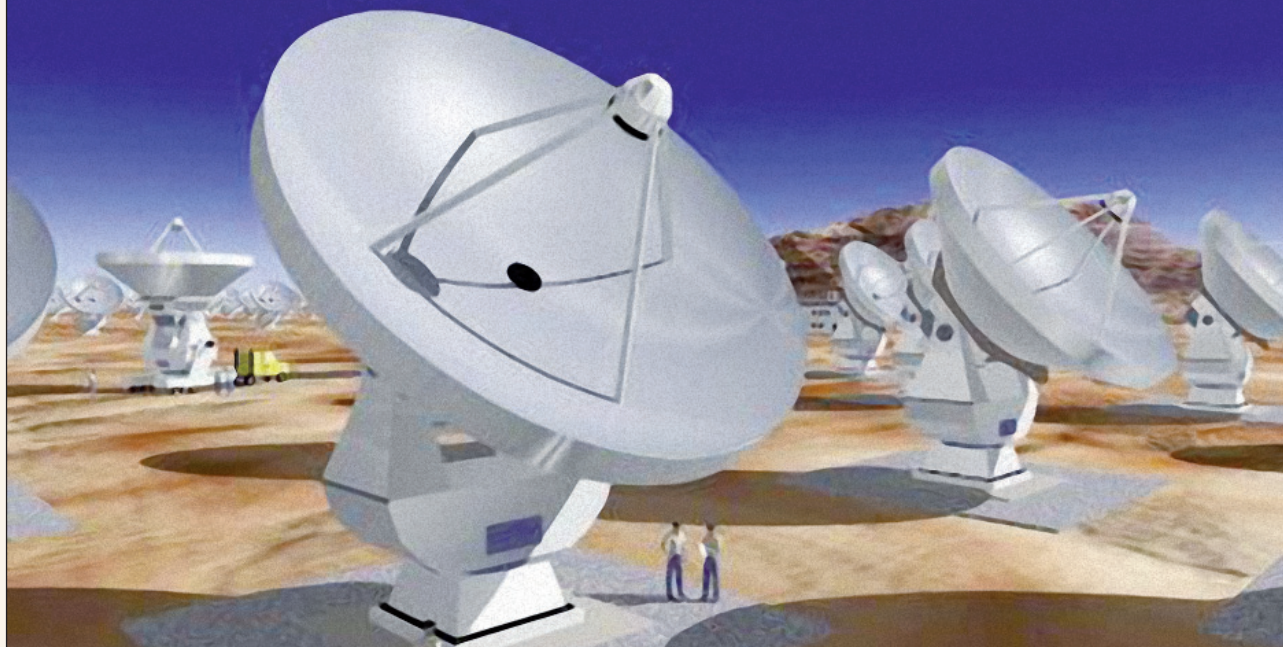


EL RADIO INTERFERÓMETRO DE ATACAMA



THE ATACAMA RADIO INTERFEROMETER

Recibido: 17/03/08

Aceptado: 09/06/08

Pascual Bolufer Mayans
Físico
Instituto Químico de Sarriá

Key words: *galaxies, radio telescope, high resolution, interferometer*

RESUMEN

Para profundizar en el conocimiento del Universo se está construyendo un radiotelescopio formado por un grupo de 62 antenas parabólicas, en el desierto de Atacama (Chile). El empleo de ondas milimétricas permitirá alcanzar las más lejanas galaxias.

Palabras clave: Galaxias, radiotelescopio, interferómetro, alta resolución

ABSTRACT

A better knowledge of the Universe will be obtained with the ALMA radio telescope in the Atacama (Chile) desert, an array of 62 parabolic aerials. The most faraway galaxies will be observed with the use of pinpoint waves.

1.- INTRODUCCIÓN

España participa en este proyecto como Miembro de ESO. Este radio interferómetro, de alto poder de resolución, es de ondas milimétricas y submilimétricas y no es sensible a los objetos celestes calientes. En Septiembre comenzó el ensamblado de la 1ª antena.

En **Chajnantor**, en el desierto de **Atacama** (Chile), a 5.104 m de altitud, junto a la frontera de Bolivia y Argentina se está construyendo un campo de 50 antenas parabólicas de 12 m de diámetro y un interferómetro compacto de 16 antenas de 7 m de diámetro, que será operativo en 2012.

El conjunto de antenas tendrá una resolución equivalente a una antena de 18 Km. de diámetro, 10 veces mejor que la del VLA, **Texas**, el mayor radio interferómetro actualmente en uso, para ondas centimétricas. Se aspira a una resolución de milésimas de arco-segundo.

La aridez de **Chajnantor** es sin igual en el planeta, tiene un aire extremadamente seco, que es precisamente lo que buscaban los astrofísicos. Así observarán el Universo en el infrarrojo lejano, situado entre el infrarrojo y las ondas de radio.

El campo de antenas tiene un nombre internacional: *Atacama Large Millimeter Array* (ALMA). Con una sensibilidad sin precedentes observará astros y regiones muy frías, a una temperatura entre -263°C y -173°C, en la banda 210-300GHz, ondas de aproximadamente 1 mm.

A esa temperatura se encuentra la mayoría de los objetos del Universo, una ventana óptica que hasta ahora no se podía usar.

Según **Máximo Tarengi**, director de ALMA, se trata de detectar todas las primeras galaxias, las que tienen un fuerte desplazamiento hacia el rojo, las más distantes. El se ha propuesto observar numerosas nubes moleculares, y comprender finalmente por qué se hunden sobre ellas mismas para formar las estrellas.

El radio interferómetro dirigirá sus antenas hacia los discos proto-

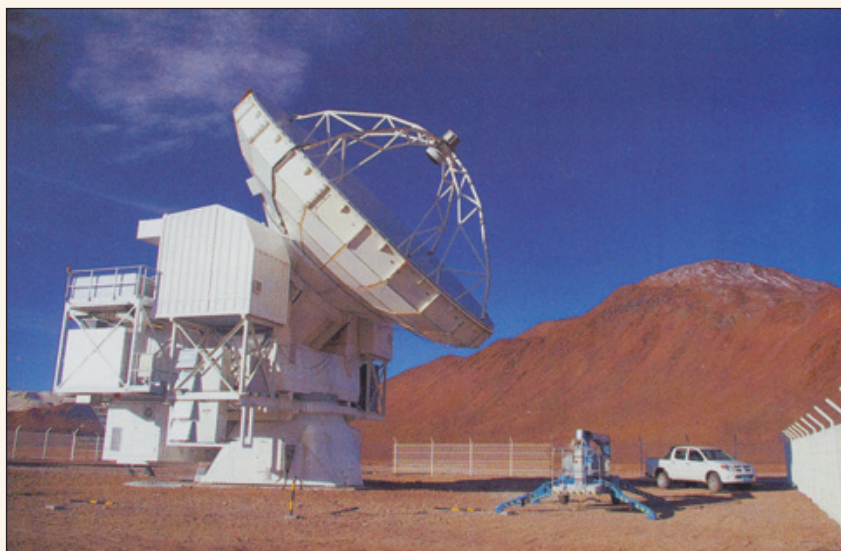


Foto 1. Antena Apex (Atacama Pathfinder Experiment) de 12 m de diámetro, en Chajnantor. Construida por Vertex, sirve para pruebas. Estudia la química del medio interestelar. Foto Vertex.

planetarios, para conocer cómo se van condensando los planetas a expensas del disco; conocer los surcos que forman en el disco los planetas recientemente formados.

Andreas Lundgren, del *European Southern Observatory* insiste en que ALMA no es sensible a los objetos celestes calientes, no es perturbado por el brillo de las estrellas, y podrá detectar directamente los exoplanetas.

Podremos ver planetas de una masa como la Tierra alrededor de las estrellas más próximas. Gracias a su espectrógrafo de alta resolución podrá analizar sus atmósferas en busca de indicios de vida.

ALMA podrá observar la misteriosa nube de **Oort**, ese globo helado que envuelve al sistema solar, reserva de millones de cometas, ignorados por nosotros. Un programa seductor.

El campo de antenas de **Chajnantor** es un gigante con 3 años de retraso, pues debería estar operativo el 2009. Dificultades de todo tipo, pero también políticas: Lo financian EE. UU., Europa y Japón. ¿Qué empresa construirá las 50 antenas, el contrato del siglo? Al fin se ha decidido que 25 antenas procederán de la americana *Vertex* y 25 de *Alcatel*, Francia.

Hay seguridades de que ambos lotes serán exactamente iguales en todo.

Durante el verano 2007 *Vertex* ha enviado las primeras antenas, que todavía hay que ensamblar en la OSF (*Operation Support Facility*), situada a 3.000 m de altitud, y a 28 km. de **Chajnantor**.

2.- A SOLO 500 MILIBARES DE PRESIÓN

Recordemos que a 5.000 m ninguna persona puede pernoctar durante periodos largos, sin riesgo personal. A esa altitud la atmósfera tiene una presión de 500 milibares. Por tal motivo se han construido unas instalaciones a 3.000 m para Hotel del personal científico.

El radio interferómetro es la instalación de mayor elevación del mundo. Según nos informan desde **Chajnantor**, hay riesgo de una embolia pulmonar, o cerebral. Por supuesto, hay diferencias notables entre personas: mientras un técnico como **Heiko Hafok**, necesita una botella de oxígeno para respirar a 5.000 m, otro, **Andreas Lundgren**, tolera bien la altitud, pero con frecuencia tiene dolores de cabeza.

No es posible construir a mayor altitud, porque la salud física del personal no tolera tan bajas presiones.

Es muy conocido entre la clase médica el "mal de altura" en los **Andes**, que disminuye el esfuerzo físico al subir el monte o trabajar. Una forma nada ortodoxa de disimular el "mal de altura" es el consumo de coca. Pero el remedio es peor que la enfermedad.

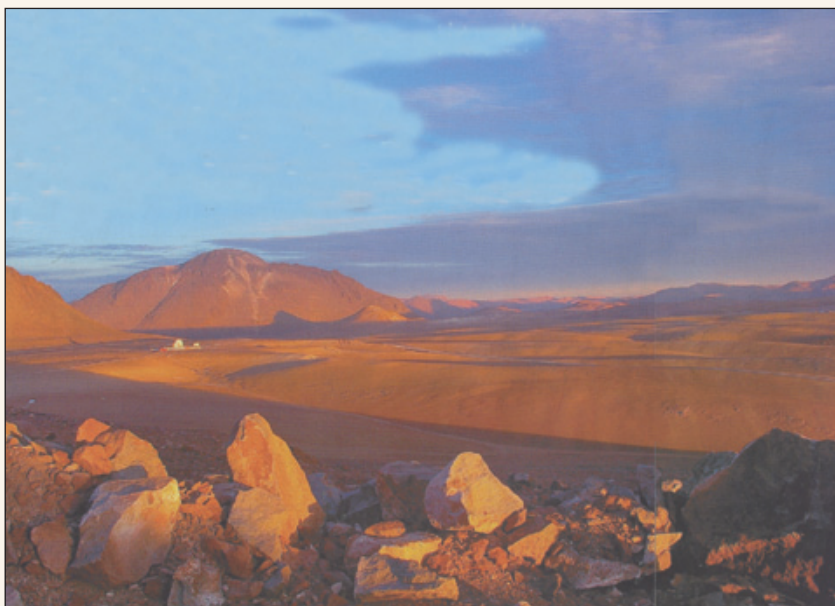


Foto 2. El desierto de Atacama. La aridez es máxima, que es lo que buscan los ingenieros que construyen el radio interferómetro. Al fondo se distingue la antena Apex. A su lado un pequeño edificio. Los técnicos no pueden pernoctar en lo alto de Atacama. El oxígeno es insuficiente.

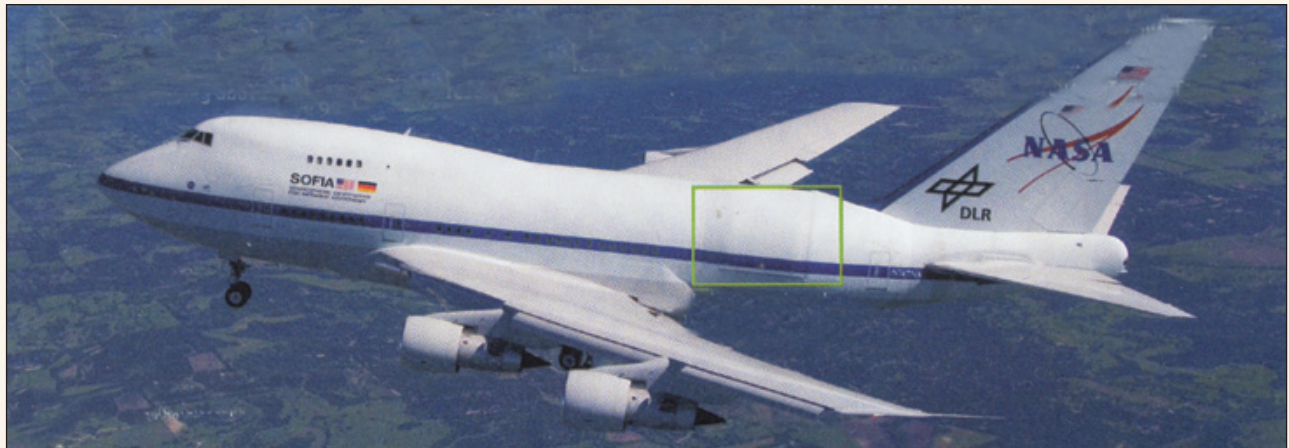


Foto 3. El jumbo que transporta el telescopio SOFIA. El recuadro verde muestra el portalón, que se abre, cuando funciona el telescopio. Se trata de observar en infrarrojo sin nada de vapor de agua. Foto NASA. Integrado por EE. UU. y Alemania, es un proyecto polémico por los costes. Hay que esperar los resultados.

El lector no especializado en Medicina aquí se pierde, porque en 1953 subió al **Everest** por primera vez el neozelandés **Edmund Hillary**, recientemente fallecido, acompañado del sher-

pa guía **Tenzing Norgay**, presupone- mos que con botellas de oxígeno.

Según **Michael Le Page** y **Claire Ainsworth**, especialistas en Fisiología Evolutiva, las aves tienen mejores

pulmones, que nosotros, porque el aire circula en una sola dirección, en cambio en los mamíferos el aire circula en dos direcciones. Así se explica el incidente en 1975, cuando un motor reactor de un avión tragó un buitre, mientras volaba a 11.264 m.

En **Chajnantor** a 5.000 m, los 500 milibares son un problema constante. De igual forma que el avión comercial necesita la cabina presurizada, allí ya están construyendo dormitorios presurizados, para los que no pueden descender a OSF, el hotel de los 3.000 m.

Los trabajadores a 5.000 m hacen una jornada de 9 horas durante 20 días al mes y 10 días de descanso. Así están aclimatados a la altura. El visitante no está aclimatado, por lo que tiene más problemas.

3.- EL PODER DE RESOLUCIÓN

Dos objetos celestes muy próximos se pueden estudiar por separado, si el telescopio es de alta resolución.

Es un viejo problema, que estudió en el siglo XIX Sir **George Airy** (1801-1892), *Real Astrónomo* de Inglaterra, y resolvió con la fórmula, hoy clásica:

$$\text{Sen } A = 1.22 \text{ } \lambda / D$$

Nos interesa que el ángulo de visión (A) del telescopio, sea lo más



Foto 4. Nebulosa del Águila, en nuestra galaxia. Una columna de gas hidrógeno molecular y de polvo actúa como incubadora de nuevas estrellas. Para la luz visible la columna de polvo es opaca, en cambio es casi transparente para las microondas e igualmente para las ondas de radio de mayor longitud de onda. El radiotelescopio penetra más profundamente en el Universo que el telescopio óptico.



Foto 5. El paraboloide de 100 m de diámetro, de Green Bank, West Virginia, EE. UU. es el mayor del mundo totalmente orientable. Puede captar señales muy débiles, pero no tiene el poder de resolución del interferómetro de Chajnantor.

estrecho posible. Eso se puede lograr disminuyendo la longitud de onda (L) y/o aumentando al máximo posible el diámetro del telescopio.

El diámetro del telescopio tiene unos límites que no podemos sobrepasar. Baste recordar la reciente inauguración del Gran Telescopio de Canarias, con 10 m de diámetro.

Sin entrar en matemáticas, en ciertos casos (una red de antenas) se puede aumentar el diámetro efectivo de un telescopio empleando series de telescopios más pequeños. El ejemplo más conocido es el VLA, de **Nuevo México**, con 27 antenas, que se pueden extender en forma de "Y", de 36 Km. de ancho. De este modo el diámetro de apertura efectivo es de 36 Km., y confiere al VLA una reso-

lución de 3×10^{-7} rad. Esto es comparable, en óptica, a poder leer el renglón final de un cartel de agudeza visual a 7 Km. de distancia.

El primer interferómetro fue el de **Mullard**, en **Cambridge**, seguido del VLA citado, y de innumerables radio interferómetros por todo el mundo.

Según declaraciones de **Massimo Tarengi**, director de **Chajnantor**, a **Paola Catapano**, del CERN, Ginebra, en Septiembre pasado, en **Chajnantor** las antenas se colocarán, o bien formando una configuración compacta de 150 m de diámetro, o bien a lo largo de una larga línea de base de 3 Km. de longitud.

Las antenas se trasladarán de un lugar a otro usando una plataforma móvil con capacidad de carga de 150 Tm.

Las dos configuraciones tienen sus ventajas e inconvenientes. Hasta ahora las antenas de un radio interferómetro modificaban sus distancias a base de desplazarlas sobre raíles. En **Chajnantor** los raíles no les sirven.

4.- INTERFEROMETRIA EN INFRARROJO

En **Chajnantor** no parten de cero, y aprovechan la experiencia acumulada en otros observatorios. Hay varios intentos de observar ondas centimétricas y algún intento en las milimétricas. Pero ni de lejos se parece al Proyecto ALMA. Eso sí, siempre han buscado un lugar con el mínimo de vapor de agua, es decir, lugares exóticos.

Algunos ejemplos:

- **CARMA (Combined Array for Research in Millimeter-wave Astronomy)**.

Es un interferómetro de 23 antenas en un monte a 2.196 m de altitud al este de **Owens Valley**, (EE. UU.) muy seco.

Ahora es el radio interferómetro de mayor éxito. No por sus dimensiones, superado por el VLA, de **Nuevo México**, sino por su diseño, con radiotelescopios de diversos tamaños y características: 9 telescopios de 6 m, 8 telescopios de 3.5 m (que observan en la frecuencia de 22 GHz), y 6 telescopios de 10.4 m.

Normalmente observan en las frecuencias de 80-115 GHz y 210-270 GHz. Estas frecuencias son útiles para detectar gases moleculares (incluido el monóxido de carbono) en el Universo. El CO es un indicador indirecto del hidrógeno molecular, una molécula muy abundante y de difícil detección.

- **NANTEN 2 Observatory**

A una altitud de 4.800 m, en **Pampa la Bola**, en el desierto de **Atacama**, muy cerca de **Chajnantor**. El radiotelescopio funciona en las frecuencias 110 hasta 880 GHz, en observaciones milimétricas y submilimétricas. Depende de las Universidades de **Nagoya** y **Osaka** (Japón), *Seoul National University*



Foto 6. Los pedestales de 3 antenas, construidas en Europa, llegan en camiones a Atacama. Julio 2007.

(Corea del Sur). *Köln Universität* (Alemania) y la Universidad de Chile.

• **SOFIA (*Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy*).**

Es un proyecto conjunto de EE.UU. y de Alemania, todavía no operativo, pero ya realiza vuelos de pruebas. Comenzó el 26 de abril 2007. Un *Jumbo* (Boeing 747SP) adaptado, como base de un telescopio de 2,5 m. de diámetro y de un peso de 22.500 kg. Es el mayor observatorio aerotransportado. Para observar se abre el portalón del avión, y el telescopio está en contacto directo con la estratosfera. Se consigue un porcentaje de vapor de agua, prácticamente cero.

El portalón abierto afecta al pilotaje del avión, y la cámara del telescopio queda despresurizada.

SOFIA pretende competir con el telescopio en órbita *Spitzer*, en el infrarrojo.

El primer vuelo con el portalón abierto ocurrirá a mediados de 2.008 sobre el desierto de **Mojave**. Después de un año de observaciones con el portalón abierto, el Proyecto SOFIA concluye.

El telescopio es óptico, no de radio, y no habrá problemas para la banda del infrarrojo cercano, pero habrá que ver, si pueden observar en el infrarrojo lejano, que es el objeto de **Chajnantor**.

• **SOUTH POLE TELESCOPE**

Es un radio telescopio de 10 m de diámetro, para microondas. El disco dispone de calefacción. Transportar el instrumento al Polo Sur obliga a superar muchas dificultades, pero la Antártica es muy seca, y durante 6 meses se puede observar un objeto celeste, sin que quede oculto bajo el horizonte.

Un radiotelescopio puede observar un objeto celeste cerca del horizonte, pero un telescopio óptico tiene problemas, debido a la refracción atmosférica.

La finalidad primaria es observar la polarización de los ondas del CMB, cuando el Universo tenía solo 400.000 años y el efecto **Sunyaev-**

Sin entrar en matemáticas, en ciertos casos (una red de antenas) se puede aumentar el diámetro efectivo de un telescopio empleando series de telescopios más pequeños



En cuanto al planeta Plutón, han descubierto que está 10 kelvin más frío de lo esperado

Zeldovich en dicha emisión, pero sus observaciones serán muy útiles para ALMA. Esperamos sus primeras observaciones.

Es una actividad del Año Polar Internacional 2007-2008.

• PLATEAU DE BURE

A 2.550 m de altitud el *Institut de Radio Astronomie Millimétrique* francés utiliza un interferómetro de 6 antenas, para estudiar la línea de emisión del gas molecular y el espectro continuo de radio del polvo frío. Observa en la frecuencia de 100 GHz (3 mm). El poder de resolución es de 45 arcosegundos. La humedad relativa no permite la observación milimétrica.

• MAUNA KEA (Hawai)

Es el mejor observatorio, por no decir, el único, de ondas submilimétricas.

El *Smithsonian Astrophysical Observatory* ha construido un conjunto de 8 antenas, de 6 m de diámetro en la cumbre del volcán. Reúne las condiciones de muy baja humedad.

En **Mauna Kea** hay además, el telescopio **James Clerk Maxwell**, de

15 m de diámetro, y el *California Submillimeter Observatory*, de 10.4 m. Ambos telescopios pueden formar un interferómetro de 10 antenas con las 8 antenas ya citadas. Operan en la banda 230-345 GHz.

Estudian las transiciones rotacionales de docenas de moléculas y la emisión de espectro continuo de granos de polvo interestelar. Son nubes moleculares que están formando estrellas. Pueden observar polvo y gas a temperaturas tan bajas, como unas pocas decenas de Kelvin sobre el cero absoluto. Ese polvo emite radiación con longitud de onda entre unos pocos centímetros de micrómetros y unos pocos milímetros. Las observaciones se refieren a nuestra galaxia y otras, incluso muy desplazadas hacia el rojo.

Aunque las antenas pueden funcionar día y noche, prefieren la observación nocturna, porque la atmósfera está más estable. Las frecuencias accesibles al interferómetro van de 180 a 700 GHz.

En cuanto al planeta Plutón, han descubierto que está 10 kelvin más frío de lo esperado.

Es de suponer que **Chajnantor** superará a todas las instalaciones submilimétricas anteriores.

5.- BIBLIOGRAFÍA

- Ainsworth C. Lungs's bad ventilation. *New Scientist*, 11 august 2007.
- Clery D. South Pole Telescope. *Science*, 16 march 2007.
- Kanipe J. In a galaxy not so far away. *Nature*. 5 april 2007.
- Lichtman J. Exploring the radio sky. *Sky & Telescope*. January 2005.
- Longstaff A. The Allen Telescope Array. *Cosmos* 2006.
- Martin E. Le géant de l'Atacama s'éveille. *Ciel & Espace*. Juin 2007.
- Sears F. Física Universitaria, Vol. 2. Pearson 2005.
- Tresch R. SOFIA takes flight. *Sky & Telescope*. August 2007.
- Van Kampen E. The origin of galaxies:exploring with the new infrared-millimetre facilities. *ESF* 2007. ■