

RADIOTELESCOPIS



RadioTelescopis

Resum

En aquesta unitat s'introdueix als alumnes a l'estudi dels radiotelescopis mitjançant la comparació d'aquests amb els telescopis òptics, l'explicació del seu funcionament i la descripció de les seves parts.

Per tal d'apropar aquest món als estudiants es proposa una pràctica elemental de radiotelescopis basada en la utilització d'una radio domèstica per escoltar les emissions del planeta Júpiter.

Continguts:

Com funciona un telescopi

Telescopis terrestres: Els telescopis òptics
Els telescopis de regions "invisibles"
¿Com funciona un radiotelescopi?

Les antenes

Les dimensions

Importància de la Radioastronomia

La radioastronomia del futur

Millor resolució angular

Millor sensibilitat

Longituds d'ona poc estudiades: Interferòmetre de molt llarga base espacial
Interferometria mil·limètrica: SMA i ALMA

Pràctica de Radiotelescopi Elemental: Sentir la veu de Júpiter

Bibliografia

Nivell:

Segon cicle d'ESO y batxillerat

Referència:

Actividades Sencillas de Astrofísica, Publicaciones ApEA nº5 Junio 2003

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

Autors:

Àngel Vaquerizo Gallego

Projecte Acadèmic amb el Radio Telescopi de
NASA a Robledo, Centre d'Astrobiologia (INTA-CSIC)



Ricardo Moreno Luquero



Coordinadora apunts pedagògics "Con A de Astrónomas":

Josefina F. Ling (Universitat de Santiago)

Ajudants de maquetació y traducció:

Surinye Olarte Vives, Alejandra Díaz Bouza



RADIOTELESCOPIS

Esscruten el cel captant les ones electromagnètiques de baixa freqüència.



Fig. 1.- El radiotelescopi de Owens Valley, a Califòrnia. El paraboloide de 40 m de diàmetre, amb muntura altazimutal, treballa amb ones compreses entre un centímetre i un metre.

L'ULL HUMÀ és sensible a una franja molt estreta de les ones electromagnètiques: la compresa entre 0,4 i 0,8 μm , que es denomina franja de la llum visible i que constitueix l'anomenada "finestra òptica" al cosmos, l'única utilitzable fins fa unes poques dècades. Però en realitat, les ones electromagnètiques s'estenen des de les brevíssimes longituds d'ona dels rajos gamma (de l'ordre de mil·lionèsimes de mil·límetre) fins als mils de metres de les ones de radio. La fotografia, en un astronòmic des de fa poc més d'un segle, a més d'oferir molts avantatges d'altres tipus havia ampliat una mica la «finestra òptica». Per a captar les ones molt curtes, com els rajos gamma i X, que queden completament bloquejades per l'atmosfera, ha estat precis esperar fins al inici de la era espacial.

La "finestra radio", per la seva part, que s'estén en longitud d'ona des d'un mil·límetre fins a una desena de metres, després de les observacions pioneres dels anys 30 ha començat a obrir-se fa uns quaranta anys, amb l'aparició dels radiotelescopis.

Com funciona un telescopi

Telescopis terrestres

Els telescopis òptics

Un telescopi és un instrument que recull la llum d'un objecte i reconstrueix la seva imatge en un punt anomenat *focus*. Els telescopis òptics poden ser *reflectors*, si utilitzen miralls per a controlar el camí dels rajos de llum, o *refractors*, si el que utilitzen són lents.

Els telescopis són, bàsicament, instruments dissenyats per a recollir fotons. Per aquest motiu, a l'astronomia es necessiten telescopis molt grans, per a que puguin recollir la quantitat més gran possible de llum. La quantitat de llum que una lent o un mirall és capaç de recollir depèn de la seva superfície, que, si d és el seu diàmetre, segueix la relació:

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

El **poder de captació de llum** (LGP de las sigles en anglès *Light Gather Power*) d'un telescopi és, per tant, proporcional al quadrat del seu diàmetre. Aquest valor és relatiu i s'utilitza per a comparar dos instruments i saber quanta llum recull un més que un altre. Per exemple, si volem comparar un telescopi amb un objectiu de 50 cm de diàmetre amb el nostre ull, la pupila del qual té un diàmetre aproximat de 0,5 cm, podem dir que el telescopi té un poder de recollida de llum de :

$$LGP = (50/0.5)^2 = 100^2 = 10\,000, \text{ respecte a l'ull humà.}$$

Una segona característica important dels telescopis és el seu *poder de resolució (PR)*. Aquesta és la facultat que té un telescopi de mostrar clarament separats dos objectes que estan junts al cel. Acostuma a estar expressada en funció de l'angle mínim que ha d'haver entre dos objectes al cel per a que la seva imatge aparegui clarament separada:

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

On θ_{\min} és l'angle mínim que es pot discernir, o la resolució del telescopi.

El poder de resolució depèn de dos paràmetres: del diàmetre de l'objectiu (quan més gran, més poder de resolució) i de la longitud d'ona observada (com més petita, més gran serà el poder de resolució), de manera que:

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

El valor de 206265 és el nombre de segons d'arc en un radian, λ és la longitud d'ona i d és el diàmetre de l'objectiu mesurat en les mateixes unitats que la longitud d'ona.

Per exemple, un telescopi de 10 cm, treballant a una longitud d'ona de 5000 Å (longitud d'ona del centre del rang visible), seria capaç de discernir un angle:

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

Tot i això, s'ha de tenir en compte també el patró de difracció produït per una obertura circular. Quan la llum es troba amb un obstacle, en els extrems d'aquest es produeixen fenòmens d'interferència constructiva i destructiva, apareixent franges fosques i clares al que es coneix com a patró de difracció. L'efecte d'aquesta difracció és una disminució del poder de resolució, que s'ha de multiplicar, en el rang òptic, per un factor 1.22 per a obtenir el poder de resolució real. En l'exemple anterior, el resultat que tindrem serà llavors, en comptes de 1.03 segons d'arc, de 1.25 segons d'arc.

Això vol dir que si un telescopi de 10 cm apunta a dos estels que estan separats més de 1.25 segons d'arc i els observa en el rang visible, teòricament aquests es diferenciarien perfectament en la imatge, veient-se clarament que hi ha dos estels diferents.

A les observacions reals, els efectes de l'atmosfera tenen una importància fonamental, deguda a que la turbulència atmosfèrica impedeix arribar al poder de resolució teòric. Si no existís aquesta turbulència les estrelles s'observarien en direccions fixes i ben definides. Però dins l'atmosfera l'aire es mou en cel·les d'unes desenes de centímetres, provocant que els rajos de llum procedents de les estrelles es torcin i es desviïn. Per aquest motiu, a l'observar una estrella amb un telescopi de diàmetre més gran de 10 cm, els rajos de llum que arribin a l'objectiu hauran passat per cel·les turbulentes diferents, el que farà que cada un hagi estat desviat d'una manera diferent. Per tant, en lloc de percebre un únic punt, s'observarà una taca extensa que és el resultat de la superposició de múltiples imatges en moviment. La mida d'aquesta taca serà el que realment determini la resolució del telescopi. Aquest efecte es denomina *seeing* o *visibilitat*.

Els telescopis de les regions “invisibles”

L’observació de les longituds d’ona “invisibles” des de la Terra està condicionada principalment per les finestres atmosfèriques. Són poques les regions, a part de la regió òptica, que no són absorbides per l’atmosfera terrestre. Les longituds d’ona curtes, com els rajos gamma, X i UV, són absorbides a la ionosfera i a la estratosfera (capa d’ozó), impedit qualsevol observació d’aquest rang des de la superfície terrestre. Part de la radiació infraroja és absorbida per el vapor d’aigua i el CO₂, que està localitzat a la zona de l’atmosfera més propera a la Terra, per el que existeixen alguns telescopis infrarojos situats als cims de les muntanyes.

¿Com funciona un telescopi?

Els principis bàsics de funcionament d’un radiotelescopi són molt similars als dels telescopis òptics reflectors. Els tipus més comuns de radiotelescopis estan compostos per un gran plat que actua de reflector de les ones de radio, focalitzant-les en un punt que conté els detectors de radiofreqüències.

El petit corrent produït per la radiació concentrada en el focus s’amplifica en un receptor de radio, de forma que pugui ser mesurat i registrat. A continuació s’utilitzen filtres electrònics per amplificar selectivament determinats intervals de freqüència que es denominen habitualment *bandes*. Inclús es poden utilitzar tècniques complexes de processament de dades per a detectar simultàniament mils de bandes estretes de freqüències. D’aquesta forma es pot analitzar la distribució espectral de la radiació. Com veurem més endavant, la intensitat relativa de la radiació en diferents freqüències i la seva polarització ens permet esbrinar moltes coses sobre la natura de les fonts d’ones de radio.

Els radiotelescopis tenen un baix poder de resolució. Si recordem la secció anterior, la resolució era directament proporcional a la longitud d’ona dividida entre el diàmetre del recol·lector de fotons. Les ones de radio tenen una longitud d’ona típicament cent mil vegades més gran que la llum visible, per el que, si un radiotelescopi tingués el mateix diàmetre que un telescopi òptic el seu poder de resolució seria també cent mil vegades *menor*.

Per exemple, per a que un radiotelescopi tingués el mateix poder de resolució que un telescopi òptic de 5 m, el seu diàmetre hauria de ser cent mil vegades el diàmetre d’aquest telescopi, és a dir, al voltant de 500 Km. Evidentment, això no és factible però els radioastrònoms han buscat una solució al problema de la resolució angular: la *interferometria*.

Òptic de 5m amb $\lambda \approx 5 \text{ Å}$ per (1) tindriem: $\theta_{\min} = 206265 \cdot \frac{5 \times 10^{-7}}{5} = 0.0206265 \text{ arc sec}$

Radi amb $\lambda \approx 0.05\text{m}$ i $\theta_{\min} = 0.0206265 \text{ arc sec}$ tindrem:

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

Les Antenes

Un radiotelescopi es compon essencialment d’un col·lector d’ones de radio i d’un receptor situat al focus del col·lector, de forma anàloga al telescopi òptic, on l’objectiu fa de col·lector i l’ull amb l’ocular o la càmera fotogràfica o electrònica fa de receptor. El col·lector de radiotelescopi no s’anomena objectiu, sinó antena, i pot consistir en una fila de dipòls (com les antenes de televisió) o en un paraboloide metàl·lic (de vegades també una superfície esfèrica o cilíndrica).

La superfície col·lectora d'un radiotelescopi acostuma a tenir forma de paraboloi-
de de revolució. Aquesta superfície actua
com un mirall, de manera que les ones
planes que li arriben de la font es reflectei-
xen en ella i són enviades cap a
l'anomenat *focus primari*.

La forma paraboloide de la superfície
col·lectora permet filtrar interferències
procedents de altres fonts a les que no
s'està apuntant, ja que les ones que no
incideixin frontalment amb la superfície
no seran reflectides cap al focus primari.

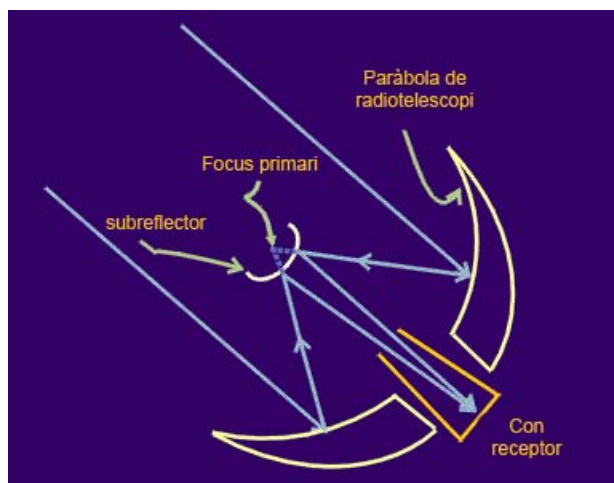


Fig. 2. Camí de les ones en una antena fins al receptor.

Als telescopis més simples el receptor està situat al focus primari i des d'allí la senyal passa cap als instruments òptics que l'analitzen. Però, als telescopis més grans, en els que hi ha diferents bandes, la disposició més utilitzada és la que es presenta a la figura 2, denominada *Cassegrain*. En aquesta disposició en el lloc del focus primari es situa el *subreflector*, que té forma de hiperboloide de revolució i torna a reflectir les ones enviant-les cap als cons receptors, situats a la base del primer reflector. D'aquesta manera es facilita l'accés a la instrumentació del receptor per al seu manteniment i reparació, i es permet que aguantí un pes més gran per estar en un punt més estable.

Com que les ones electromagnètiques “no veuen” forats de dimensions inferiors a la seva longitud d'ona, una antena per a ones decimètriques o mètriques pot estar constituïda per una estructura reticular amb un entramat convenientment obert.



Fig. 3. El gran telescopi d'Arecibo (Puerto Rico). El col·lector, de 305 m de diàmetre, està constituït per 27.000 panells d'alumini densament perforats per a permetre el drenatge de l'aigua de la pluja. L'instrument està orientat cap al zenit però el receptor que, sostingut per tres pilars es troba en el focus del col·lector, es pot desplaçar lateralment per poder observar fins una distància de 20° del zenit. Per les seves grans dimensions, aquest instrument és adequat per a ser utilitzat com a transmissor en estudis amb radar..

Algunes antenes estan orientades al meridià i només es poden fer girar a altura per apuntar-les cap a les diferents declinacions. Amb instruments d'aquest tipus, un objecte celest determinat només es pot observar quan transita per el meridià i, per tant, només per breus moments cada 24 hores sidèries.

S'ha de notar en aquest sentit que les ones de radio no són detingudes per els núvols ni sofreixen els efectes de la llum difusa, pel que és possible efectuar observacions radiotelescòpiques amb el cel cobert, a la llum del dia i a ple sol.

Els paraboloides més petits solen estar muntats equatorialment, mentre que els més grans tenen muntura altazimutal.

En aquest segon cas, a partir de les coordenades equatorials i del temps sideri, un ordinador procedeix a calcular l'altura i l'azimut de l'astre per orientar el radiotelescopi i a partir d'aleshores va imprimint, instant per instant, les velocitats de rotació oportunes respecte als dos eixos per a seguir el moviment diürn de l'esfera celeste.

Les Dimensions

Com en el cas dels telescopis òptics, la potència de l'instrument creix proporcionalment amb la superfície del col·lector. Tot i amb això, els radiotelescopis poden arribar a tenir dimensions molt més grans. La raó d'això s'entén de seguida si es té en compte la diferent precisió d'elaboració requerida per la superfície reflectant que, en qualsevol dels seus punts, no pot diferir de la superfície ideal (per exemple, d'un paraboloide) en més d'una dècima de la longitud d'ona. En cas contrari, el resultat és una disminució de la capacitat de resolució i de la potència.

Per als telescopis òptics, que treballen amb ones de 0,5 μm , la precisió requerida és de l'ordre d'una deu-mil·lèsima de mil·límetre, i inclús menys. En canvi, per un radiotelescopi amb antena paraboloide que treballi, suposem, amb ones de 10 cm, n'hi haurà prou amb que l'antena no difereixi de la superfície perfecta en més d'un centímetre. Les tècniques modernes construcció poden assegurar aquesta precisió inclús sobre superfícies metàl·liques d'un centenar de metres de diàmetre. El radiotelescopi més gran del món és el "fix" d'Arecibo (Puerto Rico), amb un col·lector esfèric de 305 m de diàmetre.

Els instruments gegantescos orientables tenen muntura altazimutal perquè fer girar tals estructures al voltant d'eixos oblics respecte al pla horitzontal plantejaria problemes de solució molt difícil i costosa.



Fig. 4. El radiotelescopi d'Effelsberg (Alemanya). També la muntura d'aquest instrument és altazimutal. El casquet més intern (de 60 m de diàmetre), que en cap punt difereix en més de 0.6 mm del paraboloide ideal, s'utilitza per a les ones mil·limètriques. La superfície completa s'utilitza per ones compreses entre 6 i 92 cm.

Importància de la Radioastronomia

La radioastronomia ha estat la principal protagonista de l'evolució dels coneixements astronòmics en el decurs dels últims trenta anys. Recordem, per exemple, la revelació dels braços espirals de la Via Làctia mitjançant l'observació de la radiació de 21 cm del hidrogen o el descobriment dels quàsars i els púlsars. Al no ser bloquejades pel pols difós a l'espai interestel·lar, les ones de ràdio han permès observar la regió central de la Via Làctia, que roman oculta a l'observació òptica. La radioastronomia ha permès, també, començar a penetrar als secrets dels núvols moleculars grans i freds que poblen els braços espirals de la galàxia, revelant la presència de nombroses molècules orgàniques que, a tan baixa temperatura, només emeten radiacions mil·limètriques i centimètriques. L'entrada en funcionament en els últims anys de telescopis per a ones mil·limètriques ha permès descobrir en el medi interestel·lar molècules d'òxid de carboni, d'àcid cianhídric, de metilamina, d'alcohol metílic, d'alcohol etílic i moltes altres més.

La radioastronomia del futur

La radioastronomia segueix avançant i, contínuament, es plantegen nous projectes per a abordar reptes científics més ambiciosos. Els radiotelescopis que es construiran en les properes dècades superaran als actuals en diferents aspectes:

- *Millor resolució angular:*

Permetrà estudiar l'Univers cada cop amb més detall. Per exemple, en el cas de sistemes solars en formació, ens agradaria poder distingir el naixement de planetes individuals. Per a arribar a

millorar la resolució angular necessitem interferòmetres amb línies de base (separacions entre antenes) molt grans, longituds d'ona curtes, o ambdues.

- *Més sensibilitat:*

Per a detectar fonts molt dèbils, per ser molt llunyanes, fredes, o de mida petita. En aquest cas, necessitem interferòmetres amb superfícies col·lectores (és a dir, l'àrea total de totes les antenes) molt grans, o una combinació de moltes antenes que equivalgui a una superfície molt gran.

- *Longituds d'ona poc estudiades:*

Hi ha fenòmens físics interessants o determinades molècules que emeten en certes longituds d'ona. Però hi ha longituds d'ona que són difícils d'observar, com passa amb el rang submil·limètric (longituds d'ona inferiors a 1 mm), perquè l'atmosfera és poc transparent a elles. Diferents radiotelescopis futurs intentaran estudiar aquestes ones submil·limètriques.

Presentem a continuació alguns projectes que intenten abordar aquets objectius:

Interferometria de molt llarga base espacial

Ja hem dit que amb la interferometria s'aconsegueixen resolucions espacials equivalents a la que aconseguiria una antena el diàmetre de la qual fos el mateix que la distància més gran entre antenes del interferòmetre. Per tant, realitzant interferometria amb els radiotelescopis amb els que avui contem, (sobre la superfície de la Terra), la major línia de base que podem aconseguir serà igual al diàmetre de la Terra.

Si volem obtenir línies de base més grans, per a millorar la resolució angular, hem d'utilitzar radiotelescopis situats a l'espai.

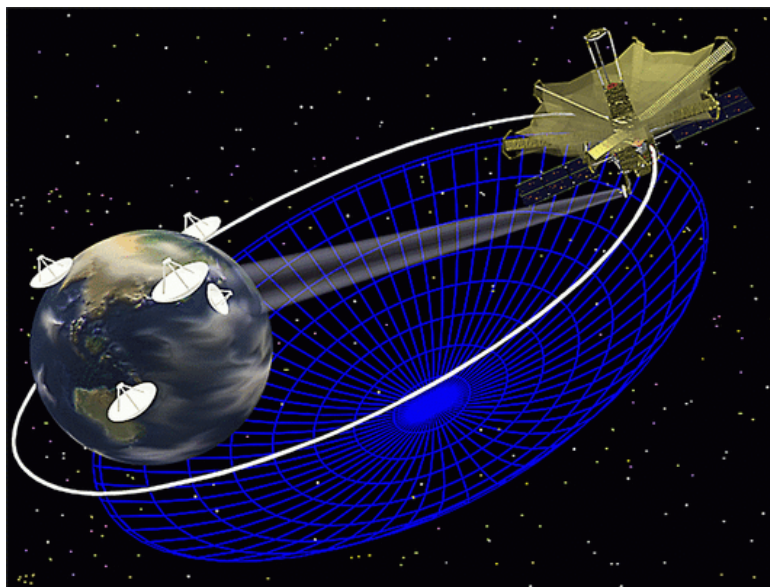


Fig. 5. Representació del satèl·lit HALCA en òrbita. Cortesia de JPL e ISAS.

El primer projecte d'interferometria espacial (VSOP - VLBI Space Observatory Programme) ja és va realitzar amb èxit entre els anys 1997 i 2002. Va consistir en la posada en òrbita del satèl·lit japonès HALCA (fig.5), amb un radiotelescopi de 8 m que contava amb receptors d'entre 1.3 i 18 cm. Realitzant observacions coordinades amb radiotelescopis terrestres, es van aconseguir resolucions angulars de fins 50 microsegons. Si els nostres ulls tinguessin aquesta resolu-

ció podríem veure des de Madrid una moneda d'un cèntim que estigués a Barcelona i distingir perfectament tots els detalls del dibuix de la Catedral de Santiago que apareix a la moneda.

En els propers anys es llançaran a l'espai nous radiotelescopis, com:

- RadioAstron. És un projecte rus per a posar en òrbita una antena de 10 m, el llançament de la qual està previst pel 2006.
- VSOP2. Projecte japonès, que seria la continuació de VSOP-HALCA. L'antena espacial serà de 10 m. I el llançament està previst per 2007. S'espera aconseguir una sensibilitat 10 vegades millor que amb VLSOP.
- ARISE (fig.1.16). És un projecte nord-americà que consisteix en una antena inflable de 25 m, que aconseguirà superar en 50 vegades la sensibilitat del VSOP. Aquesta antena treballarà amb longituds d'ona entre 3 mm i 6 cm i s'espera aconseguir una resolució angular de 10 microsegons. El seu llançament està previst pel 2008.

Interferometria mil·limètrica: SMA i ALMA

Aquests ambiciosos projectes pretenen abordar els tres reptes que hem mencionat anteriorment: millorar la resolució angular, augmentar la sensibilitat i explorar longituds d'ona poc estudiades.

- "Submillimeter Array" (SMA) (fig.7). És un projecte desenvolupat per el Smithsonian Astrophysical Observatory (EE.UU.) i l'Institut d'Astronomia i Astrofísica de l'Acadèmia Xina de Ciències (Taiwan). El projecte actual contempla la construcció de 8 antenes de 6 m al cim del volcà extint Mauna Kea, a Hawaii, on ja es troba un important observatori amb altres 12 telescopis SMA treballarà amb longituds d'ona entre 350 micres i 3 mm, i aconseguirà resolucions de 0.1 segons. A finals del 2002, 4 de les antenes ja estaven en funcionament, i s'han anat publicant els primers resultats científics obtinguts. S'espera que a finals del 2003 les 8 antenes es trobin ja a ple rendiment.



Fig. 7. Quatre de les antenes de SMA. Al fons, alguns dels telescopis de Mauna Kea. Cortesia de Smithsonian Astrophysical Observatory.

- "Atacama Large Millimeter Array" (ALMA)(fig.8). Fa uns 15 anys, institucions de diferents països es trobaven desenvolupant projectes de característiques semblants, tots ells amb l'objectiu de construir un gran interferòmetre mil·limètric-submil·limètric en algun lloc de l'hemisferi sud. Així, el National Radio Astronomy Observatory (EEUU) preparava el seu projecte Millimeter Array, mentre que Europa i Japó desenvolupaven el *Large Southern Array* i el *Large Millimeter and Submillimeter Array*, respectivament. Evidentment, és molt més interessant unificar esforços i finançament econòmic per a construir un instrument tres cops millor que tres instruments iguals competint per estudiar el mateix. Finalment la lògica es va imposar i es va iniciar el projecte conjunt ALMA, en el que participen institucions de diferents països, inclòs el Ministeri de Ciència i Tecnologia d'Espanya. Segons la versió actual del projecte, ALMA contarà amb 64 antenes de 12 m que treballaran amb longituds d'ona entre 350 micres i 4 mm. Les primeres operacions estan previstes per el 2007. En [aquesta pàgina](#) pots veure vídeos amb simulacions d' ALMA en moviment.

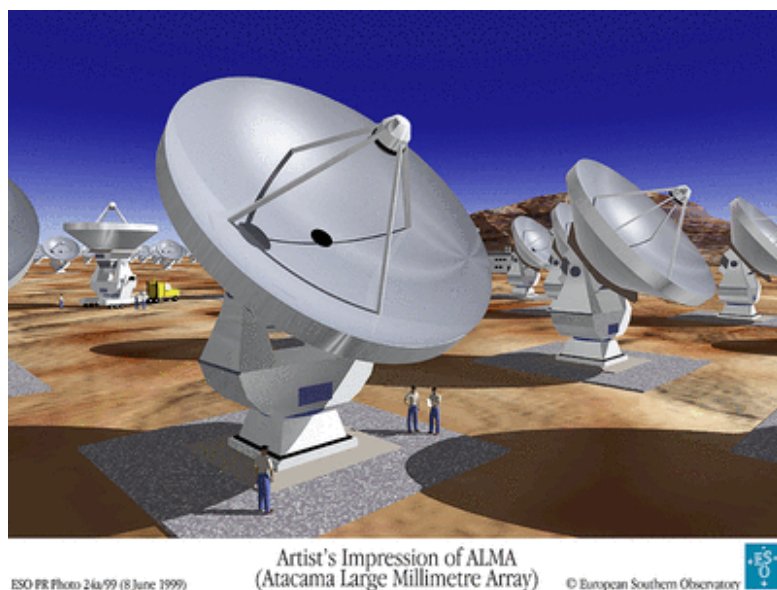


Fig. 8. Representació de l' interferòmetre ALMA. Cortesia del European Southern Observatory.

Les longitud d'ona inferiors a 1 mm constitueixen l'esgraó entre les ones de radio i les infraroques (1 a 100 micres). Observar aquestes ones submil·limètriques suposa superar moltes dificultats tècniques. En primer lloc, per aquest rang de l'espectre electromagnètic, l'atmosfera terrestre ja no es tan transparent com per a les ones de radio més llargues. Les molècules de l'atmosfera, fundamentalment les d'aigua, tenen una predilecció especial per absorbir aquestes ones. Només per unes determinades zones de l'espectre submil·limètric la transparència de l'atmosfera augmenta lo suficient com per a poder observar des de terra. Són les anomenades *finestres submil·limètriques*. Però encara en el cas d'aquestes finestres, l'opacitat de l'atmosfera és bastant gran.

Per tant, no tots els llocs són igualment adequats per a construir un radiotelescopi submil·limètric. Per a minimitzar l'absorció atmosfèrica s'han de buscar llocs secs i a gran altitud. D'aquesta forma, aconseguirem que per damunt del radiotelescopi hi hagi el menor nombre possible de molècules d'aigua que puguin absorbir la radiació.

En el cas dels dos projectes que hem anomenat en aquesta secció, el SMA s'està construint a Mauna Kea a una altitud de 4000 m ([aquí](#) es pot veure la imatge de Mauna Kea en aquest moment, encara és probable que quan miris, allí sigui de nit), mentre que ALMA es situarà als

Plans de Chajnantor, un altiplà dels Andes Xilens a la zona del [desert d' Atacama](#) (el més sec del món), a 5000 m.

ALMA serà, amb molta diferència, l'observatori més potent en longituds d'ona sub-mil·limètriques. Podrà arribar a una resolució angular de 50 mil·lisegons en 800 micres. Aquesta resolució és suficient per a poder distingir planetes individuals en formació al voltant d'altres estrelles.

Pràctica de Radiotelescopi Elemental:

Sentir la veu de Júpiter

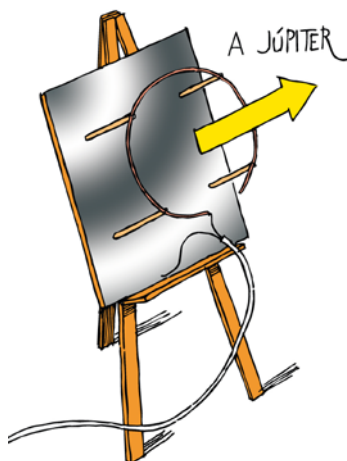
Objectiu: Escoltar les emissions de radio del planeta gegant.

Material:

- Radio domèstica que tingui ona curta (SW), amb dial que arribi fins 18-22 MHz.
- T65 m de filferro de coure rígid.
- Quatre pals de fusta d'uns 30 cm de llarg.
- Una planxa de fusta de 60 x 60 cm.
- Paper d'alumini.
- Cable coaxial (del que es fa anar a les antenes de TV).

Procediment:

1. Júpiter emet ones de radio en varies freqüències. No està clara la seva procedència, però sembla que tenen que veure amb el seu camp magnètic i també amb la seva lluna, Io. Una emissió és a la banda de freqüències de 18 a 22 MHz, amb un màxim a 21 MHz. Aquests valors entren dins de la capacitat de bastants receptors domèstics. Han de tenir Ona Curta (SW) i arribar el dial a aquests valors.
2. Les emissions de Júpiter no són continues. Té tres rajos més o menys equidistants que giren amb el planeta cada deu hores. A més, aquests rajos de vegades estan actius i de vegades no. Igual que en altres camps, a l'Astronomia la paciència és una virtut.
3. Sintonitza la radio en algun punt d'aquesta banda en el que no hi hagi molt soroll de fons, i espera. Les emissions sonen com les ones de mar a la platja, que arribaran amb una freqüència d'unes tres per segon aproximadament. La seva intensitat creix fins un màxim que dura alguns minuts – o segons de vegades-, i després decau. L'experiència diu que si estàs 20 minuts escoltant tens 1 probabilitat entre 6 de sentir-les. Com és lògic, Júpiter ha d'estar en el cel, encara que no li interfereixen els núvols.
4. La pròpia antena de radio és adequada, encara que és omnidireccional, i captarà ones que procedeixin de totes les direccions. Si es vol millorar la recepció, i a més, assegurar que procedeix de Júpiter s'ha de construir una antena direccional que substitueixi a la normal.
5. Agafa 165 cm de filferro de coure, fes un cercle amb ell sense tancar-lo. Subjecta'l a quatre pals de 30 cm de longitud. Forra una fusta de 60 * 60 cm per una cara amb paper d'alumini. Clava-li el cercle de coure. Agafa un cable coaxial d'antena i connecta el cable interior al cercle de coure, i la malla exterior a l'alumini. Connecta l'altre extrem a l'antena de radio. Per últim, dirigeix l'antena cap a Júpiter.
- 6.



Material adicional

- "Experimentos para todas las edades", R. Moreno y 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/>