

RADIOTELESCOPIOS



Radiotelescopios

Resumo:

Nesta unidade introdúcense os alumnos no estudo dos radiotelescopios mediante a comparación destes cos telescopios ópticos, a explicación do seu funcionamento e a descrición das súas partes.

Para achegar os estudantes a este mundo propónse unha práctica elemental de radiotelescopios baseada na utilización dunha radio doméstica para escoitar as emisións do planeta Xúpiter.

Contidos:

Como funciona un telescopio

Telescopios terrestres: Os telescopios ópticos
Os telescopios de rexións "invisibles"
Como funciona un radiotelescopio?

As antenas

As dimensións

Importancia da Radioastronomía

A Radioastronomía do futuro

Mellor resolución angular

Maior sensibilidade

Lonxitudes de onda pouco estudadas: Interferometría de moi larga base espacial
Interferometría milimétrica: SMA y ALMA

Práctica de Radiotelescopio Elemental: ouvir a voz de Xúpiter

Bibliografía

Nivel:

Segundo ciclo de ESO e Bacharelato

Referencia:

Actividades Sencillas de Astrofísica, Publicaciones ApEA nº5 Junio 2003

Taller de Astronomía, Akal ediciones (Madrid, 1996).

Autores:

Juan Ángel Vaquerizo Gallego

Proyecto Académico con el Radio Telescopio de
NASA en Robledo, Centro de Astrobiología (INTA-CSIC)

Ricardo Moreno Luquero

Colaboradores:

Manuel Baixauli Sanchis



Coordinadora apuntamentos pedagóxicos "Con A de Astrónomas":

Josefina F. Ling (Universidade de Santiago)

Axudantes de maquetación e tradución:

Surinye Olarte Vives, Alejandra Díaz Bouza



Ella es una Astrónoma



RADIOTELESCOPIOS

Escrutan o ceo captando as ondas electromagnéticas de baixa frecuencia.



Fig. 1: o radiotelescopio de Owens Valley, en California. O paraboloide de 40m de diámetro, con montura altoacimutal, traballa con ondas comprendidas entre un centímetro e un metro.

O OLLO HUMANO é sensible a unha banda moi estreita das ondas electromagnéticas: a comprendida entre 0,4 e 0,8 μm , que se denomina banda da luz visible e que constitúe a chamada "xanela óptica" ao cosmos, a única utilizable até fai unhas poucas décadas. Pero, en realidade, as ondas electromagnéticas esténdense desde as brevísimas lonxitudes de onda dos raios gamma (da orde de mil millonésimas de milímetro) até os miles de metros das ondas de raio. A fotografía, en uso astronómico desde hai pouco máis dun século, ademais de ofrecer outras moitas vantaxes ampliará un pouco a "xanela óptica". Para captar as ondas moi curtas, como os raios gamma e X, que quedan completamente bloqueadas pola atmosfera, foi preciso esperar até o inicio da era espacial. A "xanela raio", pola súa banda, que se estende en lonxitude de onda desde un milímetro até unha decena de metros, tras as observacións pioneiras dos anos 30 comezou a abrirse hai apenas corenta anos, coa aparición dos radiotelescopios.

Como funciona un telescopio

Telescopios terrestres

Os telescopios ópticos

Un telescopio é un instrumento que recolle a luz dun obxecto e reconstrúe a súa imaxe nun punto chamado *foco*. Os telescopios ópticos poden ser *reflectores*, se utilizan espellos para controlar o camiño dos raios de luz, ou *refractores*, se o que usan son lentes.

Os telescopios son, basicamente, instrumentos deseñados para recoller fotóns. Por este motivo, en Astronomía necesítanse telescopios moi grandes, para que poidan recoller a maior cantidade posible de luz. A cantidade de luz que unha lente ou un espello é capaz de recoller depende da súa superficie, que, se d é o seu diámetro, segue a relación:

$$S = \left(\frac{\pi}{4}\right)d^2$$

O **poder de captación de luz** (LGP das siglas en inglés *Light Gather Power*) dun telescopio é, por tanto, proporcional ao cadrado do seu diámetro. Este valor é relativo e úsase para comparar dous instrumentos e saber canta luz recolle un máis que outro. Por exemplo, se queremos comparar un telescopio cun obxectivo de 50cm de diámetro co noso ollo, cuxa pupila ten un diámetro aproximado de 0,5cm, podemos dicir que o telescopio ten un poder de recollida de luz de:

$$LGP = (50/0.5)^2 = 100^2 = 10\,000, \text{ con respecto ao ollo humano.}$$

Unha segunda característica importante dos telescopios é o seu **poder de resolución (PR)**. Esta é a facultade que ten un telescopio de mostrar claramente separados dous obxectos que están

xuntos no ceo. Adoita estar expresada en función do ángulo mínimo que debe haber entre dous obxectos no ceo para que a súa imaxe apareza claramente separada:

$$PR = \frac{1}{\theta_{\min}}$$

onde θ_{\min} é o ángulo mínimo que se pode resolver, ou a resolución do telescopio.

O poder de resolución depende de dous parámetros: do diámetro do obxectivo (canto máis grande, maior poder de resolución) e da lonxitude de onda observada (canto máis pequena, maior poder de resolución), de maneira que:

$$\theta_{\min} = 206265 \cdot \frac{\lambda}{d} \quad (1)$$

O valor de 206.265 é o número de segundos de arco nun radián, λ é a lonxitude de onda e d é o diámetro do obxectivo medido nas mesmas unidades que a lonxitude de onda.

Por exemplo, un telescopio de 10cm, traballando a unha lonxitude de onda de 5000 Å (lonxitude de onda do centro do rango visible), sería capaz de resolver un ángulo:

$$\theta_{\min} = 206265 \cdot \frac{5 \times 10^{-7}}{0.1} = 1.03 \text{ arc sec}$$

Con todo, hai que ter en conta tamén o *patrón de difracción* producido por unha apertura circular. Cando a luz se atopa cun obstáculo, nos extremos do mesmo prodúcense fenómenos de interferencia construtiva e destrutiva, aparecendo franxas escuras e claras no que se coñece como patrón de difracción. O efecto desta difracción é unha diminución do poder de resolución, ao que hai que multiplicar, no rango óptico, por un factor 1,22 para obter o poder de resolución real. No exemplo anterior, o resultado que teremos será, en lugar de 1,03 segundos de arco, 1,25 segundos de arco.

Isto quere dicir que se un telescopio de 10cm apunta a dúas estrelas que están separadas máis de 1,25 segundos de arco e obsérvaas no rango visible, teoricamente estas diferenciaranse perfectamente na imaxe, véndose claramente que hai dúas estrelas distintas.

Nas observacións reais, os efectos da atmosfera teñen unha importancia fundamental, xa que a turbulencia atmosférica impide alcanzar o poder de resolución teórico. Se non existise esta turbulencia as estrelas observaríanse en direccións fixas e ben definidas. Con todo, dentro da atmosfera, o aire móvese en celas dunhas decenas de centímetros, provocando que os raios de luz procedentes das estrelas se torzan e se desvíen. Por este motivo, ao observar unha estrela cun telescopio de diámetro maior de 10cm, os raios de luz que cheguen ao obxectivo pasarían por celas turbulentas distintas, o que fará que cada un sexa desviado dunha maneira diferente. Por tanto, en lugar de percibir un único punto, observarase unha mancha extensa que é o resultado da superposición de múltiples imaxes en movemento. O tamaño desta mancha será o que realmente determine a resolución do telescopio. Este efecto denomínase *seeing* ou *visibilidade*.

Os telescopios das rexións "invisibles"

A observación das lonxitudes de onda "invisibles" desde a Terra está condicionada principalmente polas xanelas atmosféricas. Son poucas as rexións, á parte da rexión óptica, que non son absorbidas pola atmosfera terrestre. As lonxitudes de onda curtas, como os raios gamma, X e UV, son absorbidas na *ionosfera* e na *estratosfera* (capa de ozono), impedindo calquera observación deste rango desde a superficie terrestre. Parte da radiación infravermella é absorbida polo vapor de auga e o CO₂, que está localizado na zona da atmosfera máis próxima á Terra, polo que existen algúns telescopios infravermellos situados nas cimas das altas montañas.

Como funciona un radiotelescopio?

Os principios básicos de funcionamento dun radiotelescopio son moi similares aos dos telescopios ópticos reflectores. Os tipos máis comúns de radiotelescopios están compostos por un gran prato que actúa de reflector das ondas de raio, focalizándoas nun punto que contén os detectores de radiofrecuencias.

A pequena corrente producida pola radiación concentrada no foco amplifícase nun receptor de raio, de forma que poida ser medida e rexistrada. A continuación empréganse filtros electrónicos para amplificar selectivamente determinados intervalos de frecuencia que se denominan habitualmente bandas. Mesmo se poden utilizar complexas técnicas de procesamento de datos para detectar simultaneamente miles de estreitas bandas de frecuencias. Desta forma pódese analizar a distribución espectral da radiación. Como veremos máis adiante, a intensidade relativa da radiación en distintas frecuencias e a súa polarización permítenos pescudar moitas cousas sobre a natureza das fontes de ondas de raio.

Os radiotelescopios teñen un baixo poder de resolución. Se lembramos a sección anterior, a resolución era directamente proporcional á lonxitude de onda dividido entre o diámetro do colector de fotóns. As ondas de raio teñen unha lonxitude de onda tipicamente cen mil veces *maior* que a luz visible, polo que, se un radiotelescopio tivese o mesmo diámetro que un telescopio óptico, o seu poder de resolución sería tamén cen mil veces *menor*.

Por exemplo, para que un radiotelescopio tivese o mesmo poder de resolución que un telescopio óptico de 5m, o seu diámetro debería ser cen mil veces o diámetro deste telescopio, é dicir, ao redor de 500km. Evidentemente, isto non é factible pero os radioastrónomos buscaron unha solución ao problema da resolución angular: a *interferometría*.

Óptico de 5m con $\lambda \approx 5 \text{ \AA}$ por (1) teríamos: $\theta_{\min} = 206265 \cdot \frac{5 \times 10^{-7}}{5} = 0.0206265 \text{ arc sec}$

Raio con $\lambda \approx 0.05\text{m}$ y $\theta_{\min} = 0.0206265 \text{ arc sec}$ teremos:

$$d = 206265 \cdot \frac{\lambda}{\theta_{\min}} = 206265 \cdot \frac{0.05}{0.0206265} = 500000\text{m} = 500\text{km}$$

As antenas

Un radiotelescopio componse esencialmente dun colector de ondas de raio e dun receptor situado no foco do colector, de forma análoga ao telescopio óptico, onde o obxectivo fai as veces de colector e o ollo provisto dun ocular ou a cámara fotográfica ou electrónica fan as veces de receptor. O colector do radiotelescopio non se chama obxectivo, senón antena, e pode consistir nunha fileira de dipolos (como as antenas correntes de televisión) ou nun paraboloide

metálico (ás veces tamén unha superficie esférica ou cilíndrica).

A superficie colectora dun radiotelescopio adoita ter forma de paraboloide de revolución. Esta superficie actúa como un espello, de forma que as ondas planas que lle chegan da fonte reflíctense nela e son enviadas cara ao denominado foco primario.

A forma paraboloide da superficie colectora permite filtrar interferencias procedentes doutras fontes ás que non se está apuntando, xa que as ondas que non incidan frontalmente coa devandita superficie non serán reflectidas cara ao foco primario.

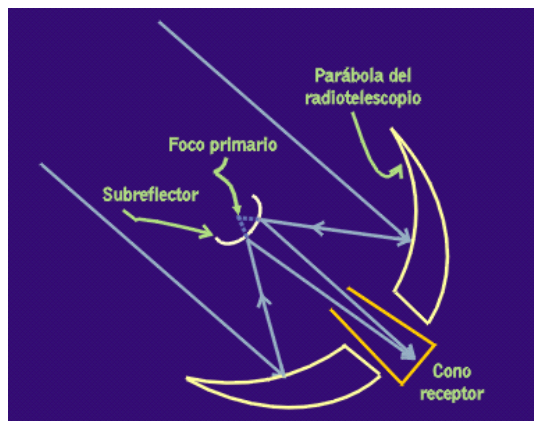


Fig. 2: camiño das ondas nunha antena ata o receptor.

Nos telescopios máis simples o receptor está situado no foco primario e desde alí o sinal pasa cara aos instrumentos ópticos que a analizan. Con todo, en telescopios máis grandes, nos que hai receptores para varias bandas, a disposición máis usada é a que se presenta na figura 2, denominada *Cassegrain*. Nesta disposición no lugar do foco primario sitúase o *subreflector*, que ten forma de hiperboloide de revolución e volve reflectir as ondas enviándoas cara aos conos receptores, situados na base do primeiro reflector. Deste xeito facilítase o acceso á instrumentación do receptor para o seu mantemento e reparación, e permítese que soporte un peso maior por estar nun punto máis estable.

Posto que as ondas electromagnéticas "non ven" buracos de dimensións inferiores á súa lonxitude de onda, unha antena para ondas decimétricas ou métricas pode estar constituída por unha estrutura reticular cunha armazón convenientemente aberta.



Fig. 3: O gran radiotelescopio de Arecibo (Porto Rico). O colector, de 305m de diámetro, está constituído por 27.000 paneis de aluminio densamente perforados para permitir a drenaxe da auga de choiva. O instrumento está orientado cara ao cént, pero o receptor que, sostido por tres alicerces atópase no foco do colector, pódese desprazar lateralmente para poder observar até unha distancia de 20° do cént. Polas súas grandes dimensións, este instrumento é adecuado para ser utilizado como transmisor en estudos con radar.

Algunhas antenas están orientadas ao meridiano e só se poden facer virar en altura para apuntalas cara ás distintas declinacións. Con instrumentos deste tipo, un obxecto celeste determinado só se pode observar cando transita polo meridiano e, por tanto, só por breves momentos cada 24 horas sidéreas.

Nótese neste sentido que as ondas de raio non son detidas polas nubes nin sofren os efectos da luz difusa, polo que é posible efectuar observacións radiotelescópicas co ceo cuberto, á luz do día e a pleno Sol.

Os paraboloides máis pequenos adoitan estar montados ecuatorialmente, mentres que os máis grandes teñen montura altocimutal.

Neste segundo caso, a partir das coordenadas ecuatoriais e do tempo sidéreo, un computador

procede a calcular a altura e o acimut do astro para orientar o radiotelescopio e a partir de entón vai imprimindo, instante por instante, as oportunas velocidades de rotación con respecto aos dous eixes para seguir o movemento diúrno da esfera celeste.

As dimensións

Como no caso dos telescopios ópticos, a potencia do instrumento crece proporcionalmente coa superficie do colector. Con todo, os radiotelescopios poden alcanzar dimensións moito maiores. A razón diso compréndese deseguido se se ten en conta a diferente precisión de elaboración requirida para a superficie reflectora que, en calquera dos seus puntos, non pode diferir da superficie ideal (por exemplo, dun paraboloide) en máis dunha décima da lonxitude de onda. En caso contrario, o resultado é unha diminución da capacidade de resolución e da potencia.

Para os telescopios ópticos, que traballan con ondas de $0,5\ \mu\text{m}$, a precisión requirida é da orde dunha dezmilésima de milímetro, e mesmo menos. En cambio, para un radiotelescopio con antena paraboloide que traballe, supoñamos, con ondas de 10cm , bastará con que a antena non difira da superficie perfecta en máis dun centímetro. As modernas técnicas de construción poden asegurar esta precisión mesmo sobre superficies metálicas dun centenar de metros de diámetro. O maior radiotelescopio do mundo é o "fixo" de Arecibo (Porto Rico), cun colector esférico de 305m de diámetro. Os xigantescos instrumentos orientables teñen montura altoacimutal porque facer virar semellantes estruturas ao redor de eixes oblicuos con respecto ao plano horizontal exporía problemas de moi difícil e custosa solución.



Fig. 4: O radiotelescopio de Effelsberg (Alemaña). Tamén a montura deste instrumento é altoacimutal. O casquete máis interno (de 60m de diámetro), que en ningún punto difire en máis de $0,6\text{mm}$ do paraboloide ideal, utilízase para as ondas milimétricas. A superficie completa utilízase para ondas comprendidas entre 6 e 92cm .

Importancia da Radioastronomía

A Radioastronomía foi a principal protagonista da evolución dos coñecementos astronómicos no transcurso dos últimos trinta anos. Lembremos, por exemplo, a revelación dos brazos espirais da Vía Láctea mediante a observación da radiación de 21cm do hidróxeno ou o descubrimento dos quásars e os púlsars. Ao non ser bloqueadas polo po difundido no espazo interestelar, as ondas de raio permitiron observar a rexión central da Vía Láctea, que permanece oculta á observación óptica. A Radioastronomía permitiu, así mesmo, comezar a penetrar nos segredos das grandes e frías nubes moleculares que poboan os brazos espirais da galaxia, revelando a presenza de numerosas moléculas orgánicas que, a tan baixa temperatura, só emiten radiacións milimétricas e centimétricas. A entrada en funcionamento nos últimos anos de telescopios para ondas milimétricas permitiu descubrir no medio interestelar moléculas de óxido de carbono, de ácido cianhídrico, de metilamina, de alcol metílico, de alcol etílico e outras moitas máis.

A Radioastronomía do futuro

A Radioastronomía segue avanzando e, continuamente, expónse a novos proxectos para abordar retos científicos máis ambiciosos. Os radiotelescopios que se construírán nas próximas décadas superarán os actuais en varios aspectos:

- *Mellor resolución angular:*

Permitirá estudar o Universo cada vez con maior detalle. Por exemplo, no caso de sistemas solares en formación, gustaríanos poder distinguir o nacemento de planetas individuais. Para lograr mellorar a resolución angular necesitamos interferómetros con liñas de base (separacións entre antenas) moi grandes, lonxitudes de onda curtas, ou ambas.

- *Mayor sensibilidad:*

Para detectar fontes moi débiles, por ser moi afastadas, frías, ou de pequeno tamaño. Neste caso, necesitaremos interferómetros con superficies colectoras (é dicir, a área total de todas as antenas) moi grandes, ou unha combinación de moitas antenas que equivalla a unha superficie moi grande.

- *Lonxitudes de onda pouco estudadas:*

Hai fenómenos físicos interesantes ou determinadas moléculas que emiten en certas lonxitudes de onda. Con todo, hai lonxitudes de onda que son difíciles de observar, como ocorre co rango submilimétrico (lonxitudes de onda inferiores a 1mm), porque a atmosfera é pouco transparente a elas. Varios radiotelescopios futuros tentarán estudar estas ondas submilimétricas.

Presentamos a continuación algúns proxectos que intentan abordar estes obxectivos:

Interferometría de moi longa base espacial

Xa mencionamos que coa interferometría se conseguen resolucións espaciais equivalentes ás que conseguiría unha antena cuxo diámetro fose o mesmo que a maior distancia entre antenas do interferómetro. Por tanto, realizando interferometría cos radiotelescopios cos que hoxe contamos (sobre a superficie da Terra), a maior liña de base que podemos conseguir será igual ao diámetro da Terra.

Se queremos obter liñas de base maiores, para mellorar a resolución angular, debemos utilizar radiotelescopios situados no espazo.

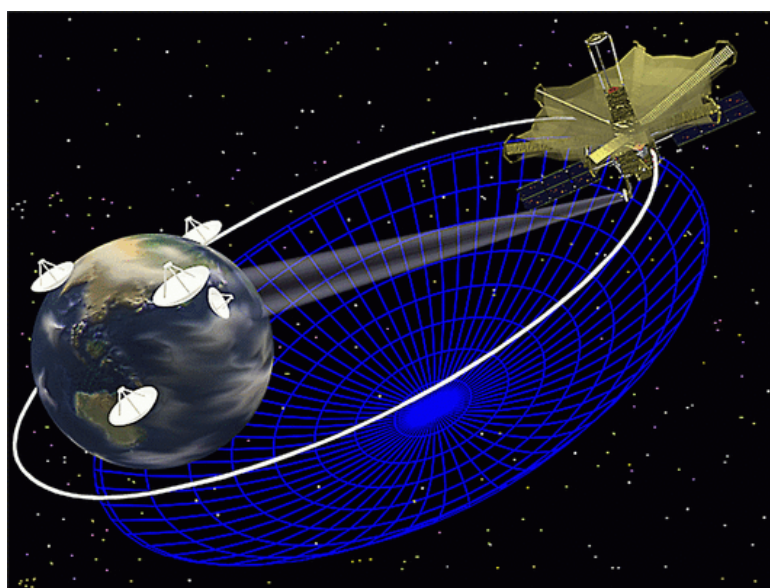
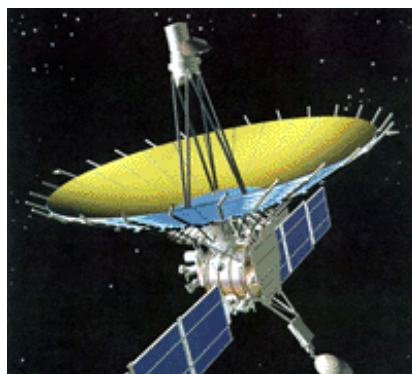


Fig. 5: representación do satélite HALCA en órbita. Cortesía do JPL e ISAS.

O primeiro proxecto de interferometría espacial VSOP - VLBI Space Observatory Programme) xa levou a cabo con éxito entre os anos 1997 e 2002. Consistiu na posta en órbita do satélite xaponés HALCA (ver fig.5), cun radiotelescopio de 8m que contaba con receptores de entre 1,3 e 18cm. Realizando observacións coordinadas con radiotelescopios terrestres, conseguíronse resolucións angulares de até 50 microsegundos. Se os nosos ollos tivesen esa resolución poderíamos ver desde Madrid unha moeda dun céntimo que estivese en Barcelona e distinguir perfectamente todos os detalles do debuxo da Catedral de Santiago que aparece na moeda.

Nos próximos anos lanzaranse ao espazo novos radiotelescopios, como:

- RadioAstron. É un proxecto ruso para pór en órbita unha antena de 10m, cuxo lanzamento está previsto para o 2006.
- VSOP2. Proxecto xaponés que sería a continuación de VSOP-HALCA. A antena espacial será de 10m e o lanzamento está previsto para o 2007. Espérase conseguir unha sensibilidade 10 veces mellor que con VLSOP.
- ARISE (ver fig.1.16). É un proxecto estadounidense que consiste nunha antena inchable de 25m, que conseguirá superar en 50 veces a sensibilidade de VSOP. Esta antena traballará en lonxitudes de onda entre 3mm e 6cm e espérase conseguir unha resolución angular de 10 microsegundos O seu lanzamento está previsto para 2008.



Interferometría milimétrica: SMA e ALMA

Estes ambiciosos proxectos pretenden abordar os tres retos que mencionamos anteriormente: mellorar a resolución angular, aumentar a sensibilidade e explorar lonxitudes de onda pouco estudadas.

- "Submillimeter Array" (SMA) (ver fig.7). É un proxecto desenvolvido polo Smithsonian Astrophysical Observatory (EUA) e o Instituto de Astronomía e Astrofísica da Academia Chinesa de Ciencias (Taiwán). O proxecto actual contempla a construción de 8 antenas de 6m na cima do volcán extinto Mauna Kea, en Hawai, onde xa se atopa un importante observatorio con outros 12 telescopios. SMA traballará en lonxitudes de onda de entre 350 micras e 3mm, e logrará resolucións de 0,1 segundos. A finais de 2002, 4 das antenas xa estaban en funcionamento, e publicáranse os primeiros resultados científicos obtidos. Espérase que para finais de 2003 as 8 antenas se atopen xa a pleno rendemento.



Fig. 7: catro das antenas de SMA. Ao fondo, algúns dos telescopios de Mauna Kea. Cortesía de Smithsonian Astrophysical Observatory.

- "Atacama Large Millimeter Array" (ALMA)(ver fig.8). Hai uns 15 anos, institucións de diferentes países atopábanse desenvolvendo proxectos de similares características, todos eles co obxectivo de construír un grande interferómetro milimétrico-submilimétrico nalgún lugar do hemisferio sur. Así, o National Radio Astronomy Observatory (EUA) preparaba o seu proxecto *Millimeter Array*, mentres que Europa e Xapón desenvolvían o *Large Southern Array* e o *Large Millimeter and Submillimeter Array*, respectivamente. Evidentemente, é moito máis interesante axuntar esforzos e financiamento económico para construír un instrumento tres veces mellor que tres instrumentos iguais competindo por estudar o mesmo. Finalmente, a lóxica impúxose e iniciouse o proxecto conxunto ALMA, no que participan institucións de diferentes países, incluído o Ministerio de Ciencia e Tecnoloxía de España. Segundo a versión actual do proxecto, ALMA contará con 64 antenas de 12m que traballarán con lonxitudes de onda de entre 350 micras e 4mm. As primeiras operacións están previstas para o 2007. [Nesta páxina](#) pódense ver vídeos con simulacións do ALMA en movemento.

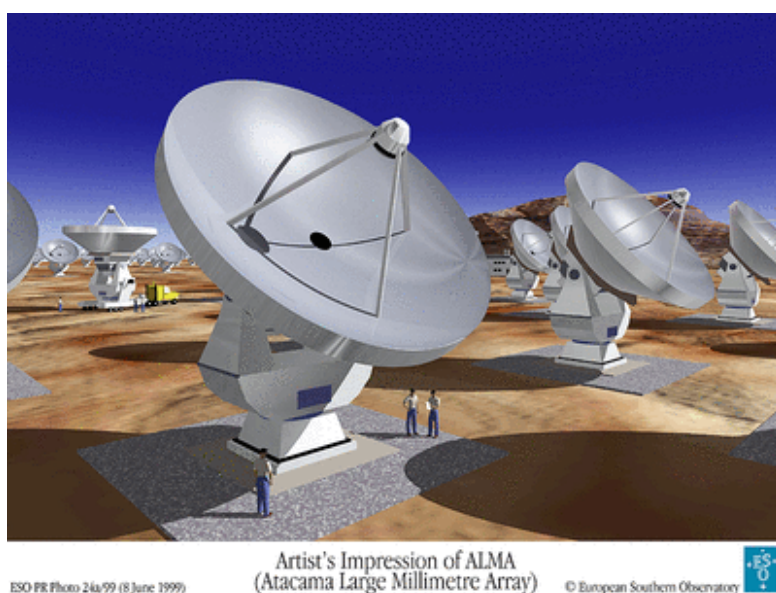


Fig. 8: representación do interferómetro ALMA. Cortesía do European Southern Observatory.

As lonxitudes de onda inferiores a 1mm constitúen o elo entre as ondas de raio e as infraverme-llas (1 a 100 micras). Observar estas ondas submilimétricas supón superar moitas dificultades técnicas. En primeiro lugar, para este rango do espectro electromagnético, a atmosfera terrestre xa non é tan transparente como para as ondas de raio máis longas. As moléculas da atmosfera, fundamentalmente as de auga, teñen unha especial predilección por absorber estas ondas. Só para unhas determinadas zonas do espectro submilimétrico a transparencia da atmosfera aumenta o suficiente como para poder observar desde terra. Son as chamadas xanelas *submilimétricas*. Pero aínda no caso destas xanelas, a opacidade da atmosfera é bastante grande.

Por tanto, non todos os lugares son igual de adecuados para construír un radiotelescopio submilimétrico. Para minimizar a absorción atmosférica deben buscarse lugares secos e a grande altitude. Desta forma, conseguiremos que por encima do radiotelescopio exista o menor número posible de moléculas de auga que poidan absorber a radiación.

No caso dos dous proxectos que mencionamos nesta sección, o SMA estase construíndo en Mauna Kea a unha altitude de 4000m ([aquí](#) pódese ver a imaxe de Mauna Kea neste momento, aínda que é probable que cando mires, alí sexa de noite), mentres que ALMA situarase nos Chairas de Chajnantor, unha meseta de Ándelos chilenos na zona do [deserto de Atacama](#) (o máis seco do mundo), a 5000m.

ALMA será, con moita diferenza, o observatorio máis potente en lonxitudes de onda submilimétricas. Poderá alcanzar unha resolución angular de 50 milisegundos en 800 micras. Esta resolución é suficiente para poder distinguir planetas individuais en formación ao redor doutras estrelas.

Práctica de radiotelescopio elemental:

Ouvir a voz de Xúpiter

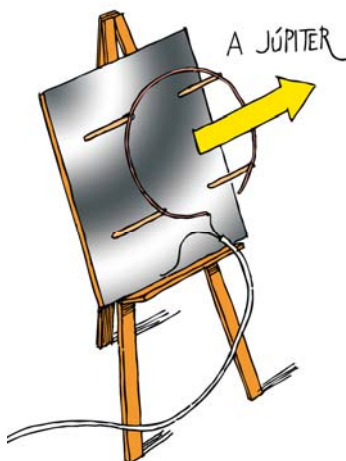
Obxectivo: Escoitar as emisións de radio do planeta xigante.

Material:

- Radio doméstica que teña Onda Curta (SW), con dial que chegue até 18-22 MHz.
- T65 m de arame de cobre rixido.
- Catro paus de madeira duns 30cm de longo.
- Un ferro de madeira de 60 x 60cm.
- Papel de aluminio.
- Cable coaxial (do que se usa nas antenas de TV).

Procedemento:

1. Xúpiter emite ondas de raio en varias frecuencias. Non está clara a súa procedencia, pero parece que teñen que ver co seu campo magnético e tamén coa súa lúa, o. Unha emisión é na banda de frecuencias de 18 a 22 MHz, cun máximo en 21 MHz. Eses valores entran dentro da capacidade de bastantes receptores caseiros. Deben ter Onda Curta (SW) e chegar o dial a eses valores.
2. As emisións de Xúpiter non son continuas. Ten tres chorros máis ou menos equidistantes que viran co planeta cada dez horas. Ademais, eses chorros ás veces están activos e ás veces non. Igual que noutros campos, en Astronomía a paciencia é unha virtude.
3. Sintoniza a radio nalgún punto desa banda en que non haxa moito ruído de fondo e espera. As emisións soan como ondas de mar nunha praia, que chegarán cunha frecuencia dun tres por segundo, aproximadamente. A súa intensidade crece até un máximo que dura algúns minutos —ou segundos ás veces—, e despois decae. A experiencia di que se estás 20 minutos á escóitaa tes unha probabilidade entre seis de ouvilas. Como é lóxico, Xúpiter debe estar no ceo, aínda que non lle interfíren as nubes.
4. A propia antena da radio é adecuada, aínda que é omnidireccional, e captará ondas que procedan de todas as direccións. Se se quere mellorar a escoita e, ademais, asegurar que procede de Xúpiter hai que construír unha antena direccional que substitúa a normal.
5. Colle 165cm de arame de cobre, e fai unha circunferencia con ela sen pechala. Suxéitaa a catro paus de 30cm de lonxitude. Forra unha madeira de 60 x 60cm por unha cara con papel de aluminio. Crava nela a circunferencia de cobre. Colle un cable coaxial de antena e conecta o cable interior á circunferencia de cobre, e a malla exterior ao aluminio. Conecta o outro extremo á antena da radio. Por último, dirixe a antena cara a Xúpiter.



Material adicional

- "Experimentos para todas las edades", R. Moreno e L. Cano, editorial Rialp, Madrid 2008
- Instrumentos y Métodos, P Tempesti Astronomía Video ORBIS-FABRI 1992
- Proyecto Académico con el Telescopio de la Nasa en Robledo- Partner (LAEFF-INTA)

<http://www.laeff.inta.es/partner/>