

ELS GRANS RADIOTELESCOPIS

Prosseguirem el tema de la radioastronomia amb una breu descripció dels tres radiotelescopis orientables (*) més grans del món, que per ordre d'antiguitat són el de Jodrell Bank a Anglaterra, el d'Effelsberg a Alemanya i el de Green Bank als Estats Units.

(*) Això exclou el radiotelescopi d'Arecibo, que té el plat fix.

EL RADIOTELESCOPI DE JODRELL BANK

Els seus inicis

El radiotelescopi de Jodrell Bank es deu a la iniciativa de Bernard Lovell, que era un físic de la universitat de Manchester. Durant la 2^a guerra mundial Lovell havia estat treballant en el desenvolupament de radars i estava convençut que alguns dels ecos rebuts procedien dels raigs còsmics, o sigui de partícules molt energètiques procedents de l'espai exterior.

Un cop Lovell retornat a la universitat volia continuar aquesta recerca i per això es va instal·lar un antic radar de l'exèrcit als terrenys del jardí botànic de la universitat, a Jodrell Bank, unes 20 milles al sud de la ciutat. Això era a finals de 1945 i aviat van poder comprovar que aquells ecos no procedien de raigs còsmics sinó dels rastres ionitzats que deixaven els meteors en l'atmosfera terrestre.

Per detectar els raigs còsmics, Lovell va veure que necessitava un aparell més sensible i aleshores van construir un reflector parabòlic fix de 66 m ϕ , fet amb tela metàl·lica, que apuntava en sentit vertical i que permetia seguir els objectes durant un cert temps a base de moure l'antena que hi havia a sobre. Amb aquest aparell van detectar per primera vegada ones de ràdio procedents d'M31 o galàxia d'Andròmeda.

Animats per aquest èxit ràpidament van començar a fer el projecte d'un nou aparell, més gran i que fos plenament orientable. Es va preveure la construcció d'un plat parabòlic de 250' = 76,2 m ϕ , també amb tela metàl·lica amb una quadrícula de 5 cm, que hauria permès treballar amb longituds d'ona de fins a 1 m.

Tanmateix, el 1951 ja es va detectar l'emissió de ràdio de 21 cm de l'H neutre (antena d'Ewen) i això va mostrar que el nou aparell ja naixeria amb un potencial d'observació molt migrat, de manera que es va haver d'abandonar la tela metàl·lica i buscar un sistema que permetés una major precisió, que va ser una superfície sòlida de xapa d'acer feta amb 7.100 panells de 2mm de gruix. Naturalment també es va haver de redissenyar tot el sistema de suport i el cost de l'aparell també va ser molt superior al previst.

Descripció del telescopi

El nou telescopi es va anomenar Mark I i es va acabar de construir l'estiu de 1957. Les seves característiques principals són aquestes:

Massa	3.200 tones	Alçada eix elevació	50,5 m
Massa del plat	1.500 tones	Màxima alçada sobre terra	89,0 m
Diàmetre del plat	76,2 m	Radi bigues suport	38,5 m
Àrea col·lectora	4.560 m ²	Diàmetre vies rotació	107,5 m
Àrea del plat	5.270 m ²	Pintura per 3 capes	5.300 l
Distància focal	22,9 m	Latitud	53° 14' 13,2"
		Longitud	9' 14,4"

En aquest radiotelescopi no hi ha mirall secundari, de manera que els aparells receptors estan situats directament en el focus del paraboloide, i en les fotos podem veure que no estan suportats per 3 o 4 peus sinó que estan col·locats en una torre situada al mig del plat. Els receptors han estat desenvolupats en els propis laboratoris i es munten en un aparell criostàtic, refredat per heli líquid fins a 15 K.

Els detectors estan situats en un aparell rotatiu tipus revòlver perquè es puguin canviar ràpidament. Les observacions en longituds d'ona molt curtes estan molt afectades pel temps atmosfèric, de manera que la possibilitat de canviar els detectors en un temps molt curt permet aprofitar els intervals de bon temps per fer aquestes observacions en alta freqüència. Els senyals rebuts es guarden gravats en cinta magnètica o disc per a la seva posterior anàlisi per part dels astrònoms.

El sistema de seguiment també mesura contínuament la posició del telescopi amb una precisió d'una centèsima de grau (36" d'arc), de manera que informàticament es puguin fer els ajustaments fins necessaris per assegurar una precisió de l'ordre del 5 % de la resolució. Al mateix temps també es corregeix els errors causats per la pròpia deformació del plat quan es mou amunt o avall, de manera que l'error resultant es manté en un ordre dels 10" d'arc.

Les velocitats angulars són de 9° per minut en azimut (9' per segon o bé 1 volta sencera en 40m) i de 6° per minut en elevació (6' per segon o bé 90° en 15m), això per anar d'un astre a un altre, però per fer el seguiment durant les observacions aquestes velocitats es redueixen a 15' per minut (15" per segon) que són 36 i 24 vegades inferior respectivament a les indicades anteriorment. La informació consultada diu que així poden explorar tot el cel visible excepte una petita zona al voltant del zenit. Algú pot conjecturar per què?

Durant les operacions el radiotelescopi és dirigit des de la cabina de control, on també es té cura del seguiment del temps meteorològic, tant a Jodrell Bank com en els emplaçaments dels altres telescopis que treballen conjuntament fent interferometria, de manera que en cas de mal temps es poden aparcar en una posició segura i frenar el plat apuntant cap al zenit.

El treball del telescopi

Des del seu inici el radiotelescopi també podia treballar com a una antena de radar i era l'únic aparell del anomenats països occidentals que podia seguir els coets que llançaven els primers satèl·lits, com l'Sputnik i després els que anaven a la Lluna i a Venus. Va arribar un moment en què tots els deutes de l'observatori van ser liquidats per un Lord que havia fet diners fabricant els cotxes Morris.

De totes maneres, el seguiment espacial era només una petita part del treball. La seva contribució científica més valuosa en els primers anys va ser el seu paper en el descobriment dels quàsars. A partir de treballs d'interferometria amb altres telescopis, es va veure que algunes radiofonts molt potents tenien una dimensió angular molt petita, i quan aquestes radiofonts es van identificar òpticament es va trobar que eren els objectes més distants i lluminosos de l'univers.

Jodrell Bank va estar al capdavant en la recerca de púlsars, des del seu descobriment a Cambridge el 1967 per Jocelyn Bell i Anthony Hewish. Més de 3/4 parts dels més de 1.000 púlsars descoberts van ser trobats a Jodrell Bank, sovint en col·laboració amb el radiotelescopi de Parkes, Austràlia.

Les millores en el telescopi

Al cap de 12 anys de funcionament el telescopi es va restaurar per primera vegada, se li va afegir a sobre una nova superfície reflectant i es van posar dues rodes de suport a sota que aguantessin 1/3 del seu pes cap a un rail longitudinal. Això va millorar la seva sensibilitat i li

va permetre treballar a longituds d'ona de fins a 6 cm a partir de 1970/71. Va ser redenominat Mark IA i en el seu 30è aniversari, el 1987, li van donar el nom de telescopi Lovell en honor del seu creador. El radiotelescopi Lovell forma part de la xarxa d'interferometria britànica Merlin i també de la xarxa d'interferometria mundial VLBI.

Al final dels anys 90 la superfície afegida el 1970/71 s'estava rovellant. El 1999 es va aconseguir un finançament de més de 2 M de lliures, amb la qual cosa l'estiu de 2000 ja es va poder treure les superfícies antigues i posar-n'hi una de nova d'acer galvanitzat i també es va canviar tota la via del moviment giratori azimutal. Els nous panells s'hi van col·locar durant els estius de 2001 i 2002. Estan collats amb cargols i no soldats per evitar les deformacions de la soldadura. Tot aquest sistema anteriorment s'havia provat amb un radiotelescopi més petit anomenat Mark II.

Aquesta refecció del telescopi haurà estat una operació molt rendible, no només des d'un punt de vista científic sinó també econòmic, ja que el cost d'un radiotelescopi nou de les mateixes dimensions i prestacions hauria estat superior als 30 M de lliures.

Amb això el telescopi és capaç de treballar a longituds d'ona de fins a 3 cm (5cm segons altres informacions), que és 20 vegades menys que el seu disseny original. Treballar a longituds d'ona més baixes requereix seguir l'objecte en el cel de manera més acurada, de manera que es van canviar tots els motors de seguiment azimutal i en altura, i també tot el sistema de control d'aquests motors.

Els treballs previstos amb el radiotelescopi un cop refet són:

- Detectar nous púlsars de baixa lluminositat.
- Detectar noves línies espectrals centimètriques de molècules interestel·lars.

Dintre la xarxa d'interferometria britànica Merlin es es preveu buscar:

- Imatges de lents gravitacionals febles per detectar matèria fosca.
- Estudi del material ejectat per les estrelles i la seva interacció en sistemes binaris.
- Estudi de les condicions de naixement i mort de les estrelles.
- Detectar el desplaçament dels púlsars per mesurar el camp gravitatori de la galàxia.

Com a part de la xarxa d'interferometria mundial VLBI:

- Estudiar l'evolució de les galàxies actives.
- Investigar els processos en els nuclis dels quàsars i les radiogalàxies.
- Detectar forats negres en els centres de les galàxies.

De totes maneres, tal com l'experiència indica, els descobriments més importants i excitants que el telescopi pugui fer en el futur, seran aquells que actualment són del tot imprevistos.

Finalment cal dir que, com es pot esperar de la societat britànica, la nova etapa del telescopi Lovell va ser solemnement inaugurada el 28 d'abril de 2003 per SAR el príncep de Gal·les, acompanyat de diverses autoritats polítiques i acadèmiques. En particular va assistir a l'acte el creador del telescopi Sir Bernard Lovell.

El príncep va discursar dient que "Forma part de la natura de la humanitat entendre els seus orígens i els orígens de l'univers. Durant milers d'anys l'home ha observat les estrelles mirant de trobar el sentit de l'univers i ha estat només en el darrer segle que hem començat a entendre la majestat dels cels, penetrar en els racons més foscos de l'espai i el temps a través de l'estudi de les ones de ràdio. El telescopi que Sir Bernard Lovell va construir ha dut a terme una vital contribució a l'estudi de la radioastronomia i ha estat el símbol dels assoliments de la ciència britànica".

EL RADIOTELESCOPI D'EFFELSBERG

El radiotelescopi d'Effelsberg està situat a Alemanya, a prop de la localitat de Bad Münstereifel-Effelsberg, uns 40 km al sudoest de Bonn i pertany al Max-Planck-Institut für Radioastronomie, si bé fins a un 40 % del temps d'observació es pot assignar a científics externs a l'institut.

Va costar 34 milions de DM que van ser pagats quasi totalment per la Fundació Volkswagen, amb aportacions addicionals del land de Renània del Nord-Westfàlia, del propi Max-Planck-Institut i del Ministeri Federal d'Investigació i Tecnologia. Està en funcionament des d'agost de 1972.

Les seves coordenades són $50^{\circ} 31' 30''$ de latitud nord i $6^{\circ} 53' 0,3''$ de longitud est. L'alçada sobre el nivell del mar de la seva base és de 319 m.

La seva antena parabòlica té un diàmetre de 100 m i és un dels radiotelescopis plenament orientables més grans del món, probablement és el segon després del GBT o nou radiotelescopi de Green Bank. Malgrat el seu gran diàmetre és capaç de treballar fins a una longitud d'ona de 3,5 mm, ja que les deformacions del paraboloide no superen els 0,5 mm, però el seu rang d'observació arriba fins a ones de 90 cm.

De totes maneres, cal dir que, tal com es veu en les imatges del radiotelescopi, les ones més curtes s'observen a partir de la part més interna del plat que està format per una superfície llisa, mentre que les observacions en ones centimètriques es fan amb la totalitat del plat, que incorpora una corona circular exterior de malla que arriba fins als 100 m de diàmetre.

Les característiques del radiotelescopi són les següents:

Diàmetre del reflector	100 m
Superfície	7.850 m^2
Nombre de panells del plat	2.352
Precisió en la superfície	$< 0,5 \text{ mm}$
Distància focal	30 m
Diàmetre del mirall secundari	6,5 m
Resolució angular a λ 21 cm	9,4' d'arc
Resolució angular a λ 3 cm	1,15' d'arc
Resolució angular a λ 3,5 mm	10" d'arc
Diàmetre dels rails azimuthals	64 m
Precisió en l'ajustament dels rails	0,25 mm
Rang angular en azimuth	480°
Velocitat màxima de gir	$32^{\circ}/\text{minut}$
Potència dels 16 motors azimuthals	20,2 kW cada un
Radi de l'engranatge d'elevació	28 m
Rang angular en elevació	de 7° a 94°
Velocitat màxima en elevació	$16^{\circ}/\text{minut}$
Potència dels 4 motors d'elevació	17,5 kW cada un
Pes total	3.200 tones
Període de construcció	1968 - 1971
Inici de les operacions	1 agost 1972

Podem observar que les velocitats de moviment del plat respecte a les velocitats del radiotelescopi de Green Bank, són més del triple la de gir azimuthal ($32^{\circ}/\text{m}$ contra $9^{\circ}/\text{m}$) i entre el doble i el triple la d'elevació ($16^{\circ}/\text{m}$ contra $6^{\circ}/\text{m}$). També podem observar que a mida que disminueix la longitud d'ona observada augmenta el poder de resolució.

El radiotelescopi està situat dintre d'una vall per minimitzar les interferències, i ens van explicar que per això, quan surt el Sol han de fer una parada per esmorzar fins que toca per igual a totes els peus de les torres de suport, perquè mentre està sortint es desequilibra per les diferències de dilatació.

Els detectors estan posats a la part inferior de la cabina del focus primari, que està aguantat per 3 peus, però també hi ha un mirall secundari el·lipsoidal que pot redirigir la radiació cap al focus secundari situat al centre del plat.

El radiotelescopi treballa en els temes de:

- Observacions de radio en continu d'objectes galàctics i extragalàctics.
- Investigacions espectroscòpiques de fonts galàctiques i extragalàctiques.
- Treballs en la xarxa d'interferometria de molt llarga base VLBI.
- Treballs de mapat del cel.
- Investigació de màsers en regions de formació d'estrelles i nuclis actius.

També ens han explicat que aquest radiotelescopi, malgrat les seves excel·lents prestacions i el treball que hi fa el Max-Planck Institut, ha tingut la "pega" que no ha aconseguit encara fer cap descobriment realment molt rellevant.

El Max-Planck-Institut també forma part de l'Institut de Radioastronomia Mil·limètrica IRAM entre França, Alemanya i Espanya, que opera el radiotelescopis de 30 m del Pico de la Veleta a la Sierra Nevada i el grup de 5 o 6 radiotelescopis del Plateau de Bure, a prop de Grenoble, a França.

Des de 1993 també tenen un radiotelescopi de 10 m al Mt. Graham, a prop de Tucson, Arizona, que pot treballar fins a una longitud d'ona de 0,32 mm.

L'OBSERVATORI DE GREEN BANK

L'observatori de Green Bank pertany al National Radio Astronomy Observatory (NRAO), que depèn de la National Science Foundation. Té la seu central a Charlottesville, a l'estat de Virginia.

Els principals observatoris del NRAO són el de Green Bank (WV), el VLA i VLBA de Socorro (NM), a Tucson (AZ) s'està avaluant el prototipus d'antenes del futur observatori Atacama Large Millimeter Array (ALMA) i a Xile, on s'està començant a treballar en aquest projecte que consisteix en la instal·lació de 64 antenes de 12 m de diàmetre al desert d'Atacama, a 5.000 m d'altura. Aquest projecte compta amb la participació de l'European Southern Observatory (ESO), del Canadà i, possiblement, també del Japó.

Tanmateix, Green Bank és el bressol de la radioastronomia nord-americana ja que s'hi està fent observacions almenys des de 1959. Com a lloc històric, l'edifici tècnic duu el nom de Laboratori Jansky, hi ha instal·lada una rèplica a escala 1/1 de l'antena de Karl Jansky i també hi ha instal·lats el radiotelescopi original de Grote Reber i l'antena d'Ewen-Purcell. Tot aquests aparells són unes veritables relíquies de l'astronomia.

Passarem ràpidament revista als radiotelescopis menors de Green Bank i anirem a veure l'aparell principal que és el nou GBT, que avui dia és el radiotelescopi plenament orientable més gran i modern del món.

El radiotelescopi Tatel i el GBI

Aquest radiotelescopi es va inaugurar el febrer de 1959. Com que en aquella època la informàtica encara no estava prou avançada com per fer un correcte seguiment dels astres mitjançant muntures altazimutals amb motors de velocitat variable, tal com es pot veure en les fotos, aquests primers radiotelescopis es construïen amb muntura equatorial, cosa que els dona un aspecte molt estrany i que avui dia ha desaparegut del tot.

Les seves característiques principals eren aquestes:

Plat de 85' = 25,91 m de diàmetre

Muntura equatorial

Superfície de panells d'alumini de 520 m²

Focus situat 36' (10,97 m) sobre el reflector i 115' (35 m) sobre el terra

210 tones de pes

30" de precisió d'apuntament

El nom de Tatel ve de Howard E. Tatel, que havia ideat un disseny que proporcionava una elevada precisió a un cost relativament baix. Amb aquest aparell es va fer la primera recerca d'extraterrestres per Frank Drake, en un anomenat Projecte Ozma.

Més endavant, a mitjan anys 60s, es va decidir fer un interferòmetre (GBI) a base de construir 2 radiotelescopis addicionals iguals al Tatel que fossin mòbils i deixant el Tatel fix, de manera que el Tatel va ser anomenat 85-1 i els altres 85-2 i 85-3. Aquest interferòmetre té una línia de base de 2.400 m.

Amb aquest interferòmetre es va comprovar per primera vegada la curvatura de les ones de ràdio que preveia la relativitat, i també el GBI va ser la instal·lació prototipus de cara al projecte del VLA.

Des de 1989 es fa servir el radiotelescopi del mig que és el 85-3 per controlar el temps i la brillantor de 35 púlsars que són observats diàriament, i la interferometria es fa només amb els dos telescopis extrems que són el Tatel (fix) i el 85-2.

El radiotelescopi de 40'

En unitats mètriques aquest telescopi fa 12,20 m de diàmetre i, per tant, és molt més petit que els anteriors. Funciona des de principis dels anys 60 i es va construir per determinar si les radiofonts eren variables o no. Va ser el primer radiotelescopi completament automatitzat.

Després va estar una vintena d'anys inactiu i el 1987 es va tornar a posar en servei com a instrument de pràctiques per a professors, estudiants i astrònoms aficionats.

El radiotelescopi de 140'

Diàmetre de 42,6 m. Inaugurat durant la primavera de 1965, encara es va construir amb muntura equatorial. Treballava en un interval de longituds d'ona de 2 a 40 cm. Es dedicava a la investigació de línies espectrals i també feia interferometria VLB amb altres radiotelescopis no pertanyents a la NRAO.

Té un pes de 2.500 tones i una precisió d'apuntament de 10". L'any 1999 el van aturar per manca de pressupost i estaven buscant patrocinadors per poder-lo tornar a fer funcionar.

El radiotelescopi de 20 m

Aquest aparell és més modern i va començar a funcionar el 1994, de manera que la seva muntura ja és altazimutal.

Ha treballat dintre de la xarxa del National Earth Orientation Service (NEOS) en cooperació amb l'International Earth Rotation Service (IERS) i el Servei de Geodèsia de la NASA, estudiant el moviment de rotació i la posició de l'eix de la Terra. Això es fa prenent com a referència quàsars molt llunyans i els resultats d'aquesta recerca són necessaris per tenir una gran exactitud en els sistemes de navegació i també permeten estudiar la deriva o moviment dels continents.

L'antena de seguiment de l'OVLBI

A Green Bank també hi ha una antena de seguiment del sistema de satèl·lits Orbiting Very Long Baseline Interferometry (OVLBI), o sigui d'interferometria de molt llarga base que es fa amb diversos satèl·lits, de manera que la separació entre els aparells d'observació pot arribar a ser de diverses vegades el diàmetre de la Terra. Per comunicar aquests satèl·lits amb la Terra hi ha diverses estacions de seguiment, una de les quals consisteix en un plat de 45' (13,72 m) instal·lat a Green Bank.

El radiotelescopi de 300'

Anant ja cap a la descripció del radiotelescopi principal de l'observatori arribem a aquest de 91,44 m (300' equivalen a 100 iardes) que era el telescopi estrella de Green Bank, de forma més aviat semblant al de Jodrell Bank però més gran, però avui dia no en podem donar gaires detalls perquè ja no existeix.

En efecte, el 15 de novembre de 1988, sobtadament i sense cap mena de senyal ni avís, tot d'una el telescopi se'n va anar avall i va quedar convertit en un munt de ferralla. Això va ocórrer sense vent, ni mal temps, ni tremolors o moviments de terra de cap mena. En aquell moment el radiotelescopi estava funcionant i afortunadament no hi va haver danys personals de cap mena, només en va quedar afectada la cabina de control.

El radiotelescopi s'havia construït el 1962, de manera que havia durat 26 anys. Aquest accident va aturar el treball de 150 investigadors de més de 40 universitats i laboratoris diferents.

No he trobat detalls de com i per què va ocórrer el desastre, més aviat a la informació disponible per internet no se'n parla gaire, i només el resum d'un diari diu que va ser pel col·lapse de les dues torres que l'aguantaven, però també és difícil creure que fallessin totes dues alhora. El que és cert és que l'enfonsament es va deure a una fallada de la seva estructura de suport.

El nou GBT

Entre la destrucció de l'antic telescopi de 300' i la posada en funcionament del nou GBT va transcórrer un interval de gairebé 12 anys, des del novembre de 1988 fins a l'agost de 2000. Aquest parèntesi ha estat el temps necessari per prendre la decisió de fer un radiotelescopi nou que substituís l'accidentat, trobar el finançament necessari, fer el projecte i construir-lo. Des de la seva inauguració que és el radiotelescopi plenament orientable més gran i també més modern del món.

Aquest nou aparell es diu que té 100 m de diàmetre però en realitat el seu plat és una mica ovalat i en fa 100 x 110. Això és perquè el plat està posat una mica de biaix i això fa que reculli els senyals de l'espai inclosos en una circumferència o, millor dit, en un cilindre de 100 m de diàmetre, o sigui que en realitat la seva superfície col·lectora és equivalent a la d'un plat de 100 m de diàmetre.

Això és perquè està disenyat de manera semblant als telescopis òptics de W. Herschel, o sigui amb el focus no al centre sinó a un costat. En aquest cas els aparells receptors estan situats en una torre posada al costat del plat i així no hi ha d'haver suports posats entremig i s'eliminen defectes deguts a reflexió i difracció. Aquesta torre té forma de V invertida per evitar oscil·lacions en sentit lateral. Aquesta disposició es pot veure clarament en les fotos i en els esquemes del radiotelescopi.

Una altra novetat molt important és que el seu plat també incorpora els milloraments de les noves tecnologies d'òptica adaptativa, és a dir, que els seus 2.400 panells estan muntats sobre actuadors que permeten ajustar la forma del paraboloide. Mitjançant uns raigs làser adreçats des de diverses estacions situades al voltant del radiotelescopi es pot mesurar les seves deformacions, tant per acció de la gravetat quan varia el seu angle d'elevació, com per causa del vent o diferències de temperatura, i aleshores es poden compensar mitjançant els actuadors que resituen els panells de forma adequada. Òbviament aquests actuadors aporten càrregues diferencials sobre l'estructura de suport.

Amb aquest sistema, tant si el plat apunta al zenit, com a l'horitzó, com a posicions intermèdies, la precisió de la seva superfície es manté en l'ordre de 0,25 mm, la qual cosa li permet treballar amb ones de fins a 78 GHz, o sigui amb unes longituds d'ona de l'ordre dels 3,8 mm, amb una precisió d'apuntament de 3" en bones condicions atmosfèriques. Aquestes prestacions són realment molt bones per a un aparell de tals dimensions, i ja sabem que per a ones més curtes cal fer servir aparells de menor diàmetre, més aviat d'entre 25 i 40 m i fins i tot de menys de 20 m per a ones submil·limètriques.

La primera observació, el que els astrònoms en diuen la "primera llum", va tenir lloc el 22 d'agost de 2000 observant la radiogalàxia 1140+223 i el púlsar B1133+16, a una freqüència de 403 MHz, equivalent a una longitud d'ona de 74,4 cm. En la inauguració oficial feta el 25 d'agost se li va donar el nom del senador Robert C. Byrd (encara actualment senador per l'estat de WV), que devia haver fet els passos polítics més necessaris per a la seva construcció. Des d'aquesta data el GBT segueix en situació normal de funcionament.