

Astronomia observacional

Radioastronomia – PARTNeR

Ruiz Dern, Laura
Peña Pérez, Dídac
Subirà Vallès, Montserrat
Blanco Cuaresma, Sergi

Taula de continguts

1 Objectius.....	3
2 Material previ.....	3
3 Instruments PARTNeR.....	4
3.1 Radiotelescopi DSS-61.....	4
3.2 Control remot.....	4
4 Desenvolupament de la pràctica.....	5
4.1 Observació.....	5
4.2 Reducció de les dades.....	6
4.2.1 Calibració atmosfèrica (Tipping).....	8
4.2.2 Trànsits.....	8
4.3 Càlculs.....	9
4.3.1 Atmosfera.....	9
4.3.2 Sensibilitat del radiotelescopi.....	10
4.3.3 Densitat de flux.....	10
4.3.4 Índex espectral.....	10
5 Resultats.....	11
5.1 Calibració atmosfèrica.....	11
5.2 Trànsits.....	12
5.3 Sensibilitat del telescopi.....	17
5.4 Densitat de flux i índex espectral.....	17
6 Conclusions.....	19
7 Bibliografia.....	19

1 Objectius

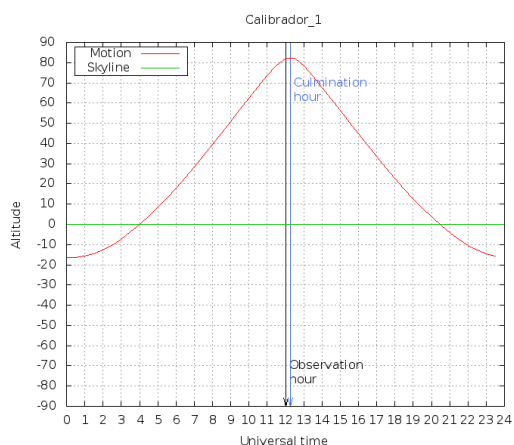
El principal objectiu de la pràctica és l'observació de dues radiofonts amb el radiotelescopi que forma part del programa PARTNeR (*Proyecto Académico con el RadioTelescopio de NASA en Robledo*), així com el posterior tractament i anàlisi de les dades.

Aquest document presenta els resultats de la pràctica, a més de les principals decisions i valoracions. Per altra banda, s'ha desenvolupat un programa específic pel tractament de les dades i un manual amb els detalls tècnics d'instal·lació i ús, els quals s'entreguen conjuntament amb el present informe.

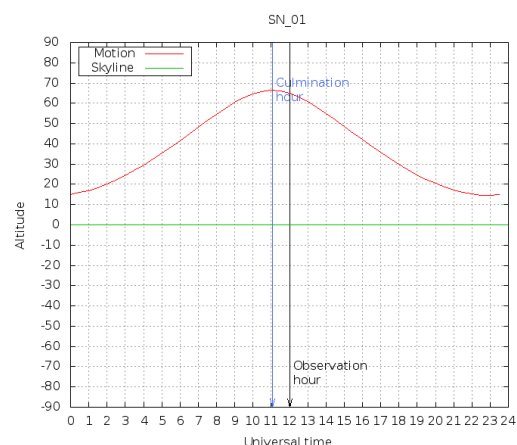
2 Material previ

Com a material previ al dia de l'observació, tenint en compte la ubicació del telescopi i la data, es van calcular les gràfiques de visibilitat per la totalitat dels objectes (6 calibradors primaris i 41 radiofons) llistats a l'apèndix de l'enunciat de la pràctica (Robert Estalella i Isabel Renedo, 2009).

Les gràfiques van ser generades a partir d'un programa desenvolupat per a la primera pràctica de l'assignatura d'Astronomia Observacional portada a terme a l'observatori d'Alella. A continuació es presenten un parell de gràfiques a mode d'exemple:



Quàsar 3C48



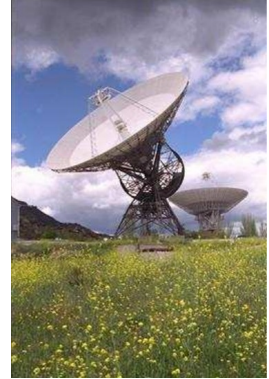
Romanent de supernova 3C10 (Tycho SN)

Amb aquest material va ser possible determinar quins objectes eren els més convenients en funció de l'alçada sobre l'horitzó a la que es trobaven a l'hora de l'observació.

3 Instruments PARTNeR

3.1 Radiotelescopi DSS-61

El radiotelescopi DSS-61 forma part del programa PARTNeR¹ (*Proyecto Académico con el RadioTelescopio de NASA en Robledo*) i està situat a l'estació de NASA a Robledo de Chavela (Madrid). Disposa d'una antena de 34 metres de diàmetre per a la banda centimètrica de l'espectre.

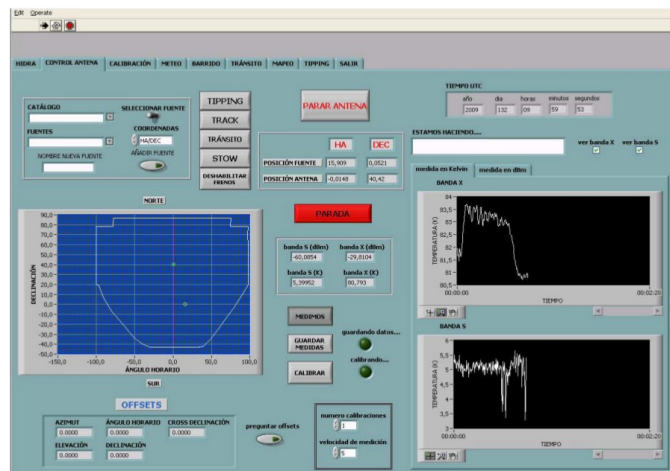


Antigament formava part de la xarxa DSN (Deep Space Network) que la NASA fa servir per comunicar-se amb sondes interplanetàries. Des del 2001 el radiotelescopi està cedit per a docència, recerca i divulgació científica.

DSS-61 té una muntura equatorial i pot observar en la banda S ($\nu=2.3\text{GHz}$, $\lambda=13\text{cm}$) i en la banda X ($\nu=8.4\text{GHz}$, $\lambda=3.6\text{cm}$). El tamany del feix de l'antena és de 12 i 3.6 minuts d'arc a banda S i X respectivament. És a dir, no es podrien distingir a la banda X dos objectes separats per 3.6 minuts d'arc perquè ambdues no entrarien al feix.

3.2 Control remot

L'antena pot ser controlada remotament mitjançant una connexió *VNC/Windows Terminal Service* a un sistema ubicat a les instal·lacions de Robledo de Chavela (Madrid), el qual disposa del programa de control HIDRA (*Herramienta Interactiva para la Docencia en Radio Astronomía*):



1 <http://partner.cab.inta-csic.es/>

4 Desenvolupament de la pràctica

4.1 Observació

L'observació es va dur a terme de forma remota des de Barcelona, utilitzant l'antena situada a Robledo de Chavela (Madrid):

- Latitud: 40° 25' 45" (40.429)
- Longitud: -4° 14' 57" (-4.249°)
- Alçada sobre el nivell del mar: 770m
- Dia d'observació: 4 d'abril 2011
- Horari UT: 12:00 – 14:30

Al principi de l'observació i als moments en els quals es va reiniciar el programa de control del telescopi, es va realitzar la **calibració de l'antena** en unitats de temperatura, mitjançant l'opció corresponent del programa HIDRA.

Per cada objecte a observar, es va fer, prèviament, un **escombrat** sobre una font intensa propera (calibrador d'apuntat). Això és necessari perquè a diferència dels telescopis òptics, en ràdio és complicat saber si l'antena està apuntant correctament al centre de l'objecte.

Pel tipus de telescopi (muntura equatorial), els escombrats es van fer en declinació i cros-declinació (perpendicular), corregint en el moment la posició de l'antena segons els resultats obtinguts. La potència rebuda d'una font és màxima quan l'antena apunta en la direcció de la font. La representació de la potència rebuda tindrà justament la forma del feix de l'antena, amb un lòbul principal aproximadament gaussià. Quan aquest fet té lloc centrat al feix, és quan l'antena està correctament apuntada.

Un cop garantit el centrat del radiotelescopi, els objectes es van observar realitzant **trànsits** sobre ells, a on l'antena s'avança 0.5° (*offset*) en angle horari respecte al centre de la font. Posteriorment, s'espera a que el propi moviment de rotació de la Terra faci passar la radiofont per on apunta l'antena.

Les radiofonts observades van ser les següents:

- Quàsar 3C48: calibrador primari amb un valor de densitat de flux conegut.
- Fonts problema:

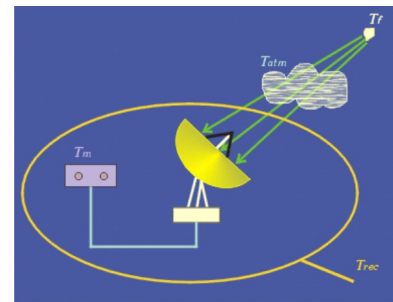
- Quàsar 3C405
- Romanent de supernova 3C10
- Regió HII 3C145

Adicionalment, també es van realitzar les mesures necessàries per a la posterior calibració atmosfèrica (*tipping*).

4.2 Reducció de les dades

Les dades obtingudes amb el radiotelescopi han de ser tractades per tal de poder extreure resultats científics. Les mesures registrades T_m per l'antena són el resultat de la suma del següents factors:

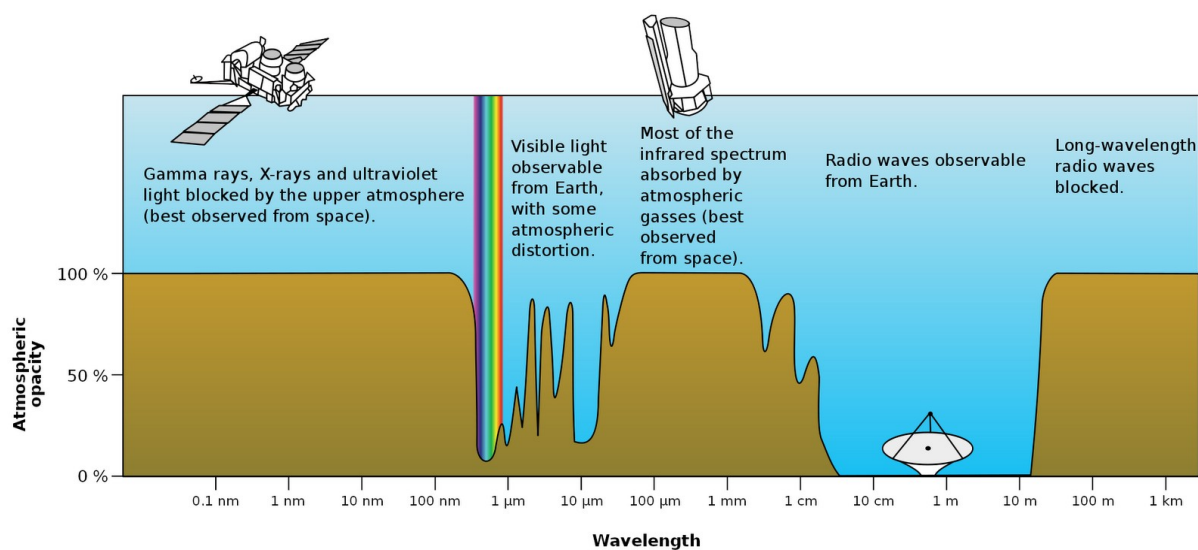
- T_{rec} : El propi sistema receptor amb l'antena, cables, amplificadors i qualsevol altre equipament que estigui entre el punt de l'antena a on arriba la radiació i l'aparell final de mesura.
- $T_{atm} = 265 A \tau_0$: Contribució de l'atmosfera terrestre (es considerarà una temperatura constant de 256K) en funció de la seva opacitat τ_0 i la massa d'aire $A_{atm} = \frac{1}{\sin(h)}$ a on h és l'alçada a on s'ha observat l'objecte.
- $T_f^{obs} = T_f e^{-A \tau_0}$: Emissió de la font atenuada per l'atmosfera terrestre en funció de la seva opacitat i la massa d'aire.



En aquest sentit, és important mantenir la temperatura del receptor T_{rec} el més baixa possible. Com més gran sigui aquesta, més quantitat d'emissió tèrmica es registrarà com a soroll de fons. La forma de reduir la temperatura és refrigerant determinats components amb heli o nitrogen líquid.

Per altra banda, si bé l'atmosfera terrestre presenta una finestra per a les ones de ràdio (en el cas actual $\nu=2.3\text{Ghz}$, $\lambda=13\text{cm}$ i $\nu=8.4\text{Ghz}$, $\lambda=3.6\text{cm}$), no es pot negligir completament que aquesta absorbirà part de la radiació (factor $e^{-A \tau_0}$) i, simultàniament, n'emetrà depenent de la seva temperatura i opacitat² (factor $T_{atm} = 265 A \tau_0$):

2 Com més opaca és l'atmosfera, més emissió produeix.



Cal destacar que el principal responsable de l'opacitat atmosfèrica per ones de ràdio centimètriques és el vapor d'aigua. El seu efecte és superior a longituds d'ona més curtes i conseqüentment, pel cas actual, la meteorologia no tindrà gaire influència a la banda S (13 cm) i serà possible observar en dies amb núvols. En canvi, la banda X (3.6 cm) es veu molt més afectada, fent que la seva contribució a la temperatura del sistema i l'atenuació de la radiació de la font sigui superior. L'única manera de minimitzar aquests efectes és situant els radiotelescopis en llocs alts, secs i freds.

En definitiva, per poder extreure la temperatura de la font observada serà necessari determinar l'opacitat de l'atmosfera a diferents alçades (diferents masses d'aire), tal i com es descriu a la secció 4.2.1 (*Tipping*), i corregir tots els efectes exposats anteriorment (seccions 4.2.2 i 4.3.1).

Per dur a terme els corresponents tractaments, conjuntament amb l'enunciat del guió de la pràctica, s'havia facilitat un programa en Fortran³ que fa ús de la llibreria de visualització PGPLOT5⁴. No obstant, el grup de treball ha desenvolupat un nou programa en Ruby⁵ i Octave⁶ que realitza les mateixes tasques:

- Tipping: Calibració atmosfèrica i determinació de l'opacitat en funció de la massa

3 <http://gcc.gnu.org/wiki/GFortran>

4 <http://www.astro.caltech.edu/~tjp/pgplot/>

5 <http://www.ruby-lang.org/en/>

6 <http://www.gnu.org/software/octave/>

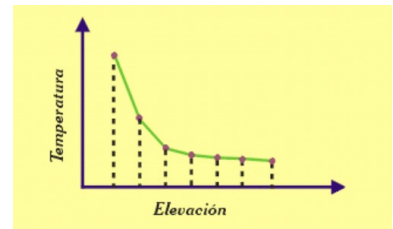
d'aire.

- Gaussfit: Mesura de la temperatura d'antena d'una font a partir d'un trànsit. Com a punt diferencial amb el programa original, aquest permet excloure més d'una regió per l'ajustament de la línia base i la gaussiana (veure secció 4.2.2).

A continuació es descriu el funcionament de les tasques anteriors. Cal fer notar que, per als detalls tècnics, s'ha elaborat un manual d'instal·lació i ús del programa que s'adjunta a l'entrega del present informe.

4.2.1 Calibració atmosfèrica (*Tipping*)

Per tal de determinar l'opacitat de l'atmosfera en funció de la massa d'aire (elevació a la que s'apunta), el dia de l'observació el radiotelescopi va fer un escombrat des de l'horitzó fins al zenit, registrant el valor mesurat a diferents alçades (per ambdues bandes S i X). Considerant aquestes dades i un cop excloses les regions amb errors/soroll, la tasca *Tipping* realitza un ajustament lineal per mínims quadrats de la següent funció:



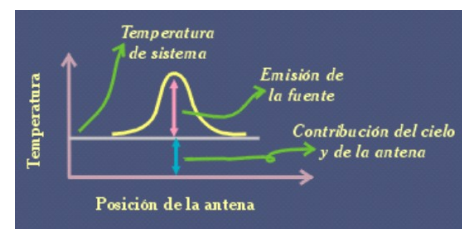
$$T_{sys} = T_{rec} + T_{atm} = T_{rec} + 265 A \tau_0$$

A on T_{rec} és la temperatura del receptor, la temperatura de l'atmosfera és considerará constant (256K), A és la massa d'aire i τ_0 l'opacitat de l'atmosfera al zenit. Aquest últim és el paràmetre fonamental que serà necessari per realitzar correccions a les dades mesurades (secció 4.3.1).

4.2.2 Trànsits

Amb l'objectiu de determinar la temperatura del calibrador primari i les fonts problema, s'utilitzen les mesures dels trànsits realitzats el dia de l'observació.

La potència rebuda varia durant el trànsit donat que canvia la direcció de l'apuntat de l'antena. La seva representació tindrà la forma del feix d'antena, a on el lòbul principal és aproximadament gaussià i el pic màxim correspon a l'emissió de la font quan passa pel centre del telescopi.



En aquest sentit, la tasca *Gaussfit* primer determina la senyal base (contribució del receptor i de l'atmosfera) mitjançant un ajustament d'un polinomi

de grau dos, excloent la regió a on està situada la font (part central de la gaussiana):

$$p(x) = Ax^2 + Bx + C$$

Un cop determinada la base, el programa la resta a totes les mesures i ajusta una gaussiana amb les dades corregides:

$$T^{obs} = A e^{-4 \ln(2) \left(\frac{x-C}{B} \right)^2}$$

Els paràmetres d'aquest ajustament permeten determinar els següents valors clau:

1. Amplada a meitat (HPBW o *Half-power band width*) segons el paràmetre B i la declinació δ :

$$HPBW = B \cos(\delta)$$

Aquest valor correspon al tamany del feix de l'antena i ha de ser molt similar per a totes les mesures en una mateixa banda.

2. Temperatura de la font a partir del paràmetre A: $T_f^{obs} = A$

4.3 Càlculs

Un cop s'han obtingut les temperatures del calibrador primari i les radiofonts problema mitjançant el programa, s'han de realitzar un conjunt de càlculs que permetran finalment determinar dades científiques d'interès.

Per simplicitat, aquests càlculs han estat desenvolupats en un full de càlcul i s'especifiquen a continuació.

4.3.1 Atmosfera

Totes les temperatures observades de les diferents fonts han de ser corregides per l'efecte atenuant de l'atmosfera:

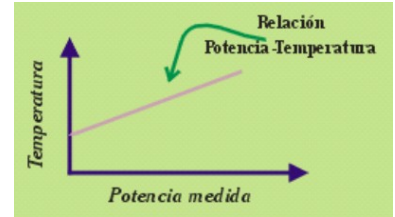
$$T_f^{obs} = T_f e^{-A\tau_0} \rightarrow T_f = \frac{1}{e^{-A\tau_0}} T_f^{obs}$$

Per poder aplicar aquesta correcció és necessari conèixer l'alçada a la que es trobava

l'objecte observat (massa d'aire: $A = \frac{1}{\sin(h)}$) i l'opacitat de l'atmosfera τ_0 (secció 4.2.1).

4.3.2 Sensibilitat del radiotelescopi

S'entén per factor de sensibilitat del radiotelescopi el quocient $\frac{A_e}{2\kappa}$ que relaciona la contribució a la temperatura d'antena d'una radiofont amb densitat de flux F_ν :



$$T_f = \frac{A_e}{2\kappa} F_\nu \rightarrow \frac{A_e}{2\kappa} = \frac{T_f}{F_\nu} \rightarrow \frac{A_e}{2\kappa} = \frac{1}{e^{-A\tau_0}} \frac{T_f^{obs}}{F_\nu}$$

A on A_e és l'àrea efectiva del radiotelescopi (aproximadament la geometria d'aquest) i κ la constant de Boltzman.

En aquest sentit, per obtenir la sensibilitat del radiotelescopi, s'utilitzarà un calibrador primari de flux F_ν conegut i la seva temperatura mesurada el dia de l'observació T_f^{obs} , tenint en compte la correcció per l'efecte atmosfèric τ_0 .

4.3.3 Densitat de flux

La densitat de flux d'una font es pot obtenir a partir de la sensibilitat del radiotelescopi $\frac{A_e}{2\kappa}$ i la temperatura mesurada T_f^{obs} , tenint en compte també la correcció per l'efecte atmosfèric τ_0 :

$$F_\nu = T_f \frac{2\kappa}{A_e} = \frac{1}{e^{-A\tau_0}} T_f^{obs} \frac{2\kappa}{A_e}$$

A on A_e és l'àrea efectiva del radiotelescopi (aproximadament la geometria d'aquest) i κ la constant de Boltzman.

4.3.4 Índex espectral

L'índex espectral permet identificar si el tipus de radiació d'una font és tèrmica. Es defineix com:

$$F_\nu = K \nu^\alpha$$

a on ν és la freqüència i F_ν el flux. L'índex serà positiu per radiofonts tèrmiques ja que la densitat de flux augmenta amb la freqüència.

Per obtenir l'índex, es determina la densitat de flux de la font per dues bandes diferents (S i X en el cas actual) i s'aplica la següent formulació:

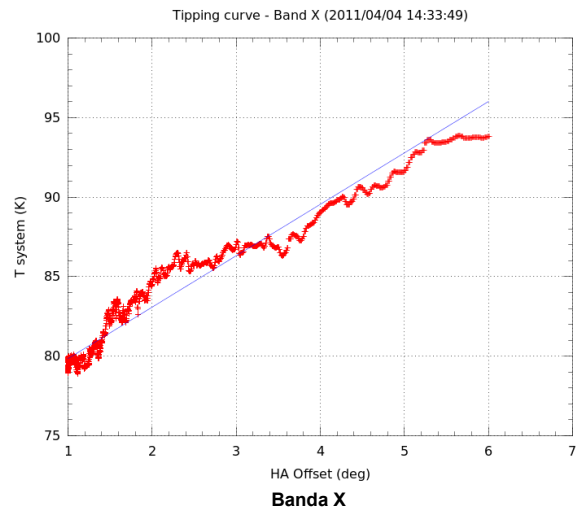
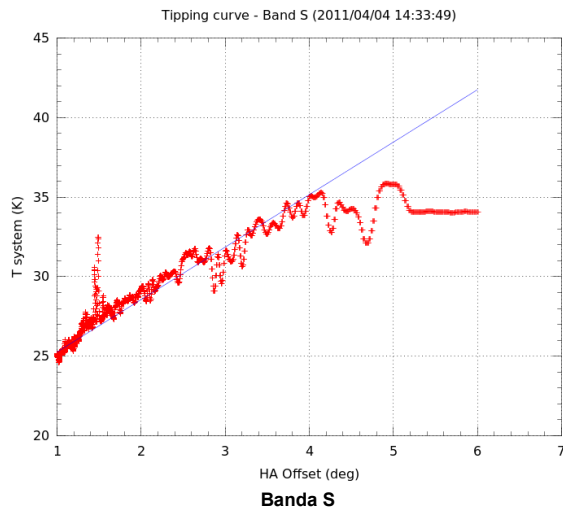
$$\alpha = \frac{\log\left(\frac{F_\nu(\nu_s)}{F_\nu(\nu_x)}\right)}{\log\left(\frac{\nu_s}{\nu_x}\right)} = \frac{\log\left(\frac{F_\nu(\nu_s)}{F_\nu(\nu_x)}\right)}{\log\left(\frac{2.3\text{Ghz}}{8.4\text{Ghz}}\right)}$$

5 Resultats

El processat de les dades s'ha realitzat per duplicat utilitzant el programa original entregat amb l'enunciat de la pràctica i el nou programa desenvolupat pel grup de treball. A continuació s'exposen els resultats obtinguts per ambdós.

5.1 Calibració atmosfèrica

La determinació de l'afectació atmosfèrica en funció de l'alçada/massa d'aire queda representada pels següents gràfics:



En el cas de la banda S s'ha exclòs de l'ajustament la part final de les dades. Els resultats numèrics són els següents:

Tipping			Temperatura receptor (K)		Opacitat atmosfera	
Banda	Freq. (Ghz)	Hora (UT)	Valor	Error	Valor	Error
S	2.3	14:33:49	21.959	0.01	0.0124	3E-05
X	8.4	14:33:49	76.614	0.02	0.0122	3E-05

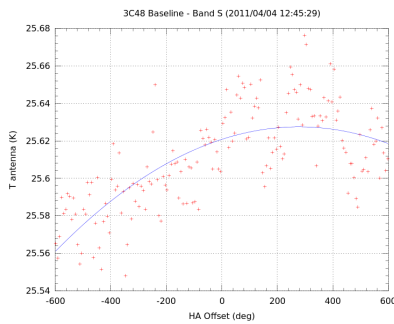
Taula I. Resultats de la calibració atmosfèrica amb el nou programa.

Tipping			Temperatura receptor (K)		Opacitat atmosfera	
Banda	Freq. (Ghz)	Hora (UT)	Valor	Error	Valor	Error
S	2.3	14:33:49	22.138195	-	0.0123	-
X	8.4	14:33:49	76.477135	-	0.0125	-

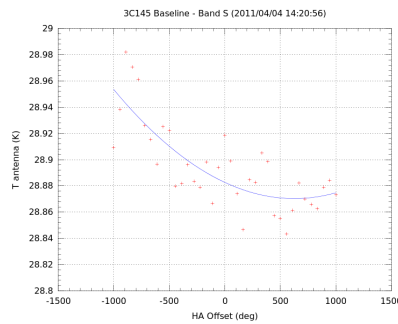
Taula II. Resultats de la calibració atmosfèrica amb el programa de l'enunciat.

5.2 Trànsits

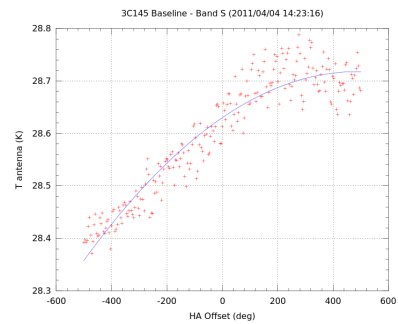
De les mesures obtingudes pels diferents trànsits realitzats el dia de l'observació s'han hagut de descartar un conjunt per presentar error o fortes distorsions:



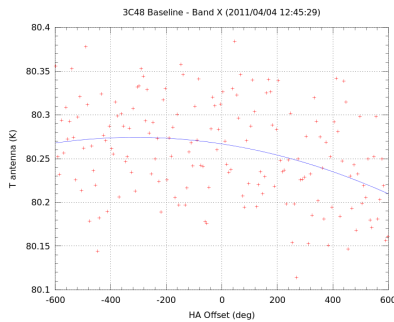
Banda S: 20110404_124529_3C48.txt



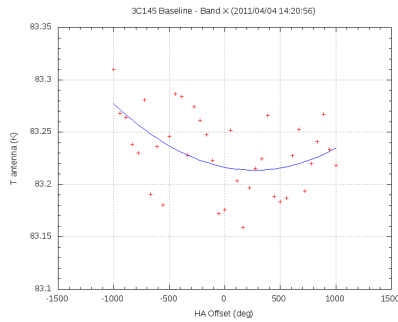
Banda S: 20110404_142056_3C145



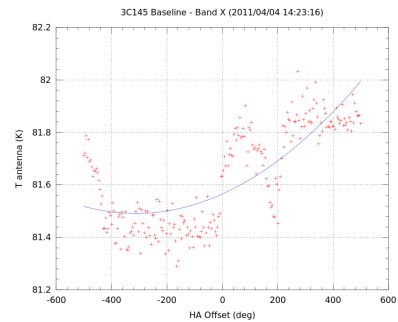
Banda S: 20110404_142316_3C145



Banda X: 20110404_124529_3C48_baseline



Banda X: 20110404_142056_3C145_baseline



Banda X: 20110404_142316_3C145_baseline

Cal destacar que cap fitxer amb les mesures de la regió HII 3C145 ha pogut ser utilitzat i, per tant, no es disposa de resultats per aquesta observació.

Astronomia observacional – Radioastronomia – PARTNeR

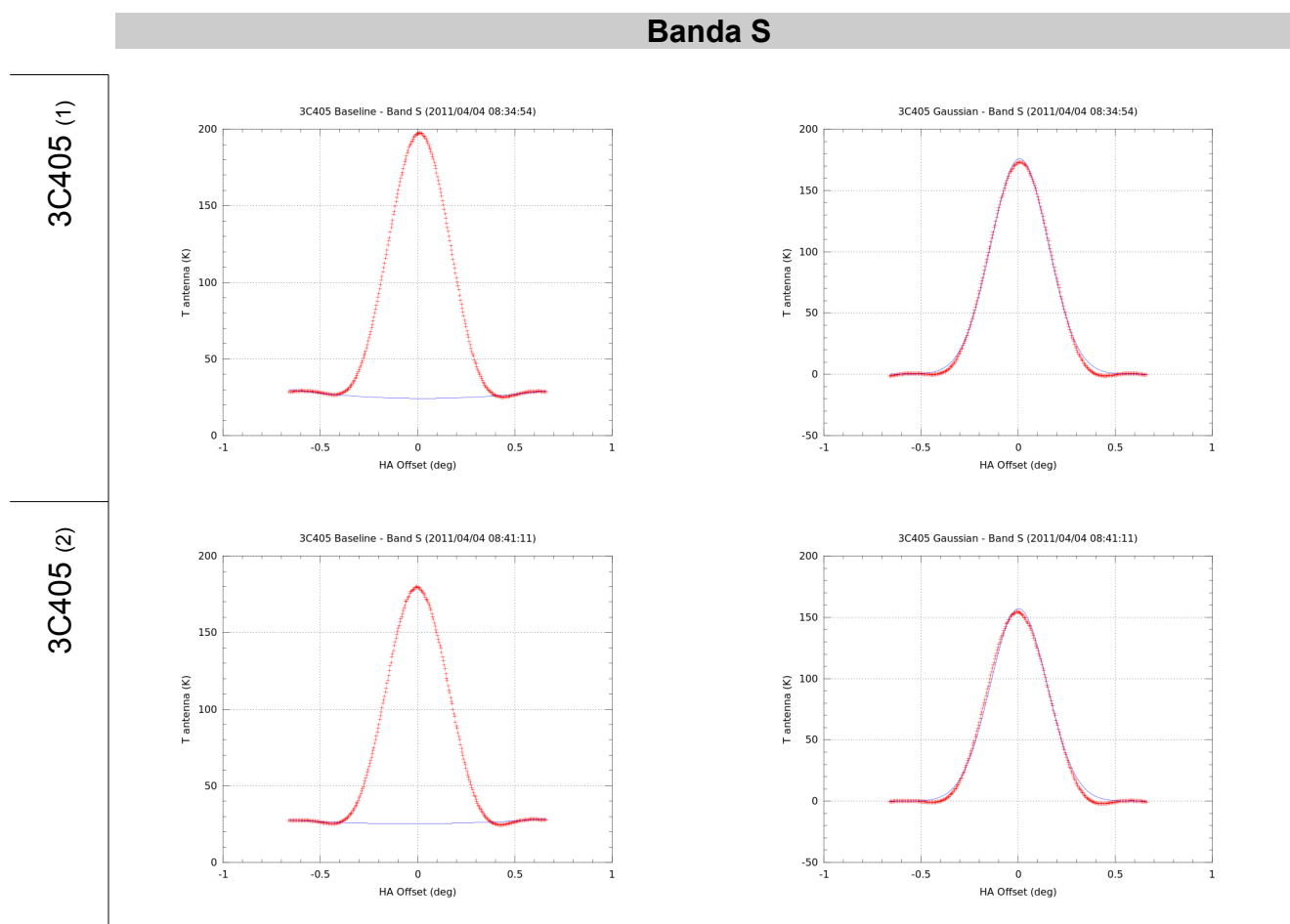
El fitxers amb les mesures que finalment han estat seleccionades són les següents:

	Mesures seleccionades	
	Banda X	Banda S
3C48	transito_X/20110404_123513_3C48.txt	
	transito_X/20110404_125000_3C48.txt	transito_S/20110404_125000_3C48.txt
3C405	transito_X/20110404_083454_3C405.txt	transito_S/20110404_083454_3C405.txt
	transito_X/20110404_084111_3C405.txt	transito_S/20110404_084111_3C405.txt
3C10	transito_X/20110404_132138_3C10.txt	transito_S/20110404_132138_3C10.txt

Taula III. Fitxers amb mesures adients per al seu tractament.

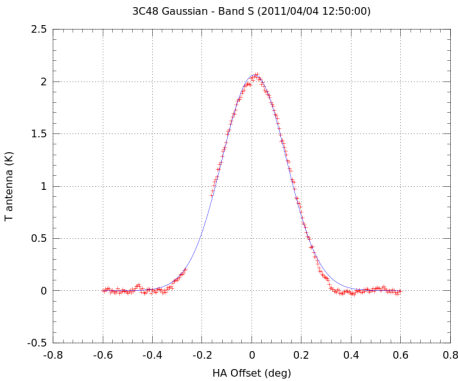
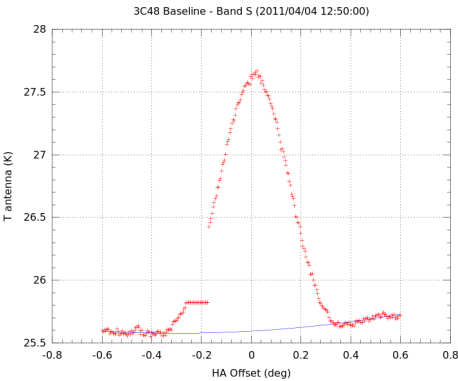
No obstant, cal destacar que les mesures del fitxer “*transito_X/20110404_123513_3C48.txt*” només han pogut ser processades amb el nou programa, donat que aquest facilita l'exclusió de diverses regions per l'ajust de gaussianes.

A continuació es presenten les gràfiques amb els ajustaments de la línia de base (gràfics esquerra) i la gaussiana final (dreta) per les mesures dels diferents objectes:

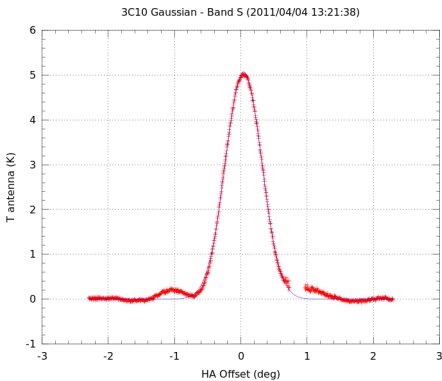
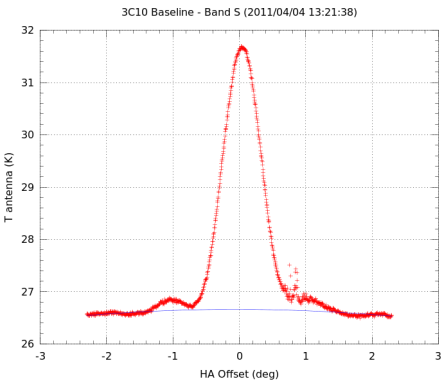


Banda S

3C48

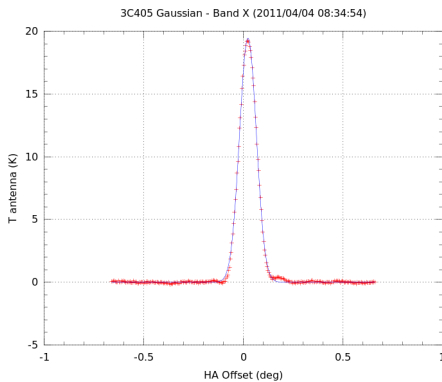
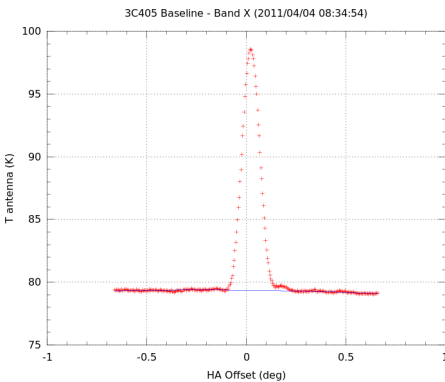


3C10



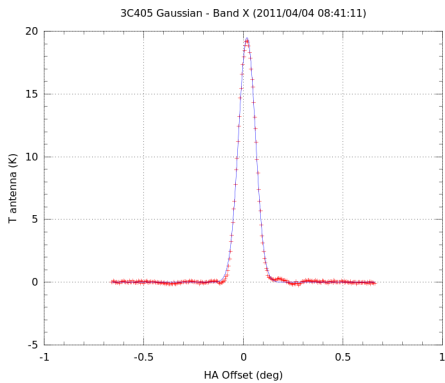
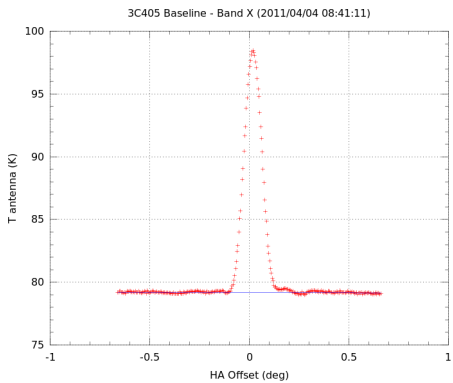
Banda X

3C405 (1)

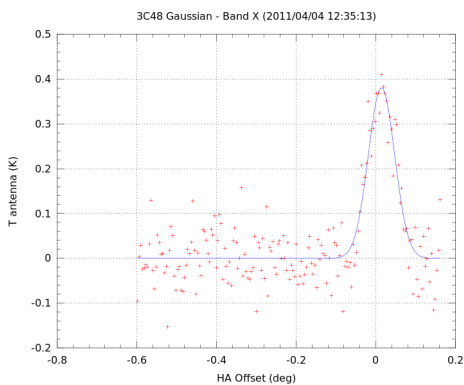
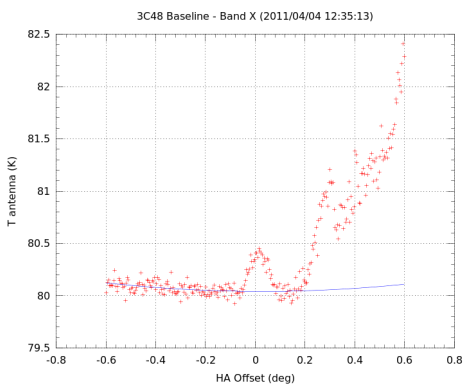


Banda X

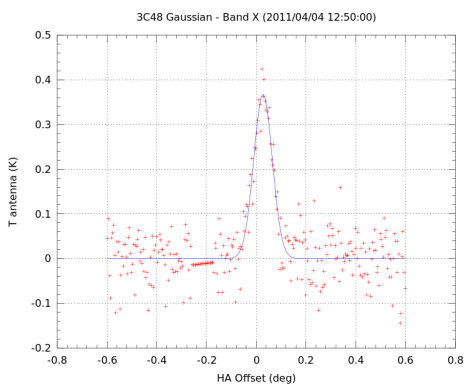
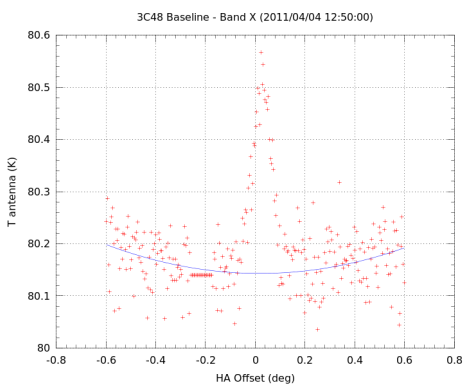
3C405 (2)



3C48 (1)

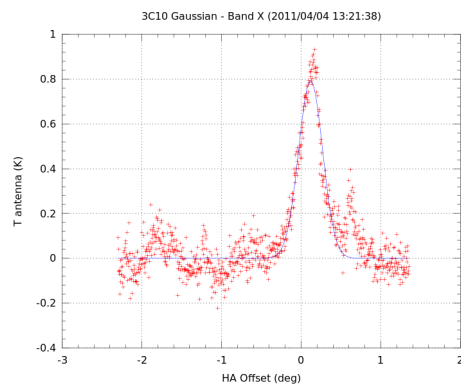
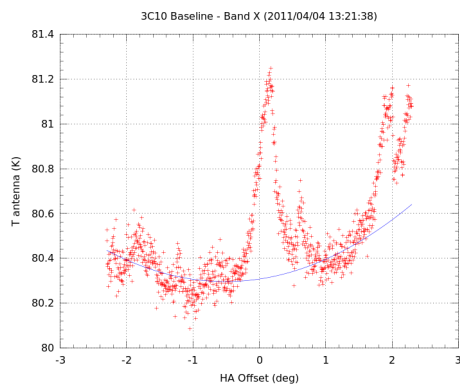


3C48 (2)

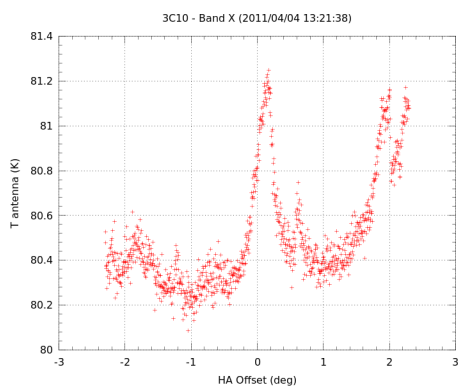


Banda X

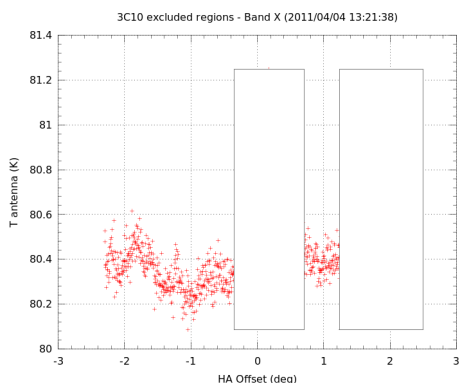
3C10



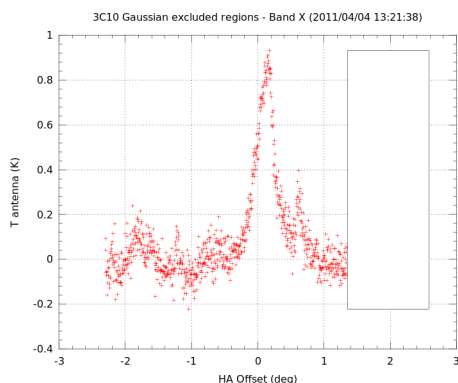
Cal fer notar que, per poder realitzar ajustaments adients, en diversos casos s'han hagut d'excloure regions. Per exemple, pel romanent de supernova 3C10 a la banda X:



3C10: Representació original de les dades (banda X)



Regions excloses: ajustament de la línia base



Regió exclosa: ajustament de la gaussiana

Els resultats numèrics més rellevants dels ajustaments es poden consultar a les taules IV-VII.

5.3 Sensibilitat del telescopi

El calibrador primari 3C48 té una densitat de flux coneguda de 11 Jy i 3.3 Jy en les bandes S i X respectivament. A partir de les dades obtingudes de l'observació d'aquest i els càlculs de la secció 4.3.2, s'ha determinat la sensibilitat del telescopi:

Calibrador	Banda	Hora (UT)	Azimut (°)	Alçada (°)	Massa d'aire	HPBW (arcsec)	Temperatura (K)		Flux (Jy)	Sensibilitat (K/Jy)
							Pic	Pic corregit		
3C48	S	12:50:00	159.17423	82.368448	1.0089367614	0.25622	2.0622	2.0883	11	0.190
3C48	X	12:35:13	140.183961	80.936781	1.0126429025	0.065211	0.38037	0.38510	3.3	0.117
	X	12:50:00	159.17423	82.368448	1.0089367614	0.073773	0.36698	0.37152	3.3	0.113
	Mitja					0.069	0.374	0.378	-	0.115
	Desviació estàndard					0.01	0.01	0.01	-	0.003

Taula IV. Sensibilitat del telescopi obtinguda amb el nou programa.

Calibrador	Banda	Hora (UT)	Azimut (°)	Alçada (°)	Massa d'aire	HPBW (arcsec)	Temperatura (K)		Flux (Jy)	Sensibilitat (K/Jy)
							Pic	Pic corregit		
3C48	S	12:50:00	159.17423	82.368448	1.0089367614	0.246	2,091	2,117	11	0,192
	X	12:50:00	159.17423	82.368448	1,0089367614	0,073	0,364	0,369	3,3	0,112

Taula V. Sensibilitat del telescopi obtinguda amb el programa original.

5.4 Densitat de flux i índex espectral

Finalment, mitjançant els càlculs exposats a la secció 4.3.3, s'ha determinat la densitat de flux de cadascuna de les radiofont problema (a excepció de la regió HII 3C145), així com el seu índex espectral:

Font	Banda	Hora (UT)	Azimut (°)	Alçada (°)	Massa d'aire	HPBW (arcsec)	Temperatura (K)		Flux (Jy)	Índex espectral
							Pic	Pic corregit		
3C405	S	08:34:54	277.133206	76.824275	1,0270364208	0,26248	175,92	178,1835	938,6	-1,27
	S	08:41:11	277,527635	75,643109	1,0322370487	0,25996	157,06	159,0911	838,0	
	Mitja					0,261	166,490	168,637	888,3	
	Desviació estàndard					0,002	13,3	13,5	71,11	
3C405	X	08:34:54	277.133206	76.824275	1,0270364208	0,075545	19,449	19,694	171,8	
	X	08:41:11	277,527635	75,643109	1,0322370487	0,075411	19,488	19,735	172,1	
	Mitja					0,075	19,469	19,715	172,0	
	Desviació estàndard					0,0001	0,03	0,03	0,251	
3C10	S	13:21:38	337,249404	62,350016	1,1289247371	0,27888	5,0712	5,1430	27,1	-1,05
	X	13:21:38	337,249404	62,350016	1,1289247371	0,15553	0,79077	0,80173	7,0	

Taula VI. Densitat de flux i índex espectral obtinguts amb el nou programa.

Astronomia observacional – Radioastronomia – PARTNeR

Font	Banda	Hora (UT)	Azimut (°)	Alçada (°)	Massa d'aire	HPBW (arcsec)	Temperatura (K)		Flux (Jy)	Índex espectral
							Pic	Pic corregit		
3C405	S	08:34:54	277,133206	76,824275	1,0270364208	0,263	176,205	178,448	927,1	-1,24
	S	08:41:11	277,527635	75,643109	1,0322370487	0,261	157,677	159,694	829,6	
	Mitja					0,262	166,941	169,071	878,4	
	Desviació estàndard					0,001	13,1	13,3	68,89	
3C405	X	08:34:54	277,133206	76,824275	1,0270364208	0,075	19,429	19,681	176,0	
	X	08:41:11	277,527635	75,643109	1,0322370487	0,075	19,466	19,720	176,3	
	Mitja					0,075	19,448	19,701	176,2	
	Desviació estàndard					0,0001	0,0264	0,028	0,25	
3C10	S	13:21:38	337,249404	62,350016	1,1289247371	0,270	4,946	5,015	26,1	-0,98
	X	13:21:38	337,249404	62,350016	1,1289247371	0,171	0,809	0,821	7,3	

Taula VII. Densitat de flux i índex espectral obtinguts amb el programa original.

Per les dues fonts, l'índex espectral és negatiu i, per tant, el mecanisme d'emissió no és tèrmic. Aspecte coherent amb que 3C405 és un quàsar i 3C10 un romanent de supernova, a on la radiació és produïda per partícules carregades, com ara electrons, que es mouen a velocitats relativistes (fracció apreciable de la velocitat de la llum) en un camp magnètic.

El flux del romanent de supernova 3C10 a la literatura és de 23 Jy i 15 Jy per la banda S i X respectivament. La densitat de flux obtinguda està al mateix grau de magnitud però no és idèntica. Això és degut a que la font es variable (igual que succeeix amb el quàsar 3C405).

6 Conclusions

Els resultats obtinguts són coherents amb la literatura i amb la naturalesa dels objectes observats, tal i com s'ha exposat a la secció 5. Addicionalment, s'ha verificat que el gruix del feix (HPBW) és similar en tots els casos (~ 0.25 i ~ 0.07 segons d'arc a banda S i X respectivament) i, per tant, no hi ha indicatiu d'errors en aquest sentit (el feix real de l'antena és de 12 i 3.6 minuts d'arc a banda S i X).

Comparativament, els resultats obtinguts amb els dos programes són prou similars. Les diferències són mínimes i vénen derivades del fet que, per l'ajustament de la línia base i la gaussiana, s'exclouen regions manualment, i la selecció feta amb un programa i l'altre no tenen per què coincidir exactament.

Finalment, cal destacar que el desenvolupament d'un nou programa ha permès al grup entendre amb més detall tot el procés de tractament de les dades registrades pel radiotelescopi.

7 Bibliografia

- Astronomia Observacional. Observació radioastronòmica (PARTNeR). Robert Estalella i Isabel Renedo (2009).
- PARTNeR
<http://partner.cab.inta-csic.es/>
- Base de dades SIMBAD
<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>
- Isaac Newton Group of Telescopes – Object Visibility
<http://catserver.ing.iac.es/staralt/>
- Serviastro. Departament d'Astronomia i Meteorologia de la Universitat de Barcelona.
<http://serviastro.am.ub.es/>

- Software:
 - SkyChart III Español
 - Cartes du Ciel - SkyChart
<http://www.ap-i.net/skychart/start>
 - GFortran
<http://gcc.gnu.org/wiki/GFortran>
 - PGPlot5
<http://www.astro.caltech.edu/~tjp/pgplot/>
 - Ruby
<http://www.ruby-lang.org/>
 - Octave i el paquet Optim
<http://www.gnu.org/software/octave/> | <http://octave.sourceforge.net/optim/index.html>