una alianza entre ESO y el Observatorio Astronómico Capodimonte (OAC) de Nápoles, un centro de investigación del Instituto Nacional Italiano para Astrofísica (INAF). Se espera que el VST esté operativo en Paranal en 2011.



La Silla



El instrumento HARPS.





El Observatorio La Silla, a 600 kilómetros al norte de Santiago de Chile y a una altura de 2400 metros, ha sido un emblema de ESO desde los años 60. Aquí ESO opera algunos de los telescopios de 4 metros de diámetro más productivos del mundo.

El *New Technology Telescope* (NTT), de 3,58 metros de diámetro, estableció nuevos parámetros para la ingeniería y el diseño de telescopios y fue el primero en el mundo en tener un espejo principal controlado por un computador (óptica activa), una tecnología desarrollada en ESO y aplicada ahora en el VLT y en la mayoría de los grandes telescopios del mundo.

En otro lugar de La Silla, el telescopio de 3,6 metros de ESO ha estado en operaciones desde 1977. Tras modernizarse sustancialmente, permanece en primera línea entre los telescopios de la clase de 4 metros en el hemisferio sur.

Este telescopio alberga al buscador de planetas extrasolares más importante del mundo: HARPS (*High Accuracy Radial velocity Planet Searcher* o buscador de planetas con velocidad radial de alta precisión), un espectrógrafo de una precisión inigualable.

La infraestructura de La Silla también es utilizada por muchos de los estados miembros de ESO para proyectos específicos tales como el telescopio suizo Euler de 1,2 metros, el *Rapid-Eye Mount* (REM) y el buscador de explosiones de rayos gamma TAROT; existen también instalaciones para todo tipo de usuarios, como los telescopios Max Planck de 2,2 metros y el danés de 1,5 metros. El *Wide Field Imager*, de 67 millones de píxeles, instalado en el telescopio de 2,2 metros, ha obtenido numerosas imágenes de objetos celestes, algunas de las cuales se han convertido en íconos.



A la vanguardia de las nuevas tecnologías



Personas en ESO: Françoise Delplancke, física de instrumentación del VLTI

«Mi primera impresión del cerro Paranal en medio del desierto de Atacama en Chile, después de más de veinte horas de viaje desde Múnich, fue que había aterrizado en el planeta Marte. El observatorio que ESO ha construido en este entorno hostil es un cómodo oasis equipado con las tecnologías más avanzadas en astronomía, y operado por personas muy profesionales y amables. El cielo es tan claro aquí que incluso a simple vista pueden distinguirse los colores azulados y rojizos de algunas estrellas de la Vía Láctea, un sueño para los astrónomos aficionados que viven en ciudades europeas contaminadas por la iluminación artificial. Por esa misma razón, después de estar una hora fuera de noche, se puede ver el paisaje de alrededor bastante bien a la luz de las estrellas incluso sin luz de la Luna. Una vez tuve la rara ocasión de mirar la Luna a través de uno de los telescopios principales de Paranal con mis propios ojos: tuve la sensación de estar sobrevolando su superficie a bordo de una nave espacial.»

Desde el principio, el VLT fue concebido como una formidable máquina científica, dotada de los últimos adelantos tecnológicos.

La óptica adaptativa es una técnica que permite que los instrumentos del telescopio corrijan el efecto distorsionador de la atmósfera, y produzcan imágenes tan nítidas como las tomadas desde el espacio. Esto permite observar objetos más débiles con un grado más refinado de detalle. Con óptica adaptativa, el telescopio puede alcanzar su límite de difracción, es decir, la mayor resolución teóricamente posible. Un instrumento del VLT podría entonces leer los titulares de un periódico a una distancia de más de 10 kilómetros.

Para funcionar, la óptica adaptativa necesita una estrella de referencia próxima y relativamente brillante, lo que limita qué partes del cielo pueden observarse. Para superar esta limitación, uno de los telescopios del VLT ha sido equipado con un potente láser que crea una estrella artificial en el cielo, en el momento y lugar que los astrónomos la requieran.

Para hacer el VLT más eficiente para la interferometría, cada telescopio de 8,2 metros ha sido equipado con su propio instrumento de óptica adaptativa especialmente diseñado, MACAO, que enfoca la luz de objetos distantes en haces lo más estrechos posibles.

Con siete sistemas de óptica adaptativa instalados hasta ahora, un sistema de estrella artificial de referencia producida por láser y la posibilidad de combinar dos o tres telescopios para hacer interferometría, el VLT es verdaderamente

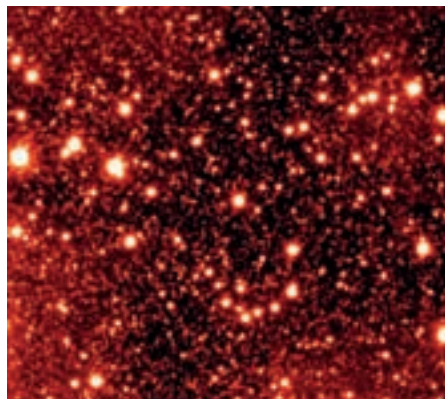
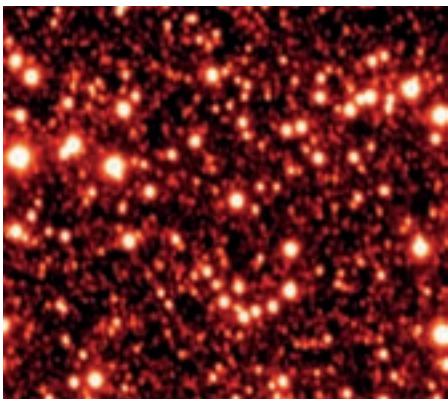
el observatorio terrestre más avanzado del mundo.

Junto con varios institutos europeos, ESO está desarrollando en la actualidad la siguiente generación de instrumentos de óptica adaptativa para el VLT, como el instrumento SPHERE. El instrumento de óptica adaptativa extrema SPHERE se dedicará a obtener imágenes directas y a caracterizar planetas gaseosos gigantes fuera del Sistema Solar, con masas menores a la de Júpiter. Este es un paso importante hacia la detección y caracterización de planetas parecidos a la Tierra que puedan albergar vida, con el futuro *European Extremely Large Telescope*.

La estrella artificial de referencia generada con láser en el VLT

Actualmente en el VLT se está utilizando un dispositivo que genera una estrella artificial de referencia, por medio de un láser, para su utilización con los instrumentos de óptica adaptativa NACO y SINFONI. Con este sistema se proyecta un potente haz de luz láser hacia la capa de sodio existente en la atmósfera terrestre, a 90 kilómetros de altitud, lo que crea una «estrella» artificial. Ésta es utilizada por los sistemas de óptica adaptativa para medir y compensar los efectos de la turbulencia atmosférica en casi cualquier posición del cielo.

El dispositivo de estrella artificial de referencia mediante láser es un proyecto de colaboración entre ESO, el *Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik* (MPE) en Garching, Alemania, y el *Max-Planck-Institut für Astronomie* (MPIA) en Heidelberg, Alemania.



Comparación entre una imagen tomada sin (izquierda) y con óptica adaptativa (derecha).

Galería de imágenes del VLT

El VLT es una máquina científica única a la vanguardia de la investigación astronómica. También produce asombrosas y bellas imágenes de objetos celestes, como se muestra en esta galería.

1 Majestuosa galaxia espiral NGC 7424

La bella galaxia espiral NGC 7424, con sus múltiples brazos, está a unos 40 millones de años-luz de distancia, en la constelación de Grus (la Grulla), y es observable casi de frente. Esta galaxia se extiende por unos 100 000 años-luz, un tamaño bastante similar al de nuestra Vía Láctea.

2 La nebulosa Cabeza de Caballo

Esta imagen muestra la famosa nebulosa Cabeza de Caballo, situada a unos 1400 años-luz, en el complejo de nubes moleculares de Orión. Es una protuberancia de polvo que surge de la región meridional de la densa nube de polvo Lynds 1630, al borde de la región HII denominada IC 434.

3 Zona de formación estelar NGC 3603

NGC 3603 es una zona de estallidos estelares en nuestra Vía Láctea, una fábrica cósmica donde las estrellas se forman intensamente a partir de las extensas nubes de polvo y gas de la nebulosa.

4 Los Pilares de la Creación

Este mosaico de imágenes de la nebulosa del Águila (Messier 16) se basa en 144 imágenes individuales. En el centro está la zona de formación estelar conocida como «Los Pilares de la Creación».

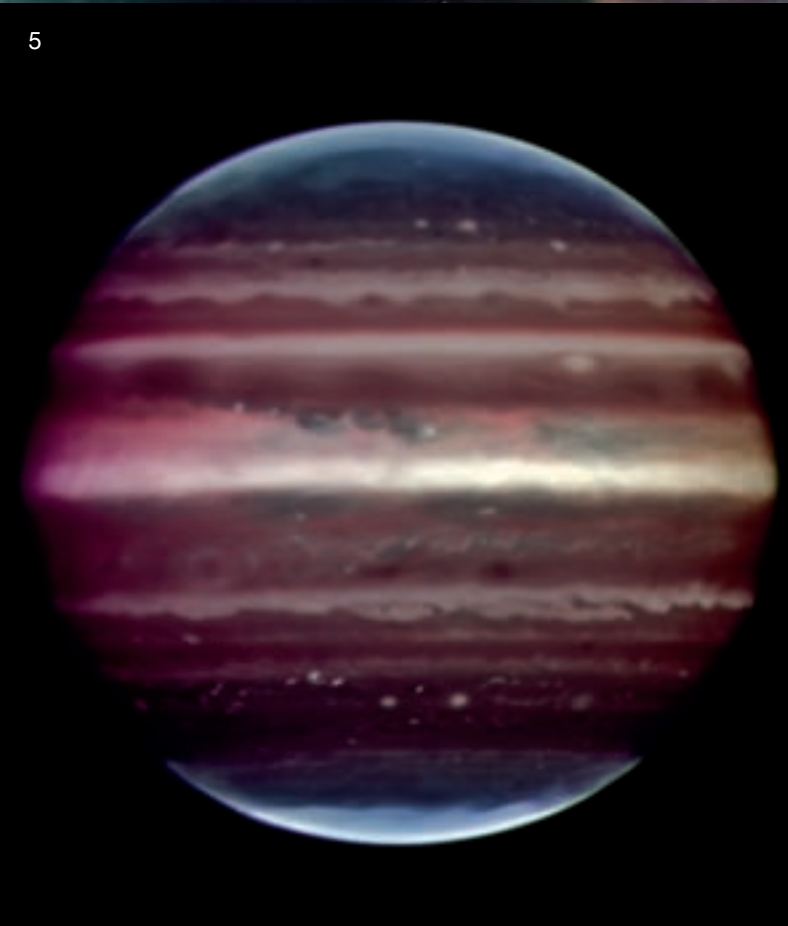
5 Planeta Júpiter

Esta fotografía muy precisa de Júpiter fue tomada desde la Tierra gracias al instrumento prototipo *Multi-Conjugate Adaptive Optics Demonstrator* (MAD) instalado en el *Very Large Telescope* (VLT) de ESO. La asombrosa imagen revela los cambios en la bruma de Júpiter, similar al smog, probablemente como respuesta a un trastorno en todo el planeta ocurrido hace más de un año.

6 La Galaxia Irregular NGC 1427A

NGC 1427A es un ejemplo de una galaxia enana irregular. En este caso particular, la forma de la galaxia ha sido forjada por su movimiento rápido y ascendente a través del cúmulo: con una velocidad de dos millones de kilómetros por hora en relación al cúmulo, NGC 1427A está siendo desgarrada y finalmente colapsará.





ALMA: Explorando el Universo Frío

En las alturas del Llano de Chajnantor, en la Cordillera de los Andes, en Chile, el Observatorio Europeo Austral está construyendo junto a sus socios internacionales el *Atacama Large Millimeter/submillimeter Array*, ALMA, un telescopio de vanguardia para estudiar la luz emitida por algunos de los objetos más fríos en el Universo. Esta luz tiene una longitud de onda de alrededor de un milímetro —entre luz infrarroja y ondas de radio— lo que la hace conocida como radiación milimétrica y submilimétrica.

En estas longitudes de onda la luz brilla desde las vastas nubes frías en el espacio interestelar —a temperaturas sólo unas décimas de grados sobre el cero absoluto— y desde algunas de las galaxias más antiguas y distantes en el Universo. Los astrónomos pueden usar dicha luz para estudiar las condiciones químicas y físicas en las nubes moleculares: áreas densas de gas y polvo donde están naciendo las nuevas estrellas. A menudo estas regiones del Universo son oscuras y ocultas a la luz visible, pero brillan intensamente en la parte milimétrica y submilimétrica del espectro.

La radiación milimétrica y submilimétrica abre una ventana al enigmático Universo Frío, pero el vapor de agua en la atmósfera terrestre absorbe las señales del espacio. Los telescopios para este tipo de astronomía deben construirse en lugares altos y secos.

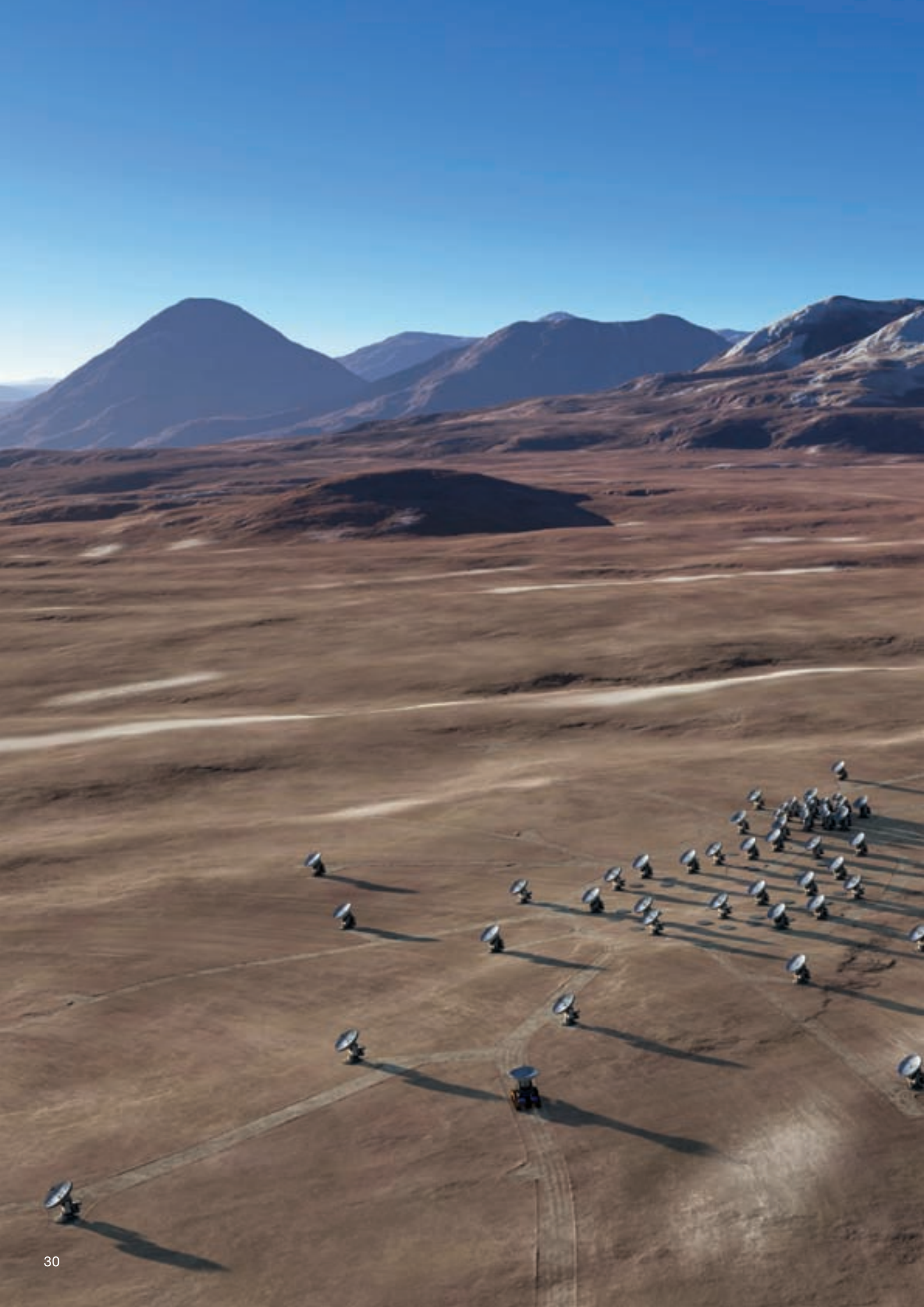
Es por ello que ALMA, el proyecto astronómico más grande en desarrollo, está siendo construido en el Llano de Chajnantor, a 5000 metros de altura, en uno de los sitios astronómicos de observación más altos de la Tierra. El emplazamiento de ALMA, a unos 50 kilómetros al este de San Pedro de Atacama en el norte de Chile, es uno de los lugares más secos de la Tierra. Los astrónomos encuentran allí condiciones insuperables de observación, pero deben operar un observatorio de última generación bajo condiciones muy difíciles. Chajnantor está unos 750 metros más alto que los observatorios en Mauna Kea, y 2400 metros más alto que el VLT en cerro Paranal.



Personas en ESO: Stefano Stanghellini, responsable del Subsistema de Antenas de ALMA.

«Yo soy de la Toscana, proveniente de una familia en la que viajar al extranjero para cumplir el sueño de su carrera ha sido siempre una tradición. Antes de ESO trabajé en centrales nucleares en *Westinghouse Nuclear International* en Bruselas, y después me mudé a Alemania para trabajar en motores de reacción. Cuando leí acerca del VLT, que se promovía como un reto para Europa y sus ingenieros, sentí que mi lugar estaba en ESO. ¡Mirando hacia atrás, me considero afortunado por haber trabajado en ESO en los años increíblemente emocionantes y exitosos del VLT! El espíritu de equipo fue asombroso, con todos en ESO compartiendo un mismo objetivo. Qué orgullosos estábamos en 1998 cuando el VLT obtuvo la primera luz con excelentes resultados: ¡Lo habíamos conseguido!

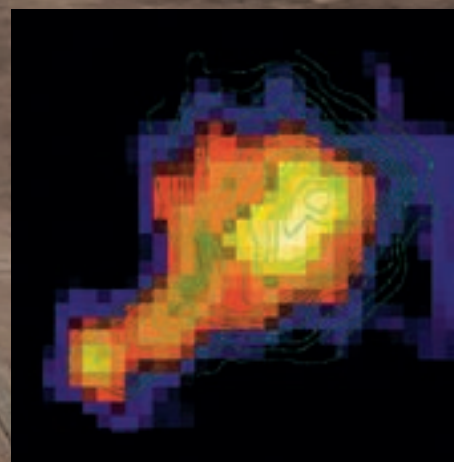
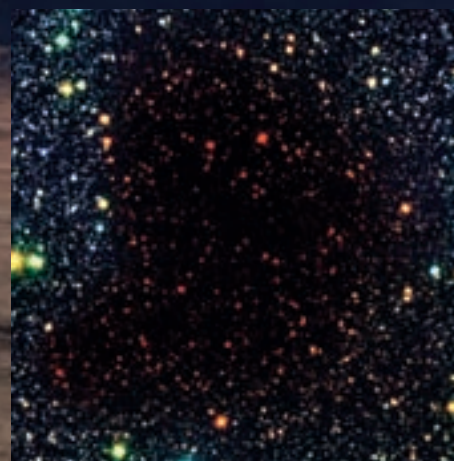
Y ahora estamos intentando alcanzar el mismo éxito de nuevo, incluso a una escala mayor y mundial, con ALMA.»



ALMA será un telescopio único de diseño revolucionario, compuesto inicialmente de 66 antenas de alta precisión, operando a longitudes de onda de 0,3 a 9,6 milímetros. Su conjunto principal tendrá cincuenta antenas de 12 metros de diámetro actuando en conjunto como un solo telescopio: un interferómetro. Esto será complementado por un compacto conjunto adicional de antenas de 12 y 7 metros. Las antenas pueden ser desplazadas a través de la meseta desértica a distancias desde 150 metros a 16 kilómetros, lo que proporcionará a ALMA un poderoso «zoom» variable. Será capaz de sondear el Universo a longitudes de onda milimétricas y submilimétricas con una sensibilidad y resolución sin precedentes, con una visión hasta diez veces más aguda que la del Telescopio Espacial Hubble, lo que permitirá complementar las imágenes obtenidas por el interferómetro VLT.

ALMA es el telescopio más poderoso para observar el Universo frío: el gas molecular y el polvo, así como también los vestigios de la radiación del *Big Bang*. ALMA estudiará los componentes básicos de las estrellas, los sistemas planetarios, galaxias y la vida misma. Proveerá a los científicos con imágenes detalladas de estrellas y planetas naciendo en nubes de gas cerca de nuestro Sistema Solar, y detectará galaxias lejanas que están formándose en los confines del Universo observable, las que vemos tal como eran aproximadamente diez mil millones de años atrás. De esta forma, ALMA permitirá a los astrónomos abordar algunas de las más profundas interrogantes sobre nuestros orígenes cósmicos.

La construcción de ALMA estará terminada alrededor de 2012, pero las primeras observaciones científicas, con parte del conjunto de telescopios, comenzarán alrededor del 2011.



Una nube oscura observada en luz visible (arriba), infrarrojo cercano (centro) y ondas submilimétricas (abajo).

Un esfuerzo global

ALMA es una colaboración entre Europa, Norteamérica y Asia del Este en cooperación con la República de Chile. ALMA es financiada en Europa por ESO, en Norteamérica por la Fundación Nacional de la Ciencia de los Estados Unidos en cooperación con el Consejo Nacional de Investigación de Canadá, y en Asia del Este por el Instituto Nacional de Ciencias Naturales en cooperación con el Consejo Nacional de la Ciencia de Taiwán y la Academia Sínica de Taiwán. La construcción y operación de ALMA están a cargo de ESO en representación de Europa, por el Observatorio Nacional de Radioastronomía —que es gestionado por *Associated Universities, Inc.*— en representación de Norteamérica, y por el Observatorio Astronómico Nacional de Japón en representación de Asia del Este. El Observatorio ALMA proporciona un liderazgo y una administración unificados para la construcción, verificación y operación de ALMA.

«El proyecto ALMA es un reto técnico extraordinario, puesto que la superficie de la antena debe tener una precisión superior a las 25 micras, una precisión mejor que 0,6 segundos de arco al apuntar hacia un objeto, y las antenas deben moverse sobre una distancia de 10 kilómetros permitiendo apuntar al Sol. Deseamos agradecer a ESO por confiar en nosotros en este nuevo desafío.»

Pascale Sourisse, Presidente y Director Ejecutivo de *Alcatel Alenia Space*

APEX

Mientras ALMA se construye, los astrónomos ya están haciendo astronomía milimétrica y submilimétrica en Chajnantor, con el *Atacama Pathfinder Experiment* (APEX o Experimento Pionero de Atacama). Se trata de un telescopio de 12 metros de nueva tecnología —el mayor telescopio operando en el hemisferio austral a longitudes de onda submilimétricas— basado en una antena prototipo de ALMA que opera en su mismo emplazamiento. Cuenta con un diseño óptico modificado y con una precisión mejorada en la superficie de la antena. APEX está diseñado para trabajar en longitudes de onda de 0,2 a 1,5 milímetros.

Los astrónomos están usando APEX para estudiar las condiciones existentes en el interior de las nubes moleculares, tales como las que rodean la nebulosa de Orión, o los Pilares de la Creación en la nebulosa del Águila. Han encontrado monóxido de carbono y moléculas orgánicas complejas, así como moléculas cargadas que contienen flúor que nunca se habían detectado antes. Estos descubrimientos hacen avanzar nuestra comprensión de las cunas de gas en las que nacen nuevas estrellas.

APEX es una colaboración entre el Instituto Max Planck de Radioastronomía (en cooperación con el Instituto Astronómico de la Universidad del Ruhr en Bochum), el Observatorio Espacial de Onsala y ESO. El telescopio es operado por ESO y sigue las huellas del Telescopio Submilimétrico de Suecia y de ESO (SEST) que operó en La Silla desde 1987 hasta 2003 mediante una colaboración entre ESO y el Observatorio Espacial de Onsala. SEST funcionaba en longitudes de onda de 0,8 a 3 milímetros.



Observaciones de APEX a RCW 120, una zona de formación estelar.



Alto rendimiento: El sistema de flujo de datos



Personas en ESO: Petra Nass, Departamento de Apoyo a los Usuarios

«Trabajando en Garching como científica de apoyo a las operaciones, soy el vínculo entre los astrónomos que solicitan tiempo de observación en modo de servicio y el equipo de astrónomos de ESO que lleva a cabo las observaciones en Chile, de forma tal que estos últimos puedan proporcionar los mejores datos posibles bajo condiciones óptimas. Así realmente creo que proporcionamos un servicio. Durante los periodos de observación que yo realicé recogiendo datos para mi propia tesis doctoral, estaba sentada sola en la sala de control de un telescopio en una montaña, con varios monitores frente a mí que tenía que examinar y comprender inmediatamente, además de sentir la tensión de esperar las mejores condiciones de observación posibles. Con el modo de servicio esto ya no ocurre. Ahora uso mi experiencia como observadora para mejorar continuamente la forma en la que se desarrollan las observaciones en modo de servicio y, de esta forma, incluso permitir la ejecución de estudios científicos que no podrían haberse logrado mediante el modo convencional de observación de visitante. Éste es un proceso en continua evolución: ALMA operará en modo de servicio, y estamos pensando en cómo adaptarlo para el futuro E-ELT.»

La eficiencia operacional de ESO supera a cualquier otro telescopio terrestre. Esto es posible gracias a una combinación única de conceptos de operación innovadores, un elaborado esquema de mantenimiento y un complejo sistema para almacenar, extraer y evaluar datos científicos y de ingeniería, cuidadosamente planificado.

En los observatorios terrestres tradicionales los científicos solicitan tiempo de observación, viajan a los telescopios, llevan a cabo las observaciones por sí mismos y vuelven a sus institutos con los datos para el análisis científico final. Los datos, una vez analizados, no suelen ponerse a disposición de otros astrónomos para su reutilización. El tiempo de observación se asigna con mucha antelación e, incluso en los mejores lugares, las variaciones meteorológicas pueden tener un efecto negativo sobre la calidad de los datos científicos. A medida que los observatorios modernos se tornan más complejos y se construyen en lugares más remotos, este método de operación se hace cada vez menos efectivo.

El Sistema de Flujo de Datos de ESO (*Data Flow System, DFS*) se ha diseñado para resolver estos problemas. Permite tanto observaciones tradicionales con el astrónomo presente en el observatorio, como observaciones en modo de servicio en que los datos los obtiene el personal del observatorio siguiendo los requerimientos de la comunidad de usuarios de ESO. Todos los datos se almacenan en el archivo científico de ESO. Después de un período de propiedad de un año, en que los investigadores iniciales tienen acceso exclusivo a sus datos, otros investigadores pueden acceder a los datos para su propio uso.

ESO fue el primer observatorio terrestre que puso en práctica estos conceptos y herramientas. Y también fue el primero en construir y mantener un archivo científico tan extenso, que contiene no sólo observaciones sino también la información auxiliar que las describe. En ambas áreas, ESO sigue siendo el líder mundial.

Los beneficios están claros. Los planes de observación pueden prepararse y enviarse desde el instituto del usuario, sin la necesidad de viajar al observatorio.



«ESO ha revolucionado las operaciones de los observatorios astronómicos terrestres con un nuevo sistema de flujo de datos, diseñado para mejorar la transmisión y gestión de las observaciones e informaciones astronómicas a distancias transcontinentales.»

Cita del Premio *ComputerWorld Honors 21st Century Achievement Award*

Esto reduce el riesgo de errores y facilita una eficiencia mucho mayor. Los proyectos se ejecutan bajo las condiciones meteorológicas más adecuadas, empleando cada noche de la mejor forma posible. Los programas científicos más exigentes pueden usar también gran cantidad de tiempo en condiciones meteorológicas excepcionales. Así se consiguen importantes ahorros económicos. Los usuarios reciben datos procesados con criterios de calidad bien definidos y listos para el análisis científico. Por último, los usuarios están apoyados por un equipo de astrónomos de ESO expertos en todos los aspectos de operaciones del DFS.

La estrategia del DFS ha generado un aumento significativo de la productividad científica de la comunidad usuaria de ESO. Considerando el número de artículos en revistas especializadas, ESO es ahora el observatorio astronómico líder en el mundo.

La excelencia de ESO en esta área fue reconocida al ser galardonada con el *ComputerWorld Honors 21st Century Achievement Award*, un prestigioso premio reconocido por la comunidad internacional de tecnologías de la información.

Archivo científico

Todos los datos producidos por los telescopios de ESO así como los del Telescopio Espacial Hubble se almacenan en el archivo científico cuyo contenido actual es de alrededor de 65 000 gigabytes (GB), el equivalente a unos 15 000 DVD.

Cada año se distribuyen más de 12 terabytes (TB) de datos, en respuesta a unas 10 000 solicitudes efectuadas a través de la red. Puesto que se espera un incremento sustancial cuando los telescopios de rastreo VISTA y VST estén en plena operación —ya que juntos producirán unos 150 TB de datos cada año—, ESO ha puesto en marcha un archivo de clase petabyte (¡1 000 TB o un millón de GB!).

Los servidores de bases de datos de ESO están coordinados entre Alemania y Chile, y su tecnología y complejidad rivaliza con la de grandes empresas comerciales tales como la comunidad bancaria internacional.

El Universo digital

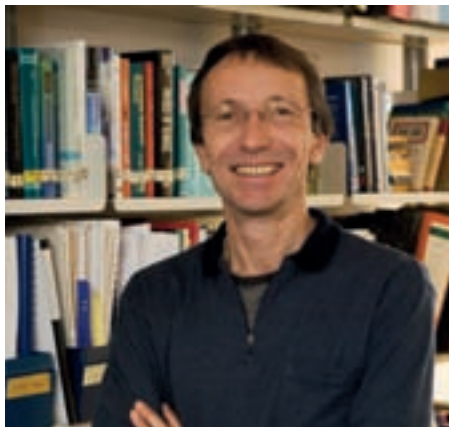
La existencia de estos archivos ha permitido el desarrollo de un observatorio astrofísico virtual. El observatorio virtual (VO por su sigla en inglés) es un concepto surgido de la necesidad de la astronomía moderna por explorar la riqueza de las bases de datos multi-instrumentales y multi-longitudes de onda en el presente y futuro, en una búsqueda por responder preguntas primordiales como el origen del Universo, la evolución de las galaxias, y la formación de estrellas y planetas. Esta necesidad genera el problema de acceder a cantidades cada vez más grandes de información combinada con enormes volúmenes acumulados a través de los años, y su posterior aprovechamiento.

En este marco, el observatorio virtual es un esfuerzo organizado por proveer a los astrónomos un acceso uniforme y centralizado a la información. Esta iniciativa global y comunitaria se desarrolla bajo los auspicios de la Alianza Internacional de Observatorios Virtuales (IVOA).

El observatorio virtual está demostrando su efectividad con un creciente número de descubrimientos científicos logrados gracias al VO que cubren todos los aspectos de la astronomía moderna, desde la física solar y estelar hasta la astronomía extra galáctica y la cosmología.



Proyectos futuros: El E-ELT



Personas en ESO: Marc Sarazin, Evaluador de Emplazamientos para el E-ELT

«Llegué a ESO como ingeniero/físico, hace más de 20 años, para ayudar a identificar el mejor emplazamiento para el entonces futuro *Very Large Telescope*. Algo revolucionario estaba ocurriendo en astronomía. En el pasado no siempre podíamos explotar todo el potencial de los buenos emplazamientos de observación, pero gracias a las mejoras en los telescopios esto empezaba a cambiar. Comprendiendo la atmósfera podíamos escoger el mejor lugar y obtener la mejor ciencia posible del telescopio. Nos llevó cerca de diez años caracterizar debidamente y escoger el emplazamiento ideal para el VLT, en Paranal. Hasta hace poco estábamos involucrados en la búsqueda del mejor emplazamiento para el E-ELT. Para ello analizamos cuatro lugares diferentes. Pero también intercambiamos información con nuestros colegas americanos que estudian otros tantos lugares para su proyecto. Y a medida que progresan las mediciones remotas, el trabajo de campo se acorta y complementa con el análisis remoto de una inmensa cantidad de datos disponibles. Al final, confiamos en haber identificado el emplazamiento más apropiado para esta instalación extraordinaria.»





Swinburne Astronomy Productions/ESO

La presente generación de telescopios de la clase de 8 a 10 metros, incluido el VLT de ESO, permite a los astrónomos estudiar el Universo de un modo sin precedentes, y suscita nuevas e desafiantes preguntas. Para responderlas se está planeando actualmente una nueva generación de telescopios extremadamente grandes, con diámetros de 30 metros o más. Estos telescopios podrán finalmente revolucionar nuestra percepción del Universo tal como lo hizo el telescopio de Galileo.

Se espera que estos gigantes del futuro entren en operación en el periodo entre 2015 y 2020. Abordarán los desafíos científicos de su momento, lo que implicará adentrarse en las Eras Oscuras de nuestro Universo —sus primeros cientos de millones de años— y encontrar planetas similares a la Tierra en zonas habitables alrededor de otras estrellas.

ESO ha acumulado una experiencia considerable en el desarrollo, integración y operación de grandes telescopios astronómicos en lugares remotos. Además, durante varios años ESO ha participado en estudios conceptuales de un telescopio óptico e infrarrojo adaptativo extremadamente grande.

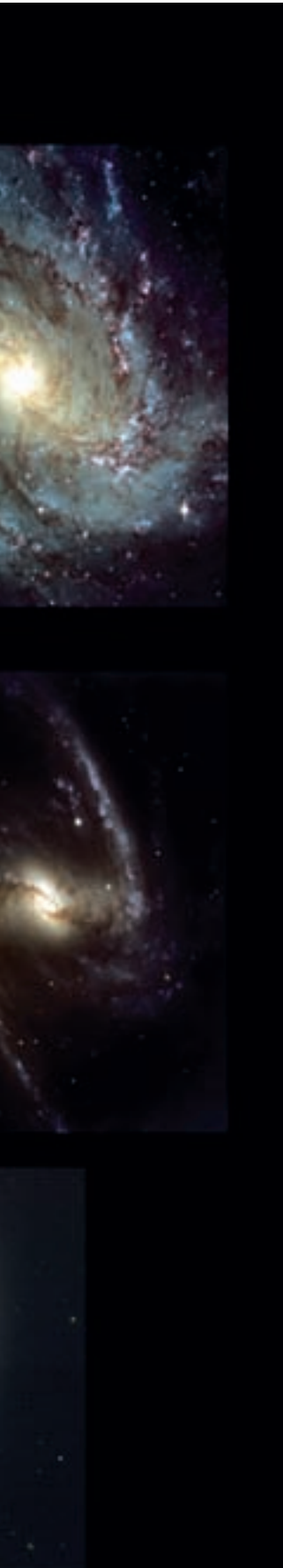
Esta experiencia forma la columna vertebral de los esfuerzos para desarrollar un telescopio extremadamente grande para la astronomía europea, conocido como el E-ELT. El diseño básico de referencia quedó listo al fines de 2006, por tanto el diseño final de esta instalación tiene como meta el inicio de las operaciones del observatorio E-ELT hacia el 2018. Paralelamente, un gran consorcio de institutos europeos y firmas industriales de alta tecnología están desarrollando las tecnologías cruciales para hacerlo posible, siendo ESO y la Comisión Europea sus principales fuentes de financiación.

Con un diámetro de 42 metros y su concepto de óptica adaptativa, el E-ELT será el «ojo» más grande del mundo en el cielo, el mayor telescopio óptico y de infrarrojo cercano que se haya concebido. El «ojo» del telescopio tendrá un diámetro equivalente a la mitad de una cancha de fútbol y recolectará 15 veces más luz que el telescopio óptico más grande hoy en operaciones. El telescopio posee un innovador diseño de cinco espejos que incluye óptica adaptativa avanzada para corregir las distorsiones generadas por la turbulencia atmosférica, proporcionando imágenes 15 veces más precisas que las obtenidas por el Telescopio Espacial Hubble.

«Los telescopios extremadamente grandes son percibidos en todo el mundo como una de las principales prioridades de la astronomía terrestre. Implicarán inmensos avances en el conocimiento astrofísico al posibilitar estudios detallados de planetas alrededor de otras estrellas, los primeros objetos en el Universo, los agujeros negros súper masivos, y la naturaleza y distribución de la materia y energía oscuras que dominan el Universo, entre otros. El proyecto del Telescopio Europeo Extremadamente Grande mantendrá y reforzará la posición de Europa a la vanguardia de la investigación astrofísica.»

La Hoja de Ruta Europea de Infraestructuras de Investigación, Informe ESFRI 2006





Las galaxias más distantes aparecerán como si estuvieran en nuestras proximidades, ofreciendo una visión sin sesgos de la historia de formación estelar a través de la mayor parte de la existencia del Universo.

En diciembre de 2004, el Consejo de ESO definió como meta estratégica de máxima prioridad para ESO el «mantener el liderazgo y excelencia astronómica europea en la era de los telescopios extremadamente grandes (ELT)» y solicitó que «la construcción de un ELT en una escala de tiempo competitiva se aborde con una planificación estratégica radical.»

Tras un extenso examen internacional de un primer estudio conceptual —el proyecto OWL— realizado en octubre de 2005, ESO llevó a cabo un nuevo estudio en 2006, producido con la ayuda de más de 100 astrónomos, para evaluar cuidadosamente el rendimiento, costo, programación y riesgo. En noviembre de 2006 los resultados fueron debatidos por parte de más de 250 astrónomos europeos reunidos en una conferencia en Marsella. Su entusiasta aceptación pavimentó el camino para la decisión del Consejo de ESO de pasar a la fase siguiente de diseño detallado de la instalación completa. El estudio final se espera que tome tres años, tras los cuales podría empezar la construcción. El costo del E-ELT estimado actualmente es de unos 950 millones de euros, lo que incluye a la primera generación de instrumentos.

El desafío de diseñar, construir y operar un telescopio de 30 a 60 metros es sustancial. Extrapolar soluciones técnicas a partir de colectores de luz de 10 metros de diámetro, al mismo tiempo que alcanzar una excelente calidad de imagen en un campo considerable, plantea numerosos temas. ESO está trabajando con más de treinta institutos científicos y compañías europeas para establecer las tecnologías necesarias para hacer posible al E-ELT a un costo asequible en los próximos 5 a 10 años. Dos aspectos muy importantes del desarrollo de los E-ELTs son el control de una óptica de alta precisión a través de la enorme escala del

telescopio, y el diseño de una eficiente serie de instrumentos que permita a los astrónomos alcanzar las ambiciosas metas científicas del E-ELT.

En lo que se refiere a la instrumentación, el objetivo es crear un conjunto flexible de instrumentos capaces de enfrentar la amplia variedad de preguntas científicas que los astrónomos desearían resolver en las próximas décadas. La capacidad de observar en un gran rango de longitudes de onda desde el visible al infrarrojo medio, con instrumentos para múltiples usuarios, permitirá a los científicos aprovechar al máximo el tamaño del telescopio. La integración aerodinámica de los instrumentos con los sistemas de control activos y adaptativos puede ser un desafío. ESO coordinará el desarrollo de unos cinco instrumentos de primera generación. Esto requiere también una inversión considerable en recursos humanos cualificados, y la gestión de estos proyectos con una multitud de instituciones colaboradoras es un reto en sí mismo. Este desarrollo sólo tendrá éxito mediante el uso de los recursos intelectuales de toda Europa, tal como lo ha ocurrido con el conjunto de instrumentos del VLT.

Un concepto revolucionario

El actual concepto es revolucionario: consiste de un telescopio con un espejo de 42 metros de diámetro. El espejo primario se compone de casi 1000 segmentos, cada uno de 14,5 metros de ancho, mientras el espejo secundario tiene nada menos que 6 metros de diámetro. Para contrarrestar el efecto distorsionador de las imágenes estelares debido a la turbulencia atmosférica, el telescopio necesita incorporar en su óptica espejos adaptativos. Y un espejo terciario, de 4,2 metros de diámetro, envía la luz al sistema de óptica adaptativa compuesto de dos espejos: uno de 2,5 metros apoyado en 5000 o más actuadores de forma tal que sea capaz de deformarse mil veces por segundo, y otro de 2,7 metros de diámetro que efectúa las correcciones finales de la imagen. Este concepto de cinco espejos resulta en una calidad de imagen excelente, sin desviaciones ópticas significativas en el campo de visión.

Creando alianzas



EIROforum

Fomentar la cooperación en astronomía está en el núcleo de la misión de ESO. ESO ha desempeñado un papel decisivo en la creación de un Área de Investigación Europea en astronomía y astrofísica.

Cada año, miles de astrónomos de los estados miembros, así como de otros países, llevan a cabo investigaciones usando datos obtenidos en los sitios de observación de ESO. Los astrónomos a menudo forman equipos internacionales de investigación, con miembros en varios países. Sus resultados se publican en cientos de artículos científicos cada año.

ESO tiene un extenso programa de *fellows* (jóvenes astrónomos con grado de doctor) y estudiantes, contribuyendo así a la movilidad de los científicos europeos. Científicos *senior* de los estados miembros y de otros países trabajan durante algunos periodos como visitantes en los observatorios de ESO. Además, ESO mantiene un vigoroso programa de conferencias internacionales sobre temas de ciencia y tecnología astronómicas de primera línea y proporciona apoyo logístico para la revista internacional *Astronomy and Astrophysics*.

Para poner a disposición de los usuarios telescopios e instrumentos cada vez mejores, ESO coopera estrechamente con un gran número de industrias europeas de alta tecnología. De hecho, la industria europea desempeña un papel vital en la realización de los proyectos de ESO. Sin la participación activa y entusiasta de los socios comerciales de todos los países miembros y de Chile, estos proyectos no serían posibles.

También en el campo del desarrollo tecnológico, ESO mantiene estrechos vínculos con muchos grupos de investigación en institutos universitarios de los países miembros y de otros. Así los astrónomos de los países miembros están activamente involucrados en la planificación y construcción de los instrumentos científicos para el VLT/VLTI y para ALMA, así como para otros telescopios existentes o en planificación. El desarrollo instrumental ofrece oportunidades importantes para los centros nacionales de investigación de excelencia, atrayendo a muchos jóvenes científicos e ingenieros.

ESO es miembro de EIROforum, la asociación de las siete organizaciones intergubernamentales europeas de investigación que operan grandes infraestructuras. Tanto directamente como a través de su asociación con EIROforum, ESO mantiene estrechas y fructíferas relaciones con la Comisión Europea. Esto ha llevado a proyectos cofinanciados en los campos de desarrollo tecnológico, preparación de científicos jóvenes, educación científica en las escuelas primarias y secundarias de Europa y varias actividades de coordinación.

«Europa necesita unir fuerzas para superar la masa crítica necesaria en recursos, experiencia y excelencia científica. Doy la bienvenida al compromiso de EIROforum con nuestras metas comunes.»

Janez Potočnik, Comisario Europeo de Ciencia e Investigación



Janez Potočnik, Comisionado Europeo de Ciencia e Investigación, en el lanzamiento del documento de EIROforum sobre política científica.

Encuentro con la sociedad



Transferencia de tecnología

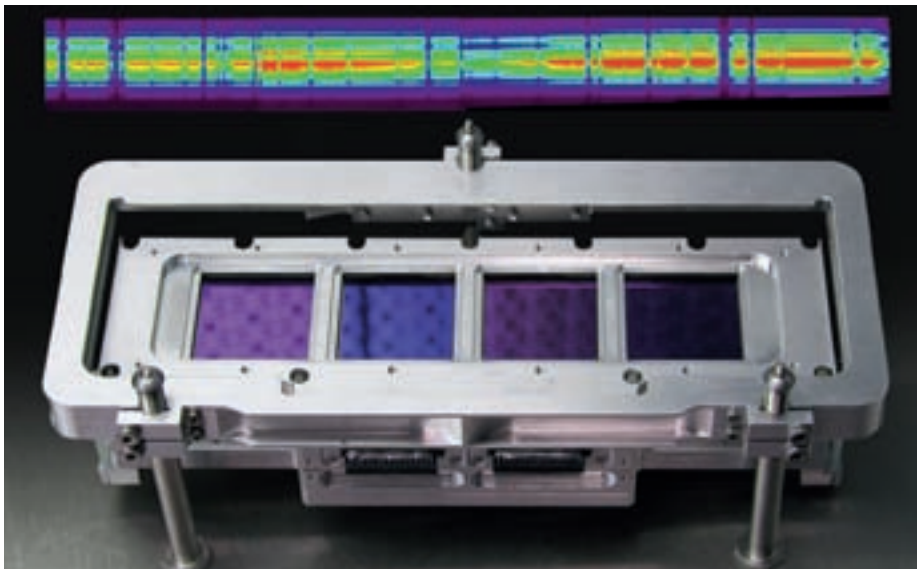
La astronomía tiene una larga tradición en el impulso de nuevas tecnologías, muchas de las cuales encuentran otras aplicaciones más adelante.

Los científicos e ingenieros de ESO trabajan activamente con sus colegas de la industria europea y de otras instituciones de investigación europeas en el desarrollo de tecnologías claves para el futuro. La transferencia de tecnología incrementa el valor de las actividades de investigación y desarrollo (I&D) para la

sociedad en general, y particularmente en los estados miembros de ESO.

Algunas de estas actividades incluyen nuevos sistemas opto-mecánicos y opto-electrónicos, y el control y manejo de equipamiento pesado con altísima precisión. Otras actividades incluyen equipos y software para telescopios e instrumentos complejos, análisis de imagen matemáticamente avanzado, y manejo, archivo y descarga de grandes cantidades de datos. ESO desarrolló

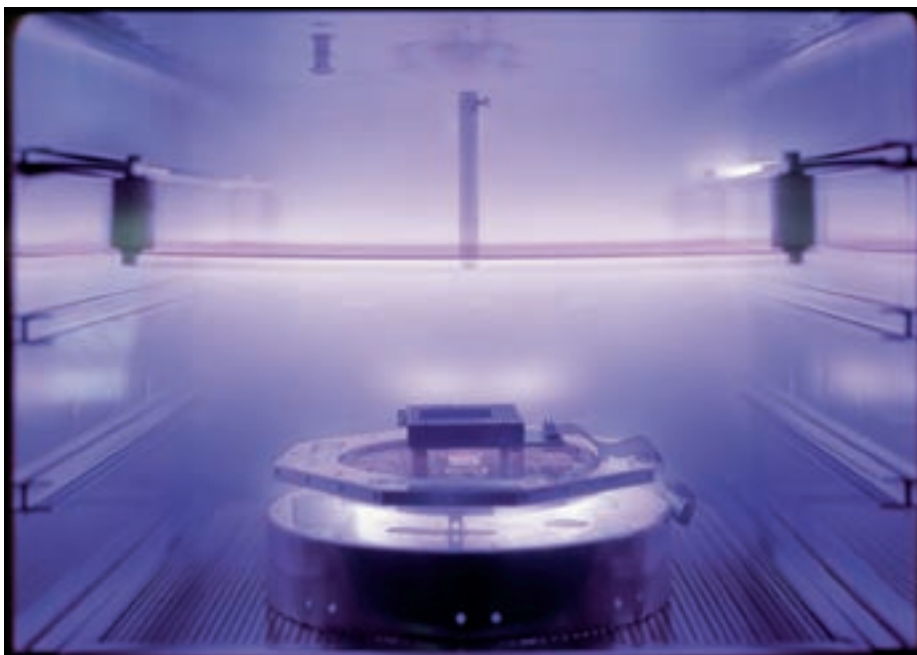
el revolucionario sistema de óptica activa y tuvo un importante papel en el desarrollo de la óptica adaptativa para aplicaciones civiles. Los sistemas de óptica adaptativa no sólo son de importancia crucial para los telescopios de la próxima generación, sino que están entrando ya en las principales tecnologías de ingeniería óptica. Por ejemplo, hoy en día la técnica de detección del frente de onda se emplea en la medicina moderna en la cirugía láser de refracción para corregir distorsiones de alto nivel en el ojo.



A la vanguardia de la tecnología

Entre las muchas tecnologías innovadoras que han sido desarrolladas por ESO y que se han aplicado más allá de los límites habituales o se han combinado de nuevas formas, destacan las siguientes:

- Óptica activa
- Placas de acero
- Sensores de frente de onda Shack-Hartmann
- Procesadores en tiempo real
- Láser de fibra óptica
- Sistemas de referencia temporal
- Sistemas de archivo de datos
- Observatorios virtuales
- Soportes criogénicos
- Contenedores térmicamente controlados



En los últimos 20 años, ESO ha acumulado una considerable experiencia práctica en el diseño y uso de criostatos de nitrógeno líquido para detectores CCD. Durante este periodo, ESO ha desarrollado un diseño estándar de criostato ampliamente usado en la organización. En vista de la aplicabilidad más amplia de esta tecnología, en 1999 ESO firmó un acuerdo con la compañía francesa SNLS para manufacturar y vender el recipiente de vacío de ESO bajo licencia.

Los programas educativos y de extensión de ESO



La astronomía posee un atractivo innato para gente de todas edades, en parte porque concierne a las grandes y fascinantes preguntas sobre «la vida, el Universo y todo», y en parte porque mucha de la información obtenida con telescopios puede presentarse como objetos de sensacional belleza. Desde hace muchos años ESO se ha involucrado en un programa muy activo de comunicación de ciencias, compartiendo con el público los vastos resultados científicos obtenidos gracias a los telescopios de ESO. En la medida de lo posible, ello se hace en todos los idiomas principales de los estados miembros de ESO y adoptando un enfoque multimedial.

Como parte de su misión, ESO participa en las principales exhibiciones, produce comunicados de prensa de alta calidad, folletos y libros, imágenes a partir de la información científica sin editar, material audiovisual, y proporciona servicios en la red.

Con su fuerte carácter multidisciplinario y poderoso atractivo público, la astronomía puede jugar un papel importante en la educación científica moderna. Los asombrosos resultados científicos de los telescopios de ESO proporcionan tesoros invaluables para los profesores de ciencias.

ESO ha sido la fuerza que lidera varios programas piloto de alto perfil, a menudo desarrollados en colaboración con socios que incluyen a la Comisión Europea. Estos esfuerzos son continuados y reforzados a través de actividades conjuntas EIROforum, con programas que apuntan a escolares, tales como *Vida en el Universo* y *Scitech* (¡no podía faltar!) y los programas *Física en Acción* y *Ciencia en Acción*, que están dirigidos a profesores europeos de ciencias. Con sus socios en EIROforum, ESO también publica la primera revista multidisciplinaria internacional de Europa para la enseñanza de ciencias, *Ciencia en la*

Escuela, y ha establecido una nueva escuela anual para profesores de ciencias.

ESO ha tenido un rol principal en la organización del Año Internacional de la Astronomía (IYA2009). El conteo final de países que participaron es de 148, confirmando que la red de IYA2009 es la más amplia alcanzada en ciencias. Más de 70 organizaciones internacionales participaron en las actividades de IYA2009, junto a 12 proyectos emblemáticos y 16 proyectos especiales. ESO fue sede del secretariado general de IYA2009 y dirigió varios proyectos emblemáticos.



Trabajar en ESO

Trabajar en ESO representa una labor estimulante en un entorno inclusivo, realmente internacional y multi-cultural, trabajando con tecnología de punta e investigación científica de primera línea, que hacen de ESO un lugar verdaderamente inspirador.

El personal en ESO está constituido por funcionarios internacionales, locales, *fellows*, estudiantes y asociados.

Los funcionarios internacionales representan un espectro amplio de profesiones que van desde científicos hasta ingenieros cualificados, técnicos y

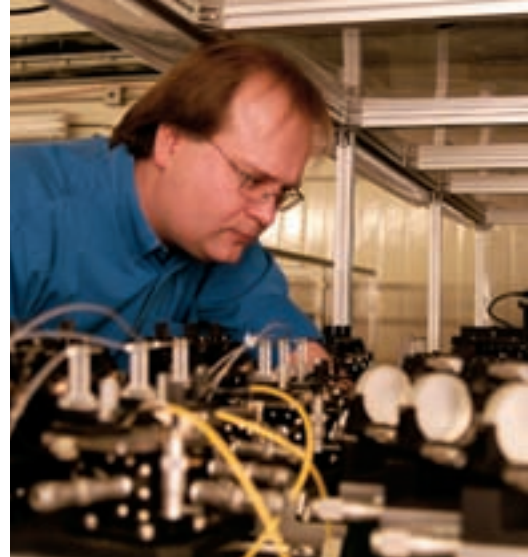


Personas en ESO: Jean-Michel Bonneau, Jefe del Departamento de Finanzas de ESO

«Antes de unirme a ESO en 1996 trabajé en diferentes áreas como controlador financiero, desde los Juegos Olímpicos de Invierno de 1992 en Albertville hasta una compañía discográfica en Provenza, Francia. Me alegro de haber venido a ESO con la oportunidad de trabajar para una organización con proyectos astronómicos únicos, con presupuestos de varios cientos de millones de euros, lo que obviamente requiere personal especializado en contabilidad y asuntos financieros. En el departamento de finanzas nos aseguramos de que los recursos financieros se usen de acuerdo con las directivas y regulaciones definidas por los órganos de gobierno de ESO. Siempre tenemos en cuenta que la continua financiación por parte de los estados miembros de ESO ha permitido la realización de las extraordinarias infraestructuras que hoy están a disposición de la comunidad.»

empleados administrativos. Los miembros asociados del personal trabajan en ESO con contratos de corto plazo para llevar a cabo tareas definidas en el campo de la investigación científica, o en tareas de apoyo técnico o administrativo.

Los *fellows* son científicos posdoctorales, contratados para promover sus carreras científicas. ESO les proporciona instalaciones de vanguardia para la observación astronómica y la posibilidad de obtener experiencia práctica mientras desarrollan activamente un programa de investigación. Las oportunidades de becas están disponibles para estudiantes inscritos en un PhD en astronomía o áreas asociadas. La duración del programa es de uno a dos años y apunta a mejorar los programas de posgraduados de las universidades de estados miembros. Las becas para *fellows* y estudiantes están disponibles tanto en la sede central de ESO en Garching o bien en Chile.





ESO es ...

- el observatorio astronómico más productivo del mundo;
- un punto de encuentro para los científicos de los estados miembros y un catalizador de ideas innovadoras;
- una vibrante organización con grandes proyectos futuros para la próxima generación de científicos;
- un socio activo de la industria;
- un socio activo en la educación y extensión científica;
- un puente científico y cultural entre Europa y Chile;
- un buen ejemplo de colaboración europea coronada por el éxito.

Cómo obtener información adicional

Sede de ESO
 Departamento de Educación y Extensión
 Karl-Schwarzschild-Straße 2
 85748 Garching bei München
 Alemania
 Teléfono +49 89 320 06-2 91

information@eso.org
 www.eso.org

www.eso.org

