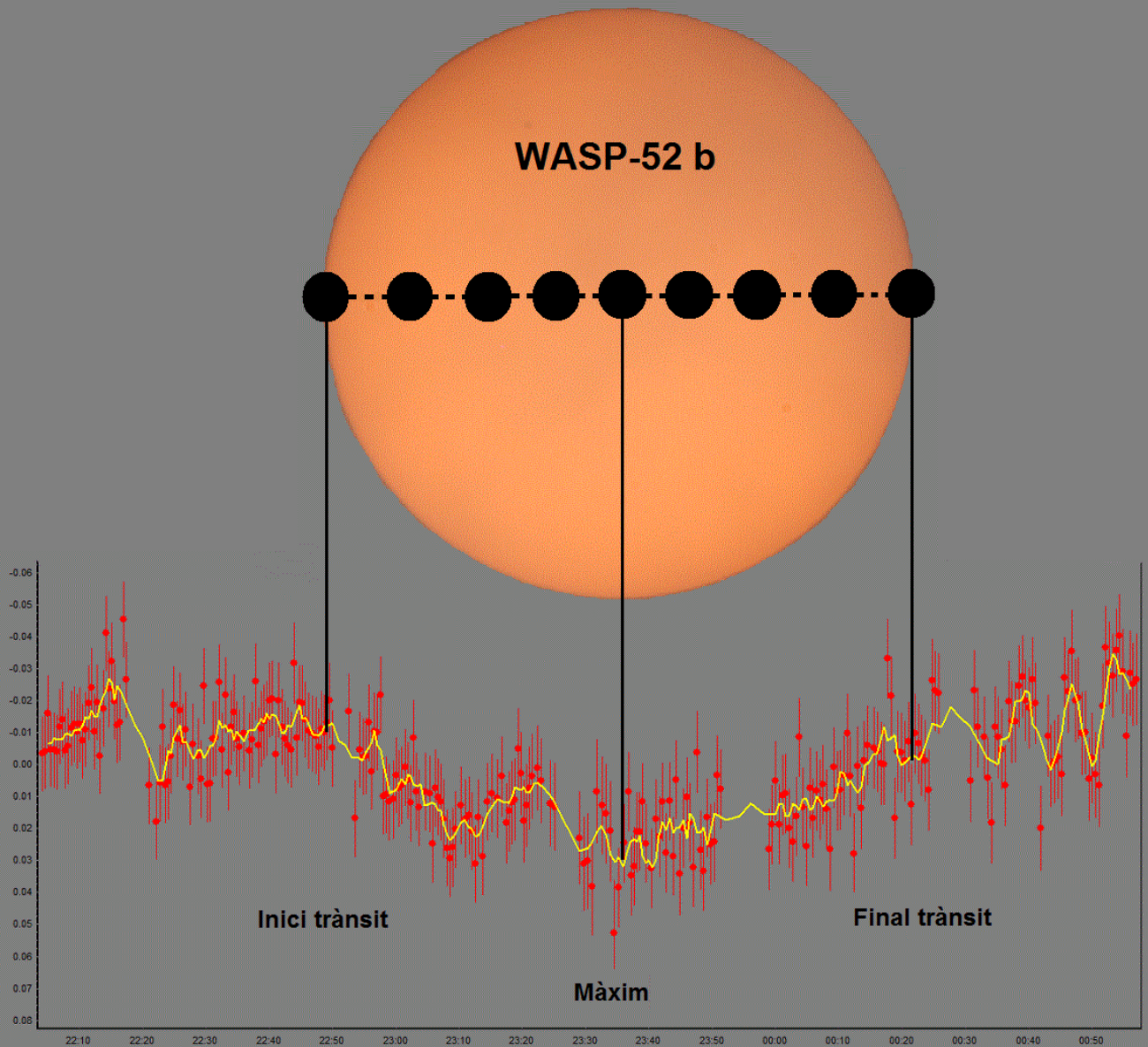


# Treball de Recerca: Buscant ET (Exoplanet Transit)



## Agraïments

Abans de tot, ens agradaria agrair a certes persones la seva col·laboració i dedicació que han fet possible aquest treball de recerca.

En primer lloc, donar les gràcies als tutors per haver dedicat tot el temps que hem requerit per a poder aprendre tots els procediments necessaris, així com les llargues nits d'observació, els consells a l'hora de desenvolupar el treball i sobretot, l'entusiasme mostrat per tal d'aconseguir un bon treball final.

Per altra banda agrair a l'Enrique Herrero, doctor en Astrofísica i expert en exoplanetes, amb experiència de treball en camps astronòmics com el de Calar Alto, Canàries i Montsec, les seves valoracions sobre els nostres resultats i el seu interès per ajudar-nos.

Finalment, volem donar les gràcies a les nostres famílies i parelles pel suport diari proporcionat, el qual ens ha ajudat a realitzar aquest treball amb més ímpetu.

# Índex:

<b>1. Abstract.....</b>	<b>6</b>
<b>2. Introducció.....</b>	<b>7</b>
<b>3. Part teòrica tècnica</b>	
<b>3.1. Descripció de l'observatori.....</b>	<b>10</b>
<b>3.2. Descripció telescopis.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2.1. Telescopi MEADE LX200 12" .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2.1.1. Sistema òptic.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2.1.2. Tipus de muntura.....</b>	<b>14</b>
<b>3.2.1.3. Dades tècniques.....</b>	<b>15</b>
<b>3.2.1.4. Alineació.....</b>	<b>16</b>
<b>3.2.2. Telescopi refractor BlueStar 4" .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2.2.1. Sistema òptic.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2.2.2. Tipus de muntura.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2.2.3. Dades tècniques.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.2.4. Alineació.....</b>	<b>21</b>
<b>3.3. Càmera SBIG ST-9.....</b>	<b>22</b>
<b>3.3.1. Propietats de les càmeres amb CCD.....</b>	<b>23</b>
<b>3.3.1.1. CCD.....</b>	<b>23</b>
<b>3.3.1.2. Registre de llum.....</b>	<b>24</b>
<b>3.3.1.3. Relació amb l'efecte fotoelèctric.....</b>	<b>26</b>
<b>3.3.1.4. Fotografia digital respecte la fotografia química.....</b>	<b>26</b>
<b>3.3.1.5. Calibrats.....</b>	<b>31</b>
<b>3.3.1.6. Importància del format d'imatge.....</b>	<b>36</b>
<b>3.4. Descripció dels programes informàtics.....</b>	<b>37</b>
<b>3.4.1. RegiStax 6.....</b>	<b>37</b>
<b>3.4.2. AstroArt.....</b>	<b>40</b>
<b>3.4.3. FotoDif.....</b>	<b>43</b>
<b>3.4.4. Cartes du Ciel.....</b>	<b>45</b>

## 4. Part teòrica científica

4.1. Exoplanetes?	49
4.2. L'Univers	49
4.3. Via Làctia	50
4.4. Estrelles	52
4.4.1. Vida de les estrelles	53
4.4.2. Com determinar la distància a les estrelles	55
4.4.2.1. Any lluminositat	57
4.4.2.2. Magnitud	57
4.4.3. L'estrella que investigarem: WASP-52	58
4.5. Planetes	60
4.5.1. Sistema planetari	61
4.5.2. Zona d'habilitat	63
4.5.3. Exoplaneta	64
4.5.3.1. Tipus d'exoplanetes	64
4.5.3.2. Curiositats d'exoplanetes	66
4.5.3.3. El planeta que investigarem: WASP-52 b	70
4.6. Eclipsis	72
4.6.1. Trànsit d'exoplanetes	73
4.6.1.1. Quins passos hem de seguir per observar un trànsit?	74

## 5. Part pràctica

5.1. Aspectes a revisar abans d'observar	76
5.1.1. Bon funcionament del telescopi i càmera	76
5.1.2. Alineació	77
5.1.3. Apuntat	78
5.1.4. Enfocament	80
5.1.5. Humitat de la càmera	81
5.1.6. Funció d'autoguiat de la càmera	82
5.1.7. Calibrats	82
5.1.8. Lloc de treball	83
5.2. Part pràctica 1 <sup>a</sup>	84
5.2.1. Observació a la Lluna	84

5.2.2. Observació al cometa Lovejoy C2014Q2.....	86
5.2.3. Observació del Sol i el seu eclipsi parcial.....	87
5.2.4. Observació de Júpiter.....	88
5.2.5. Observació de Saturn.....	89
5.2.6. Observació de galàxies.....	90
5.3. Part pràctica 2 <sup>a</sup> : Trànsit WASP-52 b.....	92
5.3.1. Introducció.....	92
5.3.2. Estructura de les nits d'observació.....	92
5.3.3. Localització del camp.....	93
5.3.4. Abans de les observacions.....	93
5.3.5. 1 <sup>a</sup> observació del trànsit.....	94
5.3.5.1. Explicació aspectes de l'observació.....	94
5.3.5.2. Anàlisi de gràfics i conclusions.....	95
5.3.6. 2 <sup>a</sup> observació del trànsit.....	102
5.3.6.1. Explicació aspectes de l'observació.....	102
5.3.6.2. Anàlisi del gràfic i conclusions.....	103
<b>6. Valoració externa dels resultats.....</b>	<b>105</b>
<b>7. Conclusions finals</b>	
6.1. Coneixements i resultats.....	107
6.2. Dificultats superades i èxits.....	108
<b>8. Annexos</b>	
8.1. Trobades.....	109
<b>9. Bibliografia i Webgrafia.....</b>	<b>110</b>

# 1. Abstract

## Buscant trànsits d'exoplanetes

La finalitat del treball és observar el trànsit d'un exoplaneta en un cel contaminat lluminosament, com és el de Lleida, des de l'observatori de l'institut.

Per poder respondre a la pregunta inicial: «*¿És possible observar el subtil trànsit d'un exoplaneta (unes 0,03 unitats de magnitud) des de l'observatori de l'institut, en un cel suburbà amb contaminació lumínica?*», es realitzaran una sèrie de procediments que permetran detectar si l'estrella té un exoplaneta.

Per començar, es definirà la part teòrica tècnica (telescopi i càmera) i la part teòrica científica. Seguidament, s'explicaran certes observacions prèvies i finalment, s'analitzarà la del trànsit.

Els resultats finals són molt satisfactoris perquè s'obté la gràfica i les dades que verifiquen que hem observat el trànsit de l'exoplaneta WASP-52 b amb suficient qualitat.

## Searching exoplanet transits

Our project is about confirming if we can see an exoplanet transit through the luminescence pollute sky of Lleida, from our high school's observatory.

In order to answer the main project question: «*Is it possible to see an exoplanet transit (0,03 magnitude units) from our high school's observatory, in a suburban sky with luminescence pollution?*», we will realize some methods both technical and practical. These procedures will detect if the star has got an exoplanet or not.

First of all, it has to be defined the theoretical technique (telescope and camera) and the scientific theoretical. Then, we will explain some previous observations. Finally, we will describe the exoplanet transit.

The final results are very satisfying because we get the chart which checks that we have observed correctly the transit of WASP-52 b exoplanet.

## 2. Introducció

### Una simple pregunta

Aquest projecte de treball de recerca gira al voltant d'una una simple qüestió:

*«¿És possible observar el subtil trànsit d'un exoplaneta (al voltant de 0,03 unitats de magnitud) des de l'observatori de l'institut, en un cel suburbà amb força contaminació lumínica?»*

Una pregunta que només pot acabar amb un sí o amb un no per resposta, vet aquí el nostre esforç, ganes i il·lusió per poder acabar aquest treball amb un satisfactori sí.

### Per què és diferent

Per començar, ens agradaria remarcar una petita diferència en aquest treball de recerca. Sí, està ben dit: «ens». Aquest projecte de treball de recerca és fet per dues persones, per dos alumnes de batxillerat científic. Una cosa estranya? Una innovació? No. La ciència és un bé que ens pertany a tots i a totes, i més, en temps actuals.

Nosaltres creiem que un projecte científic tirat endavant per una sola persona és molt difícil de veure avui en dia. Perquè la ciència es treballa en grup, es comparteix, es reforça i es verifica amb altres persones. Tots els laboratoris, els centres d'investigació de tota mena de projectes científics: des de l'estudi de la estructura de la cèl·lula humana fins la investigació de l'Univers més profund, es treballa en grup, en equip. Per nosaltres l'essència de la recerca científica es troba aquí, en compartir-la i treballar-la entre tots. Per aquesta raó, trobem que quina millor manera de fer un treball de recerca científic, que en equip.

## Motivacions

A més, aquesta il·lusió per fer aquest treball d'àmbit astronòmic, prové de la nostra afició per aquesta. Nosaltres ja estàvem vinculats amb l'observatori de l'institut molt abans de pensar en aquest projecte, ja havíem vingut més d'una vegada a observar la Lluna, el Sol, algun planeta com Júpiter o Saturn, alguna galàxia, inclús un de nosaltres va participar en la desena trobada de l'APEA (Agrupación Para la Enseñanza de la Astronomía) a l'estiu del 2013. A més, mai diem no, a llegir qualsevol article o notícia d'àmbit astronòmic, a mirar documentals o vídeos d'actualitat, així com acudir a xerrades i conferències relacionades amb el tema.

Per altra banda, el tema d'exoplanetes ens ho van proposar els nostres professors encarregats i aficionats de l'astronomia al nostre institut, vist el nostre interès en aquest àmbit científic. A nosaltres ens va resultar molt interessant la idea i vam acceptar ràpidament. Des de llavors, hem treballat i ens hem informat força sobre el tema per poder fer un bon treball i aprendre'n el més possible.

## Estructura i objectius del treball

1. Per iniciar aquest treball, ens disposarem a conèixer com funciona el telescopi i a fer-lo funcionar de manera autònoma, així com les càmeres i el software necessari. Explicarem el funcionament de dos dels nostres telescopis (Catadiòptric LX200 i refractor 500) i les diferents posades en estació o alineacions que tenen segons el tipus. També explicarem el funcionament de les càmeres i com calibrar-les amb Dark (soroll tèrmic), Bias (soroll electrònic) i Flat (soroll òptic).
2. Seguidament, ens introduïrem al món dels exoplanetes, és a dir, tots aquells planetes exteriors al Sistema Solar. Explicarem què són i quin mètode utilitzarem nosaltres per fer-ho des de l'Institut.



3. Després de tota aquesta part teòrica, intentarem observar des de l'observatori del nostre institut el trànsit d'un exoplaneta. Vists els resultats, els analitzarem i els explicarem i el més important, intentarem donar una resposta positiva a la pregunta plantejada inicialment.
  
4. Amb tot això podrem arribar a extreure unes conclusions que esperem que siguin satisfactòries i meritòries d'un bon èxit del projecte que hem treballat amb ganes i il·lusió.

## 3. Part teòrica tècnica

### 3.1. Descripció de l'observatori

L'observatori del centre obre les portes a tot tipus de públic que vulgui endinsar-se en un món tan misteriós i enigmàtic com ve a ser l'astronomia.

Se situa a la segona planta de l'institut, més concretament al costat de l'aula 26. A simple vista sembla que aquesta classe sigui igual que les demés, però un cop que hi ets dins et dones compte que no és així. Es tracta d'un lloc idoni, acollidor, amb unes dimensions aproximades de 7 x 4 metres que garanteixen una funció a cada centímetre de l'espai corresponent. Tant és així que hi trobem armaris plens d'estris i eines que ens serveixen d'ajuda, estanteries farcides de llibres i documentals per consultar informació, els ordinadors on els nostres professors hi passen hores en busca de respostes, un telescopi de mà per si volem fer una observació fora del centre i una pantalla que ens ajuda a treballar amb el telescopi des de l'aula..



*Figura 1: Fotografia panoràmica de l'aula d'astronomia.*

A més, hi ha uns esgraons en forma de caragol que ens porten cap a la cúpula de l'observatori, on realitzem totes les observacions i on hi passem moltes hores en busca de respostes. Consisteix en un espai on no poden haver més de 10 persones ja que el seu diàmetre és de 4 metres, amb poca lluminositat i les parets pintades de negre. Per què d'aquest color i no un altre? Doncs per la senzilla raó de que el negre és un color que absorbeix tots els altres. D'aquesta manera s'evita que a les parets es donin reflexos no desitjats que puguin perjudicar les fotografies. Cal afegir que la cúpula de l'observatori està fabricada a base de fibra de vidre i té una obertura d'uns 90 cm que equivalen a uns 30°



**Figura 2:** Fotografia corresponent al telescopi LX200 de 12".

de visió. Aquest telescopi es troba en la zona central i es reconeix amb el nom de *Meade LX200 de 12"*. En l'observatori, a més, trobem un petit armari on desarmem els estris del telescopi (oculars, càmeres) i un portàtil que faria la mateixa funció que un timó en un vaixell. Una de les darreres incorporacions a la cúpula va ésser la integració d'un motor que fes girar-la de manera automàtica per tal de suprimir el mètode tradicional de tirar de les anses i moure-la manualment.

Així doncs, aquest petit observatori conté avantatges de sobres per a que puguem realitzar el nostre treball de recerca. Tals com: es troba al mateix institut on estem fent el batxillerat, conté tots els materials necessaris per dur a terme quasi qualsevol observació, les instal·lacions són idònies, és públic, etc. Tot i així, també hi trobem algun inconvenient que es basa principalment en que el centre està situat a un barri de Lleida, és a dir, en una localitat on hi ha molta contaminació lumínica que ens priva de poder observar en certs punts del cel visible. Com la nostra posició respecte Lleida és al Sud, l'horitzó Nord es troba perjudicat perquè en aquest punt cardinal es troba la ciutat amb la Seu Vella i en el cas que el centre es localitzés al Nord de la ciutat de Lleida, l'horitzó perjudicat seria el Sud. Arran d'això, tenim sort d'estar en aquest lloc perquè l'horitzó Sud no es troba gaire afectat ja que en aquest camp és on es troben la majoria dels astres més reconeguts com són els planetes del Sistema Solar, galàxies i constel·lacions més importants a nivell de reconeixement.

En conclusió, tot i què les condicions del observatori no són perfectes, aquest és un espai idoni per començar a aprendre i a descobrir les meravelles de l'univers.



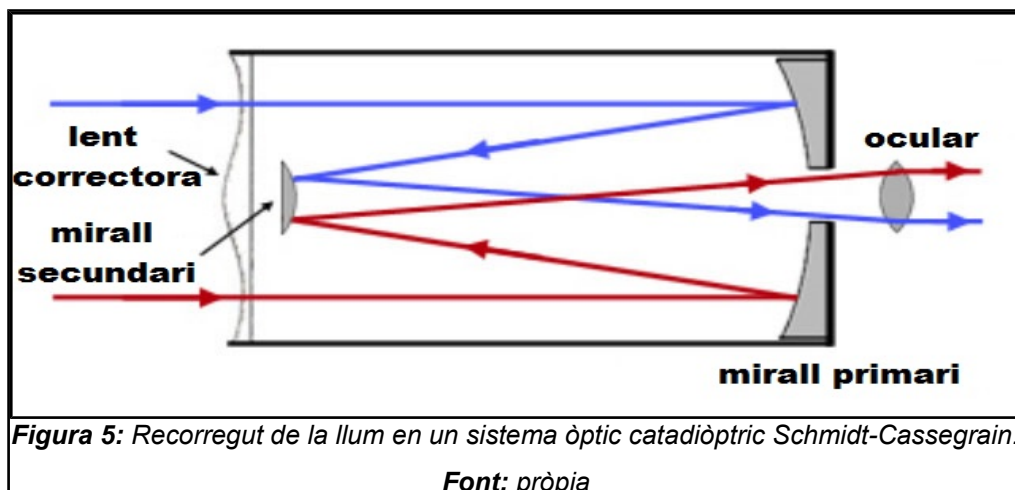
*Figura 3: Fotografia panoràmica de l'observatori del centre.*

## 3.2. Descripció telescopis

### 3.2.1. Telescopi Meade LX200 12”

#### 3.2.1.1. Sistema òptic: Catadiòptic Schmidt-Cassegrain

Aquest tipus de telescopi fa servir al seu esquema òptic un sistema de lents i miralls similar al de les càmeres fotogràfiques. En el seu disseny, basat en les càmeres Schmidt, el feix de llum travessa primerament una *lent correctora* abans d'ésser reflectida en un mirall, anomenat *mirall primari*. La funció d'aquesta lent és corregir l'aberració esfèrica que provoca el mirall primari, en altres paraules, “adapta” la llum al mirall primari —aquesta característica és la que caracteritza i diferencia aquest tipus de telescopi dels altres—. Seguidament, el mirall primari reflecteix la llum fins al *mirall secundari*, el qual la redirigeix fins a la part posterior del tub òptic, a través d'un orifici en el mirall primari, on es situa l'ocular.

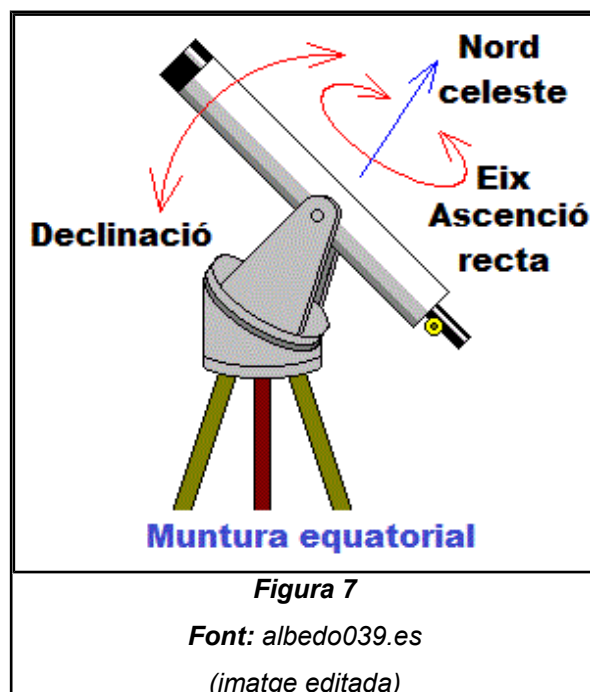
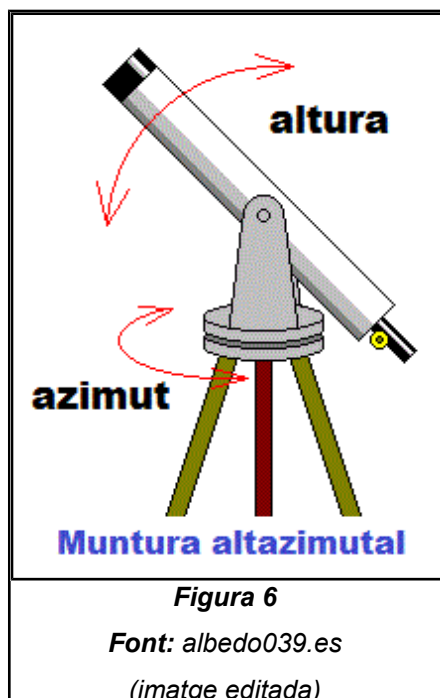


### 3.2.1.2. Tipus de muntura: Equatorial / Altazimutal de forquilla

El LX200 fixe del nostre observatori disposa d'una muntura de forquilla, la qual pot ésser canviada de posició per la base, aleshores té la possibilitat de tenir una posició equatorial (la utilitzada normalment) o altazimutal.

(figura 6) La muntura altazimutal és la més simple. Realitza moviments en el pla horitzontal i en el pla vertical, *azimut* i *altura*, respectivament. Així que per compensar el *moviment aparent* de les estrelles (sensació visual a terra ferma deguda a la rotació de la Terra sobre el seu eix) en una exposició, s'han de moure tots dos eixos.

(figura 7) A la muntura equatorial, els dos eixos més importants són l'*eix de declinació* i l'*eix d'ascensió recta*, tots dos perpendiculars entre ells; i aquest últim, ha d'apuntar al Nord celeste, és a dir, a l'estrella Polar.



### 3.2.1.3. Dades tècniques

#### Augments

El valor del diàmetre d'un telescopi és la dada més important per poder saber l'augment màxim i mínim que se li pot exigir. D'aquesta manera, per a segons quin tipus de telescopi, existeix una constant mitjançant la qual, si es multiplica pel valor del diàmetre (en mm), ens dona l'ampliació màxima que li podem exigir al nostre telescopi. Aquesta constant varia de 2,4 a 2,7 en telescopis tradicionals i en telescopis altament corregits, pot arribar a 4.

D'aquesta manera, el LX200 12" pot arribar a una ampliació màxima d'uns 750x aprox.:

$$305 \text{ mm} \times 2,4 = 732x \approx 750x$$

L'amplificació depèn de dues característiques optatives: la longitud focal del telescopi principal i la longitud focal de l'ocular utilitzat en el moment d'una observació.

En el cas del LX200, la longitud focal del telescopi és de 3048 mm, ja que és de 12". Així que per calcular el nombre d'augment que tenim en una observació, haurem de fer servir la fórmula "Ampliació =  $F_{\text{telescopi}}/F_{\text{ocular}}$ "

**Exemple:**

$$F_{\text{telescopi}} = 3048 \text{ mm}, F_{\text{ocular}} = 26 \text{ mm}, \text{Ampliació} = ?$$

$$\text{Ampliació} = F_{\text{telescopi}} / F_{\text{ocular}} = 3048 \text{ mm} / 26 \text{ mm} = 117x$$

## Resolució màxima

La resolució màxima és la capacitat més alta de captar els detalls. Es calcula molt fàcilment mitjançant una fórmula empírica:

$$\text{Resolució} = 11,4 / \text{diàmetre}$$

*On la resolució és en segons d'arc i el diàmetre en cm.*

D'aquesta manera, el LX200 12" té una resolució màxima de 0,374 segons d'arc:

$$\text{Resolució} = 11,4 / 30,5 = 0,374 \text{ segons d'arc.}$$

Quan parlem de segons d'arc de resolució, estem referint-nos a la resolució que es fa servir a l'astronomia, la *resolució angular*. Això significa, en aquest cas, l'angle amb què veuríem un cabell humà a 30 m de distància. Aquesta fa referència al poder d'un instrument òptic per separar dos objectes d'una imatge. En astronomia, la qüestió generalment plantejada és la distància angular que separa dues estrelles, per així poder-les distingir separatament.

### 3.2.1.4. Alineació: Altazimutal o equatorial (base opcional)

*Primer de tot és molt important anivellar amb molta precisió el telescopi al terreny!*

#### **Alineació automàtica (no és possible la 1<sup>a</sup> vegada que s'utilitza el telescopi)**

1. Prémer *ON* i esperar que el telescopi inicialitzi el sistema. S'iniciarà *Smart Drive*.
2. El telescopi seguirà una sèrie de rutines: buscar posició Home, detectar anivellació de la base del telescopi, trobar la orientació del tub, trobar el Nord, sincronitzar-se amb satèl·lits GPS i alinear-se.



### Alineació altazimutal amb dues estrelles

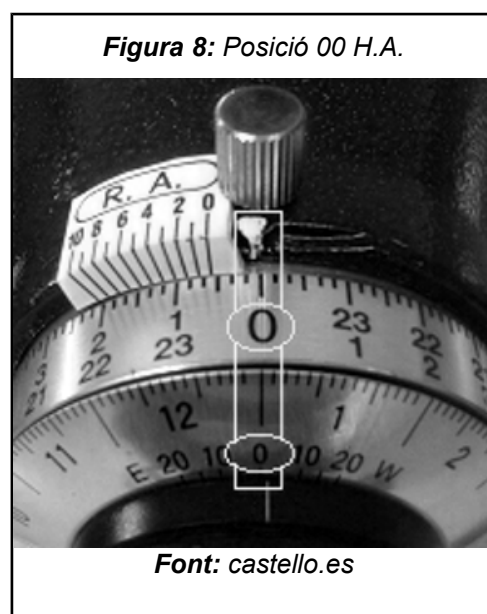
1. Seleccionar «Align: Two stars» al panell de control del telescopi.
2. Col·locar el telescopi en la posició d'inici (Home): col·locar tub òptic en declinació  $0^{\circ}$  segons marca el disc, col·locar panell de control orientat al sur, col·locar ascensió recta on el tub quedi orientat al nord i prémer *ENTER*.
3. Elegir la primera estrella d'alineació (una brillant) de les que ofereix el comandament del telescopi. El telescopi es dirigirà a ella. Centrar l'estrella a l'ocular. Prémer *ENTER*.
4. Repetir procediment amb la segona estrella d'alineació. Prémer *ENTER*.
5. Alineació completada.

### Alineació altazimutal amb una estrella

Aquest tipus d'alineació és exactament igual a l'alineació altazimutal amb dues estrelles, però només és realitza amb una sola estrella.

### Alineació equatorial (polar)

1. Definir telescopi en mode de muntura polar. Seleccionar al panell de control que el telescopi s'alineï amb una estrella. Posar telescopi en posició Home.



2. Ajustar la muntura a la latitud d'observació. Utilitzant les fletxes de moviment (cap a dalt i cap abaix), girar el tub del telescopi en declinació fins que la lectura sigui de  $90^\circ$ .

3. Rotar el telescopi manualment en ascensió recta fins la posició 00 H.A. (**figura 8**). Prémer *ENTER* (el telescopi es mourà a *Polaris*). Centrar *Polaris* utilitzant controls de la muntura.

4. Alineació completada.

### ***Alineació del buscador!***

De la mateixa manera que és important alinear bé el telescopi abans de fer observacions, també és important alinear el buscador del telescopi.

- Per fer-ho, cal utilitzar l'ocular de 26 mm.

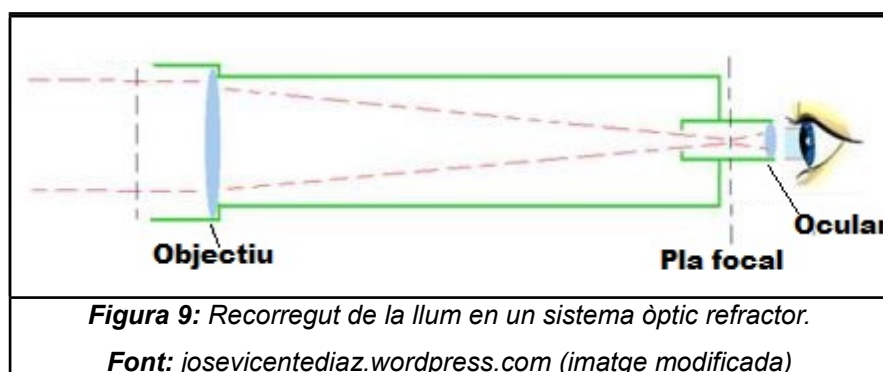
- Apuntar el telescopi principal a algun objecte de fàcil localització a terra (cantonada d'un edifici, llum d'una farola, punta d'una antena...) que estigui com a mínim a uns 200 m de distància. Centrar precisament l'objecte al telescopi principal.

- Amb la petita muntura del buscador, moure'l fins trobar la posició on l'objecte centrat al telescopi quedi centrat de la mateixa manera al buscador.

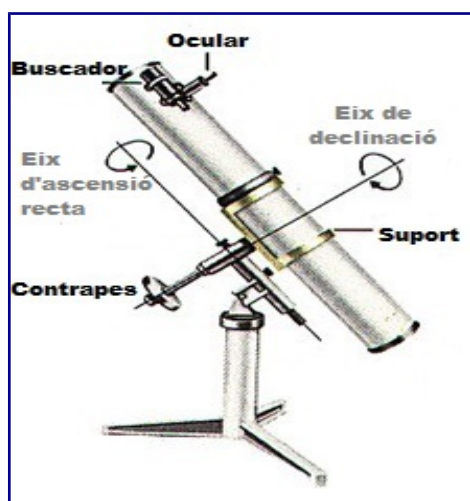
### 3.2.2. Telescopi Refractor Blue Star 4''

#### 3.2.2.1. Sistema òptic: Refractor

El funcionament d'aquest tipus de telescopi es basa en la refracció de la llum emesa per l'objecte. El feix de llum altera la seva trajectòria al travessar la lent de l'objectiu (convergent i amb una gran distància focal) i la lent de l'ocular (convergent i amb una petita distància focal), això provoca que veiem una imatge augmentada de l'objecte observat. És notori el fet de que la imatge resultant es veu invertida, però astronòmicament, aquest fet és irrellevant.



#### 3.2.2.2. Tipus de muntura: Equatorial alemanya



**Figura 10:** Muntura equatorial alemanya.  
*Font: Google images (imatge editada).*

Segueix el mateix sistema de muntura que l'equatorial, seguint els eixos de declinació i d'ascensió recta segons el Nord celeste (estrella Polar). Tot i així, es diferencia en que utilitza contrapesos.

En aquest sistema, el pes del telescopi és compensat i equilibrat per una pesa al final d'una barra que actua com a contrapès, aquest és perpendicular a l'eix d'ascensió recta.

### 3.2.2.3. Dades tècniques

#### Augments

L'ampliació màxima que li podem exigir al nostre refractor varia de la mateixa manera que tots el altres: multiplicant el seu diàmetre (en mm) per el valor de la constant (2,4 aprox.).

D'aquesta manera al nostre refractor li podem exigir una ampliació màxima d'uns 250x aproximadament:

$$102 \text{ mm} \times 2,4 = 245x \approx 250x$$

#### Resolució màxima

La resolució màxima que pot assumir el refractor es pot calcular amb la mateixa fórmula empírica que la del catadiòptic:

$$\text{Resolució} = 11,4 / \text{diàmetre}$$

D'aquesta manera, el refractor Blue Star 4" pot donar una resolució màxima de 1,118 segons d'arc:

$$\text{Resolució} = 11,4 / 10,2 = 1,118 \text{ segons d'arc}$$

### 3.2.2.4. Alineació: Equatorial manual

*Primer de tot és molt important anivellar amb molta precisió el telescopi al terreny!*

1. Intentar que al muntar l'equip, l'eix polar de la muntura apunti al Nord amb màxima precisió possible. *Muntar sempre abans contrapesos que tub del telescopi!*
2. Apuntar l'eix d'ascensió recta al Nord.
3. Regular la inclinació amb l'eix polar segons la latitud geogràfica on es trobi el telescopi.
4. Alineació completada.

### 3.3. Càmera SBIG ST-9

Per aquest tipus de treball de recerca d'àmbit astronòmic es necessita quelcom molt més sensible a la llum que el nostre ull ja que els objectes a observar són molt lluny i per nosaltres és impossible veure'ls a simple vista.

Per tant, el mètode per excel·lència per a poder estudiar l'existència d'exoplanetes és l'ús del telescopi del centre i una càmera molt fotosensible, és a dir, que pugui rebre la poca lluminositat provinent de l'astre a estudiar per tal de poder visualitzar-lo i analitzar-lo.

La càmera que utilitzarem serà la SBIG ST-9 (Santa Barbara Instruments Group), caracteritzada per tenir sensors CCD, la qual la destaca respecte als darrers dissenys. Aquesta càmera és idònia per a llargues distàncies ja que presenta una sensibilitat 20 vegades major a la llum que alguna càmera anterior del mateix tipus. Alhora, permet fer exposicions llargues de cel profund ja que és capaç d'utilitzar la funció "d'auto-guia" – no perdre mai de vista l'objecte que estem observant per sí sola -. Finalment, cal destacar que és una càmera bastant cara però de les que hi ha al mercat, és de les més econòmiques.



*Figura 11: Fotografia de la càmera SBIG ST-9.*

En conclusió, de totes les càmeres que tenim al nostre abast, ens hem decantat per utilitzar aquesta ja que ens proporciona molts avantatges i facilitats respecte les altres donades les seves innovadores característiques tècniques.

### 3.3.1. Propietats de les càmeres amb CCD

#### 3.3.1.1. CCD (Dispositiu de càrrega acoblada)

Aquests dispositius han marcat un abans i un després en el món de la tecnologia, sobretot de l'astronomia. Principalment van estar dissenyats per càrrecs de memòria (actualment les targetes SD (en català, Seguretat Digital)) però s'han arribat a convertir en una eina fonamental per l'astronomia amateur i professional.

La CCD consisteix en un circuit integrat en una superfície de silici – ja que és el conductor més sensible a la llum-. Les CCDs treballen per mitjà dels fotons de la llum que arriben al conjunt de punts que detecten aquestes partícules (píxels). Aquests tenen la capacitat de poder mesurar la quantitat d'energia lumínica rebuda i estan organitzats en files i columnes, estructura anomenada matriu. Tant és així que l'energia rebuda pels píxels es transporta fins a les cantonades del sensor per ser convertides en corrent elèctric. Finalment, es mesura aquest corrent i obtenim la resolució d'una imatge.

En el cas de la nostra càmera, les dimensions d'aquests píxels en la CCD són de 512 x 512, la qual significa una quantitat total de 262144 píxels. Si cadascun d'aquest píxels tenen una mida d'unes 20 $\mu$ , les dimensions del XIP (en català, Execució en plaça) són de 10,2 x 10,2 mm. Com a última dada important a destacar és que aquest tipus de CCD s'anomena KAF0261E.

Unes de les característiques que fan tan important aquesta eina són:

- Detectar objectes molt dèbils, o sigui, de cel profund.
- Obté sèries fotomètriques de gran precisió, és a dir, astres amb lluminositat baixa o magnitud positiva.
- Permet realitzar grans observacions independentment de quin tipus de telescopi fem – per aquest motiu utilitzem aquest instrument per la cerca d'exoplanetes ja que el nostre telescopi és amateur -.

### 3.3.1.2. Registre de llum

Aquests sensors s'han convertit en una eina indispensable de l'astronomia degut a que són capaços de mesurar objectes en el cel molt febles.

Per tant, el seu registre de llum es basa en la distribució de nombrosos píxels—grans quantitats de punts organitzats en fileres i columnes - sobre la superfície de silici del CCD amb la funció de poder captar els fotons de la llum. A partir d'aquest coneixement es realitzen els següents passos:

- 1.- Encendre la càmera per tal d'obrir l'obturador.
- 2.- Realitzar la fotografia desitjada per tal que els píxels rebin una quantitat de llum determinada segons la magnitud de l'objecte a observar.
- 3.- Mitjançant l'efecte fotoelèctric, els mateixos píxels transformen l'energia dels fotons en electrons, és a dir, en corrent elèctric.
- 4.- Aquest corrent elèctric es diposita als catets del sensor per tal de poder ser llegits posteriorment per la resolució de la imatge.

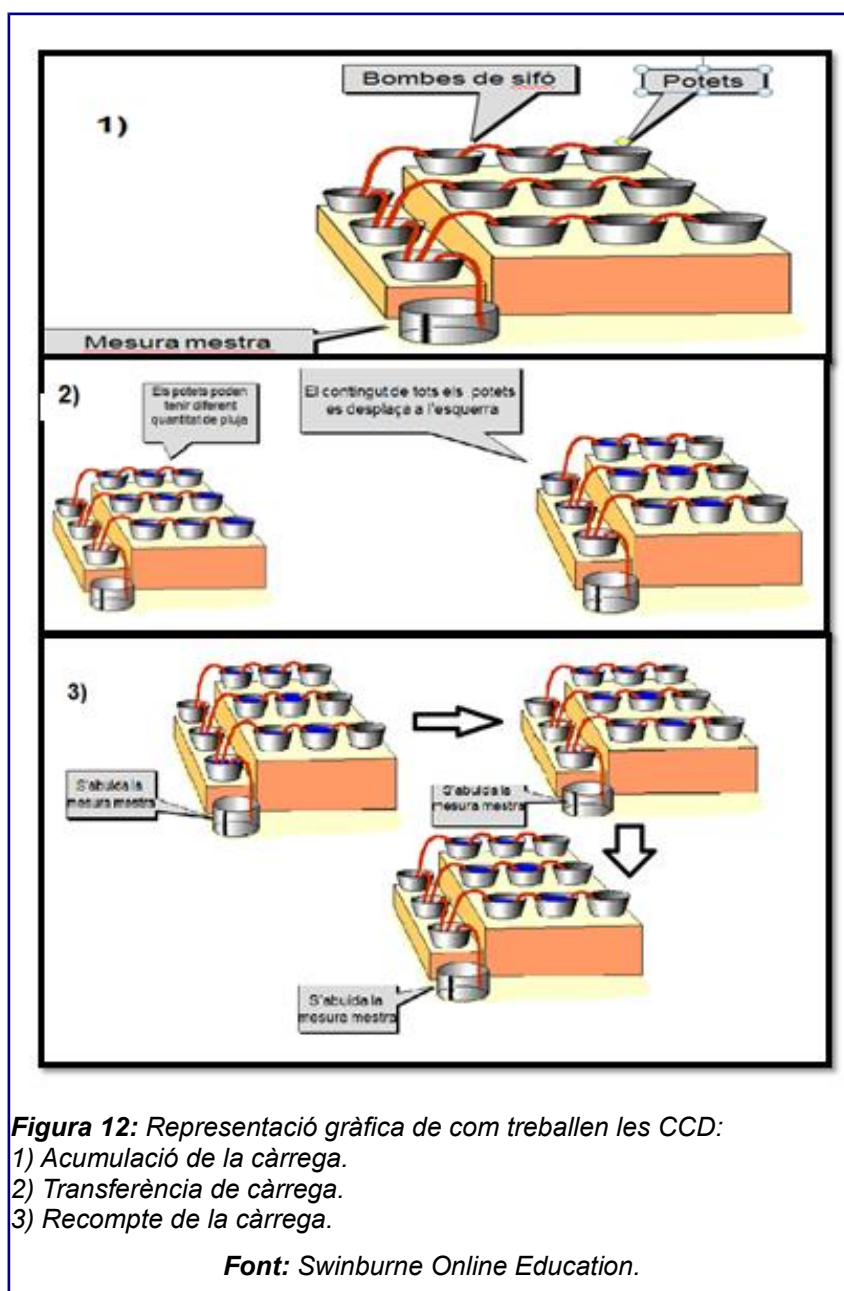
#### Exemple pràctic:

- 1.- A sobre d'una taula del jardí hi posem diversos cubells buits que representin els píxels.
- 2.- Un dia comença a ploure i les gotes de la pluja els omplen, però no tots amb la mateixa quantitat. Això representa la rebuda dels fotons de la llum.



3.- Parat de ploure, anem passant l'aigua del centre de la taula cap als costats, per tal d'abocar-ho tot en un cubell mare, de manera ordenada i sense barrejar les quantitats d'aigua, on es mesurarà el cúmul d'aigua per cub – en la realitat, mesuraríem la quantitat de càrrega elèctrica captada per píxel-.

4.- Finalment, un cop mesurats tots els cubells es treu l'aigua mesurada del pot mare per tal de poder tornar a realitzar el mateix procés posteriorment i es deixa que el lector extern al circuit reproduceixi la fotografia.



### 3.3.1.3. Relació amb l'efecte fotoelèctric

En l'actualitat, la major part dels xips sensibles a la llum es caracteritzen per tenir un funcionament basat en l'efecte fotoelèctric. Aquest procés consisteix en que els fotons de la llum que arriben als píxels de la superfície de silici converteixen de manera espontània l'energia dels fotons en corrent elèctric, és a dir, en electrons. L'explicació d'aquest efecte per Albert Einstein li va valdre el premi Nobel al 1921.

D'aquesta manera, la llum entrant es transforma en una senyal mesurable (eficiència quàntica), on els circuits de la CCD poden llegir i emmagatzemar digitalment aquesta quantitat d'intensitat lumínica rebuda per cada píxel amb la finalitat de poder projectar la imatge desitjada.

### 3.3.1.4. Fotografia digital respecte la fotografia química

Abans de l'aportació de les fotografies digitals, només podíem disposar de l'ús de les fotografies químiques. Aquestes necessiten passar un procés fisicoquímic al laboratori per a poder revelar i processar les imatges.

#### Fotografia química

Durant els darrers anys, la fotografia química ha estat considerada com la fotografia tradicional per mitjà de la seva clàssica cambra fosca. Aquest mètode utilitza bàsicament la pel·lícula fotogràfica (Figura. 2) perquè és un material fotosensible actiu, és a dir, que és capaç de recollir la llum per posteriorment, mitjançant processos fisicoquímics, revelar la imatge per obtenir una bona resolució.



**Figura 13:** Fotogrames d'una pel·lícula fotogràfica (fotografia química).

**Font:** Viquipèdia.

És important tenir en compte que, per realitzar bones fotografies d'objectes febles, és imprescindible realitzar exposicions llargues – temps que disposa la càmera per recollir la quantitat de llum provinent de l'astre per tal d'obtenir una fotografia amb claredat.

Finalment, segons quin tipus d'imatge s'obté després de revelar les pel·lícules fotogràfiques, aquestes poden ser:

- Pel·lícules negatives: Segons la sensibilitat són en blanc i negre o en colors.
  
- Pel·lícules dispositives: Presenten més riquesa i puresa de tonalitat.

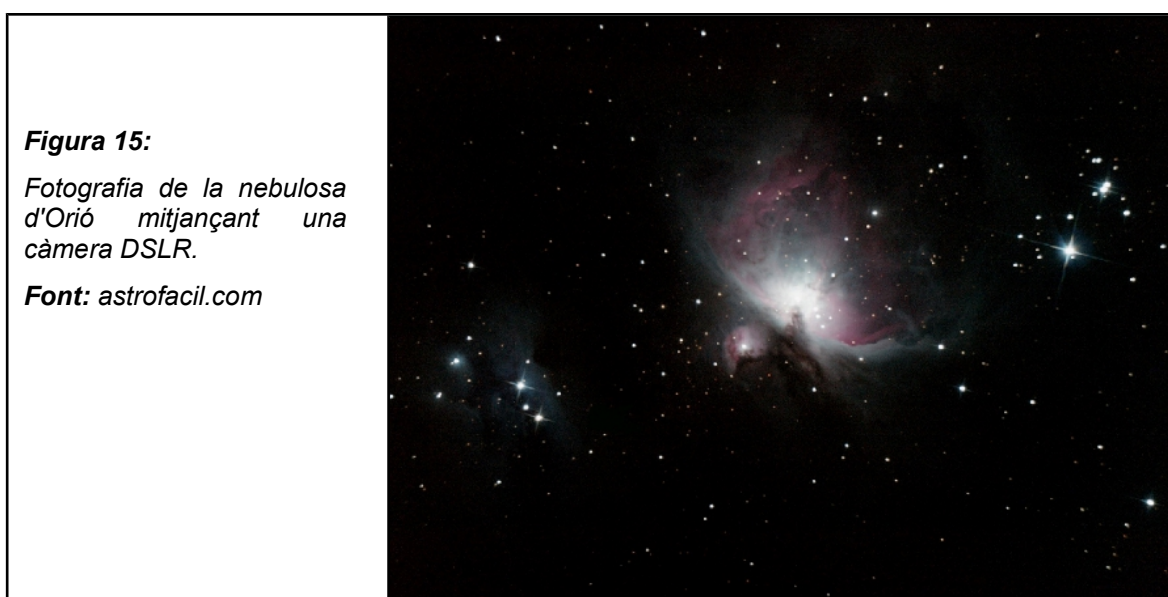
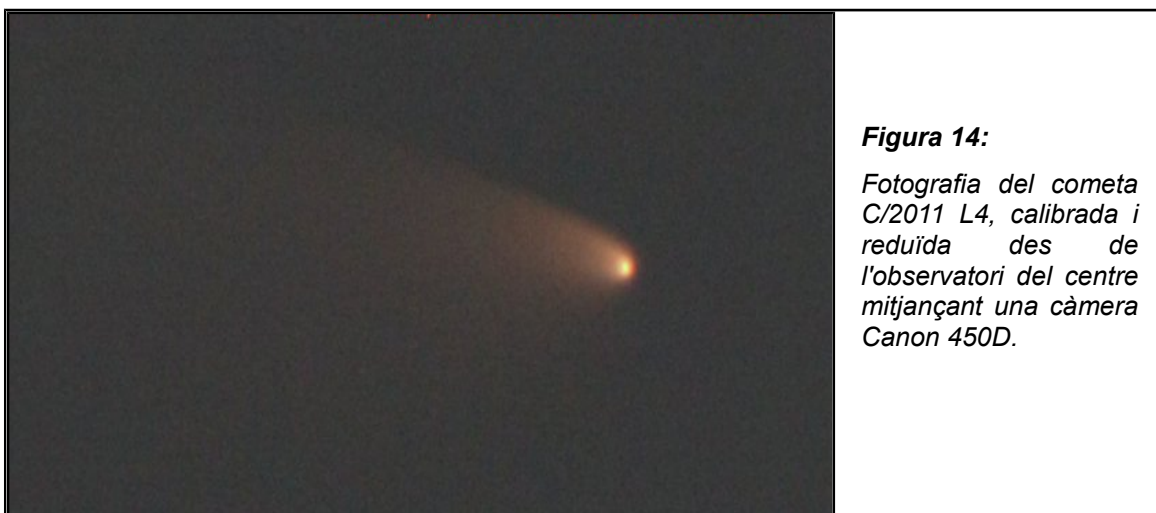
### **Fotografia digital**

La fotografia digital ha estat el fruit dels diferents avenços que s'han produït respecte a la fotografia química. Aquest mètode, a diferència de l'anterior, captura les imatges per mitjà de sensors fotosensibles – els píxels dels sensors CCD – per tal de convertir l'energia dels fotons de la llum en un senyal mesurable com és una càrrega elèctrica gracies al procés de l'efecte fotoelèctric.

Aquest tipus de fotografia aporta l'absència de problemes de FLRBI (Fall de la Llei de Reciprocitat per a Baixa Intensitat) respecte a les fotografies químiques, és a dir, si hi ha pèrdua de linealitat. A més, determina la qualitat de la sensibilitat de la fotografia en llargues exposicions. En aquest cas, com és lineal – senyal mesurable proporcional a la quantitat de llum rebuda – la sensibilitat és molt bona.

Dit això, actualment trobem dos tipus de càmeres digitals:

- De visor: Són les càmeres més senzilles i es caracteritzen per no poder canviar l'objectiu.
- Càmeres Rèflex DSLR (en anglès, Digital Single Lens Reflex): Són més sofisticades perquè permeten un canvi d'objectius que proporciona més qualitat d'imatge.



### Avantatges i inconvenients

A partir d'aquí, nosaltres ens preguntem: Per què ha estat necessari realitzar aquest canvi i fins a quin punt ha estat favorable aquesta innovació d'obtenció d'imatges?

Està clar que la humanitat, a mesura que avancem en el temps, trobem la necessitat de poder facilitar-nos la feina per mitjà de l'ús de les noves tecnologies ja que els resultats són més espontanis i efectius. Per tant, podem trobar aquest seguit d'avantatges i inconvenients de la fotografia digital respecte a la fotografia química:

#### Avantatges:

Fotografia digital	Fotografia química
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Imatges instantànies.</li> <li>2) Si hi ha algun error, et dones compte a l'instant i pots canviar la configuració de la càmera.</li> <li>3) Es poden veure en la pantalla d'un ordinador a l'instant. A més, poden ser editades i utilitzades en qualsevol terme.</li> <li>4) Es guarda informació de la imatge per possibles estudis posteriors.</li> <li>5) El cost de la impressió de les imatges és menor.</li> <li>6) No presenta FLRBI. Tot i que es genera soroll electrònic (apartat 2.5.1) que altera la imatge.</li> <li>7) S'adapta a qualsevol sistema òptic (Càmera DSLR).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Es portaven al laboratori per poder revelar les imatges, la qual es necessita bastant temps.</li> <li>2) Fins que no són processades les imatges al laboratori, no es pot conèixer l'existència d'algun error.</li> <li>3) No ho permetia.</li> <li>4) Únicament presentava la resolució de la imatge després del procés fisicoquímic.</li> <li>5) El cost de la impressió de les imatges és major.</li> <li>6) Presenta FLRBI.</li> </ol>

Inconvenients:

- El preu de les càmeres digitals.
- Quan es realitzen exposicions llargues es pot donar l'aparició de soroll electrònic que perjudica a la resolució final de la imatge i no es poden observar els detalls amb claredat.
- Posa en perill la subsistència de la fotografia química i a la seva "cambra fosca". Tal com diu Israel Belchi, editor d'un bloc anomenat Xataka Foto, diu:

*"Hoy en día, en plena socialización de la fotografía, gracias a los avances tecnológicos todo el mundo tiene cámara, todo el mundo hace fotografías..."*

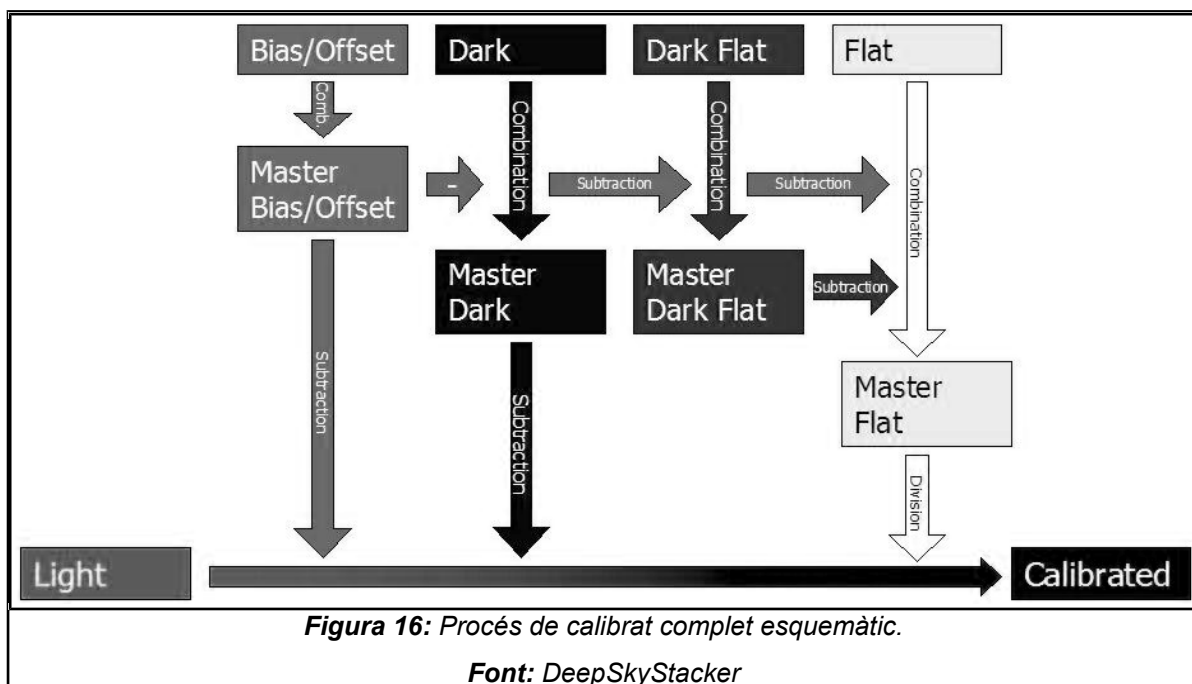
Per tant, la globalització de les fotografies digitals han permès un avanç significatiu en l'obtenció d'imatges, però posen en perill els mètodes tradicionals que s'han emprat amb anterioritat.

### 3.3.1.5. Calibrats

Res del que fem és perfecte, ni tan sols les fotografies que s'aconsegueixen amb les millors càmeres en els millors telescopis. Sempre hi haurà errades en el sistema electrònic i mecànic. Degut a aquestes errades, a les imatges que aconseguim hi apareixen una sèrie de punts lluminosos que no haurien d'estar a les fotografies. A aquestes errades se les anomena soroll.

Com que no podem evitar el soroll, el que fem és aïllar-lo per, d'alguna manera, netejar les fotografies per a que mostrin només el que idealment haurien de mostrar. La manera de fer-ho és aplicant fotografies de calibrat a les imatges com si es tractessin d'uns filtres.

El soroll pot ésser de 3 tipus diferents, en l'astrofotografia: Dark, Bias i Flat.



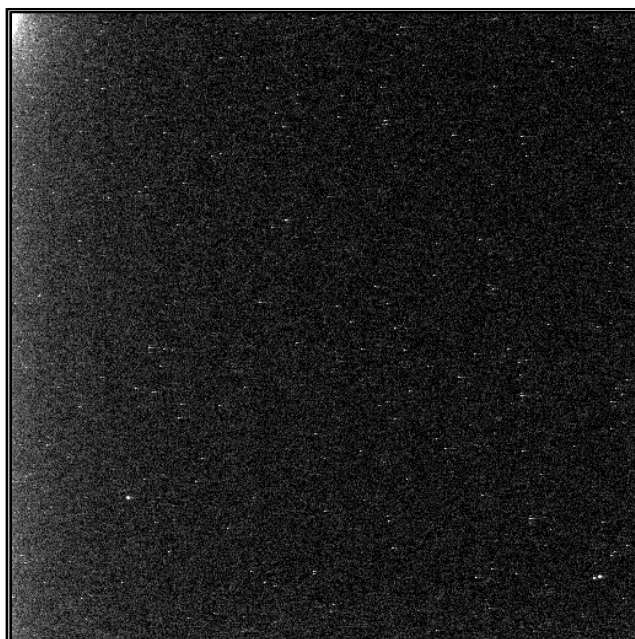
## Dark (soroll tèrmic)

És el soroll que es produeix quan els sensors (o xips) CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) i CCD generen un senyal fosc que contamina la imatge de llum de la fotografia. És degut a que alguns dels electrons de la placa electrònica, a temperatures ambient habituals, s'exciten tèrmicament i donen una senyal de llum on no n'hi hauria d'haver.

Aquest tipus de soroll depèn del temps d'exposició emprat, de la temperatura durant la presa de fotografies i la ISO a la qual es prenen les imatges.

*Mètode per aïllar aquest soroll:*

1. Tapar el tub òptic amb la tapa del telescopi.
2. Fer entre 10 i 20 imatges a la mateixa temperatura, ISO i temps d'exposició a la què farem les imatges del cel.



*Figura 17: Imatge que s'obté després de fer una fotografia en Dark.*

*Font: pròpia*



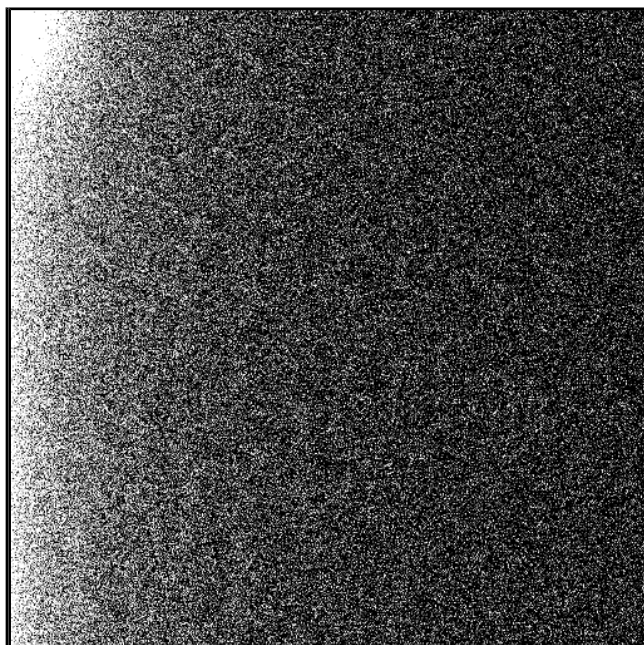
## Bias (soroll electrònic)

Aquest soroll és causat pels xips, que funcionen basats en l'efecte fotoelèctric. Quan extrauen els electrons emmagatzemats, els envien al detector i els transformen en senyal lumínica, generen un mínim senyal elèctric en el procés de lectura que no pertany a la imatge real.

En el calibrat del Bias, la temperatura no és important, però sí que ho és la ISO.

*Mètode per aïllar aquest soroll:*

1. Tapar el tub òptic amb la tapa del telescopi.
2. Fer entre 10 i 20 imatges amb el temps d'exposició més petit que pugui deixar la càmera (1/4000 seg, 1/8000 seg, etc), i amb igual ISO que les imatges del cel.



**Figura 18:** Imatge que s'obté després de fer una fotografia en Bias.

*Font: pròpia*

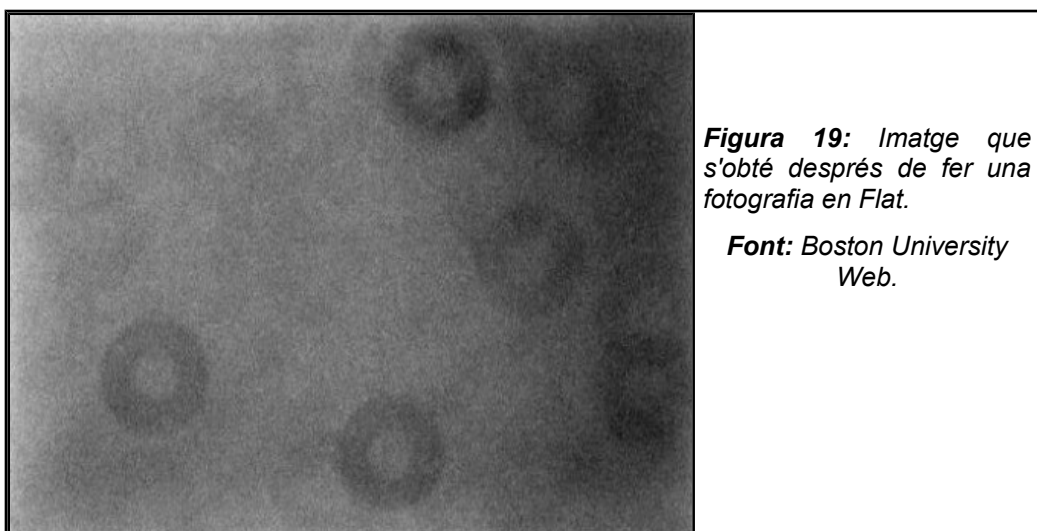
## Flat (soroll òptic)

Aquest soroll és originat pel pols i les taques al tub òptic, els quals han de corregir tant el «vinyeteig», com la desigual il·luminació del camp de visió. S'ha de tenir present que no s'ha de moure la càmera ni canviar cap configuració respecte de les preses de llum, on s'inclou també l'enfocament, les lents (barlows, reductors), l'orientació de la càmera, els filtres, etc.

La temperatura no afecta considerablement, però la ISO sí.

### *Mètode per aïllar aquest soroll:*

1. Il·luminar uniformement una superfície clara i llisa. Pot ser amb un projector, una llanterna potent, una doble camiseta o el lloc oposat a la posta de Sol.
2. Enfocar amb més o menys precisió a l'infinit.
3. Prendre entre 10 i 20 imatges amb la mateixa ISO que les imatges fetes al cel, tot deixant la càmera en el mode d'autoexposició, on ella mateixa triï el temps d'exposició, el qual serà petit (menys d'un segon).



### Què és la ISO?

La llum és fonamental en tota fotografia, ja que sense ella, no hi ha fotografia possible. La sensibilitat ISO és el valor que indica la quantitat de llum necessària per a què la càmera pugui captar una fotografia.

Per tant, la sensibilitat ISO del sensor mesura la reacció d'aquest front davant un determinat nivell de llum en una situació. Aquesta sensibilitat és inversament proporcional a la quantitat de llum present: com més llum hi hagi en l'ambient, menor sensibilitat ISO es podrà utilitzar i viceversa.

*Com a curiositat:*

El nom ISO correspon a las sigles de l'organització "International Organization for Standardization", és a dir, el valor que indica simplement és un estàndard acordat mundialment.

### 3.3.1.6. Importància del format d'imatge

A l'hora de realitzar aquest tipus de fotografies que ajuden al calibratge de la imatge real (light), s'ha de tenir ben clar quin tipus de format se li ha d'adaptar ja que no tots atribueixen les mateixes opcions i algunes tenen certes limitacions. Per tant, haurem de distingir:

- Format RAW (en cru): És un dels millors formats perquè presenta la imatge tal i com és, com es podria dir en àmbit químic, en el 100% de la seva puresa. Té l'avantatge que guarda tota la informació original però té l'inconvenient que ocupa bastant espai de memòria. En aquest cas, l'arxiu no està ni comprimit ni tractat.
- Format JPG (Joint Photographic Experts Group), PNG (Portable Network Graphics), altres: Són els formats en els que les imatges han de passar certs processos específics interns de la càmera i, a més, atribueixen unes certes limitacions per presentar la imatge com a tal. Aquest format sí està comprimit. Un exemple de l'ús dels JPG és que a major compressió, menor serà la qualitat de la imatge i més petit serà la seva mesura.
- Format FITS (Flexible Image Transport System): És el format estàndard per a tota la comunitat astronòmica. Aquest atribueix una capçalera per a desar-hi text de dades expressades en format binari, és a dir, utilitzant com a base dues xifres: el 0 i 1. De la mateixa manera que els format RAW els arxius no estan comprimits.

## 3.4. Descripció dels programes informàtics

Poder obtenir imatges amb una qualitat summament perfecta és impossible ja que hi ha nombrosos factors que alteren la rebuda dels fotons als píxels de la càmera, la qual donen unes imatges que deixen molt per desitjar. Per aquest motiu s'han desenvolupat certs programes per poder processar les imatges astronòmiques les vegades que faci falta per tal d'obtenir la màxima resolució possible.

D'altra banda, també utilitzarem softwares que permeten trobar el camp de visió de l'astre que es vol estudiar i alhora permet sincronitzar-se amb el telescopi i enviar-lo de forma automàtica a aquestes coordenades específiques.

Finalment, aprofitarem un altre programa que permet recollir totes les imatges d'una observació per tal d'elaborar una gràfica que mostri si hi ha una caiguda de magnitud o no, és a dir, si la llum rebuda per l'astre que estem estudiant ha disminuït durant un temps determinat.

Llavors, els programes que posarem en pràctica són:

- Processar i millorar imatges: RegiStax i AstroArt.
- Dirigir el telescopi automàticament: Cartes du Ciel.
- Obtenció de gràfiques: FotoDif.

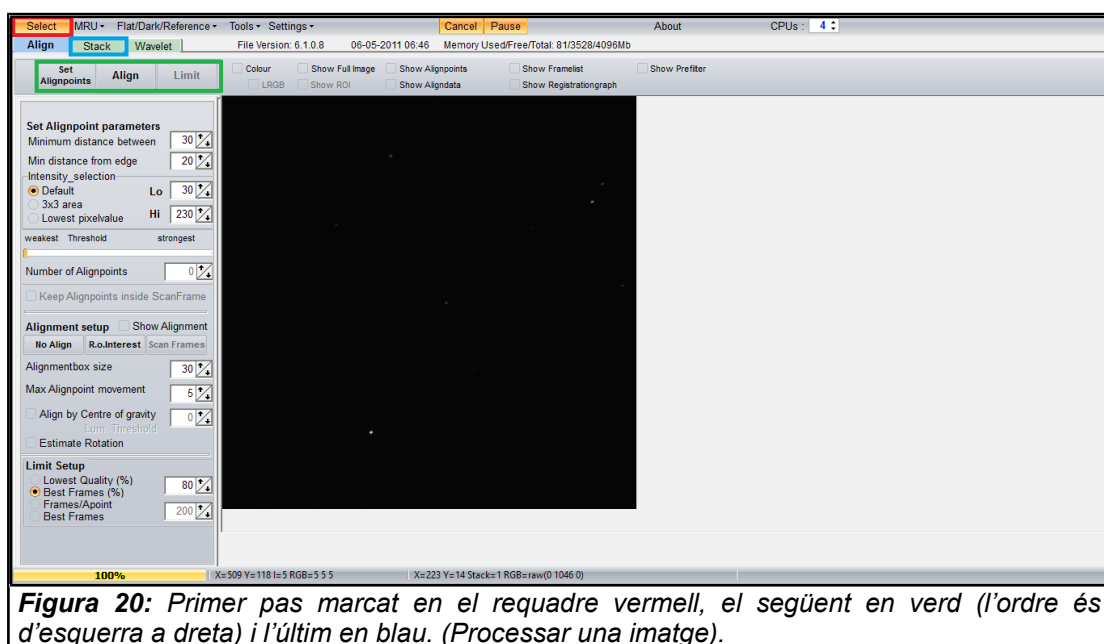
### 3.4.1. RegiStax 6



**Finalitat:** És un programa lliure que ens permet seleccionar, alinear, sumar i processar imatges a partir de vídeos o sèries d'imatges de manera automàtica. A més, podem millorar la qualitat de les imatges desitjades.

Passos a seguir per processar la imatge:

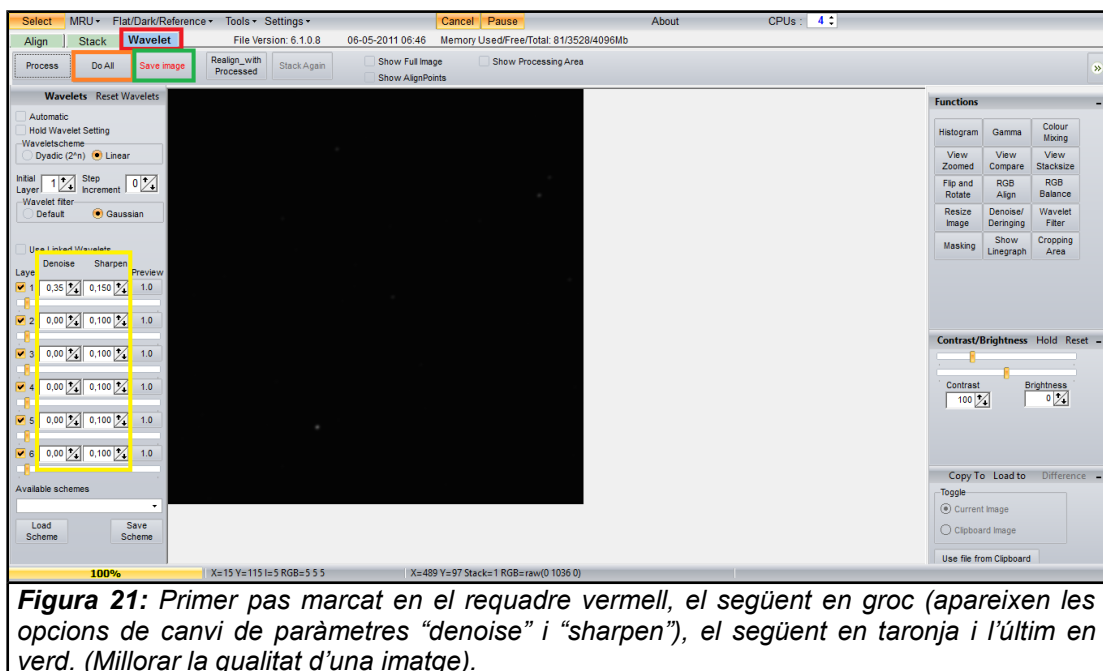
1. Prémer la pestanya “Select” i seleccionar el vídeo o sèrie d’imatges.
2. Mitjançant la barra situada a la part inferior, moure-la de costat a costat per tal d’elegir el millor fotograma.
3. Prémer l’opció “Set Alignpoints” i elegir quants punts volem que agafi de referència el programa.
4. Prémer l’opció “Align” i a continuació l’opció “Limit”. Seguidament obrim la pestanya del costat “Stack”.
5. Finalment, si es desitja guardar la imatge, prémer l’opció “Save imatge”.



**Figura 20:** Primer pas marcat en el requadre vermell, el següent en verd (l'ordre és d'esquerra a dreta) i l'últim en blau. (Processar una imatge).

Passos a seguir per millorar la qualitat:

1. Obrir la pestanya que posa “Wavelet”.
2. Modificar segons convingui els paràmetres de la imatge (els canvis emprats s’observen en una petita franja de la imatge):
  - a. “Denoise”: Corregir imperfeccions.
  - b. “Sharpen”: Enfocar la imatge.
2. Prémer “Do all” per aplicar la resolució de la petita franja a tota la imatge.
3. Guardar la imatge mitjançant l’opció de “Save imatge”.



### 3.4.2. AstroArt

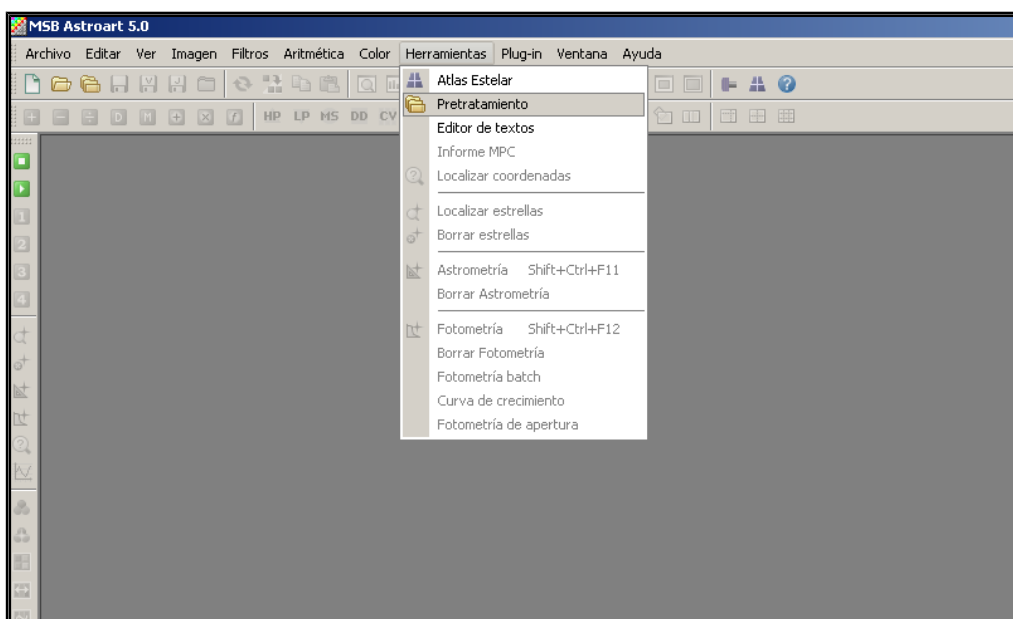


**Nom:** MSB AstroArt 5.0

**Finalitat:** És un programa comercial que el centre en té llicència que ens permet tractar tot tipus d'imatges astronòmiques. En aquest cas podrem alinear-les.

Passos a seguir:

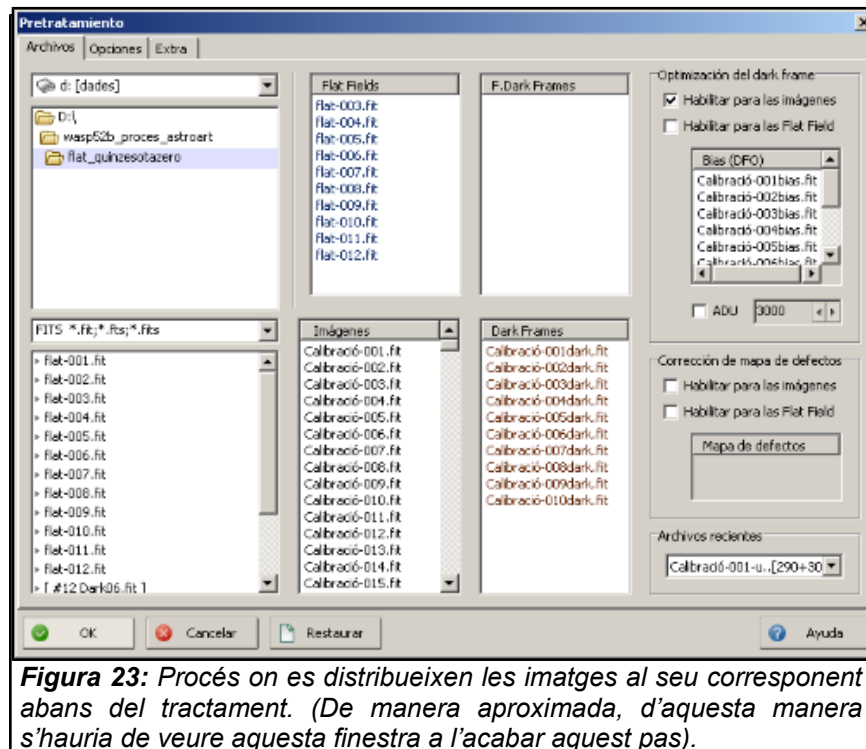
1. Seleccionar l'opció "Herramientas" i prémer el botó "Pretratamiento". A continuació ens apareixeria una nova finestra.



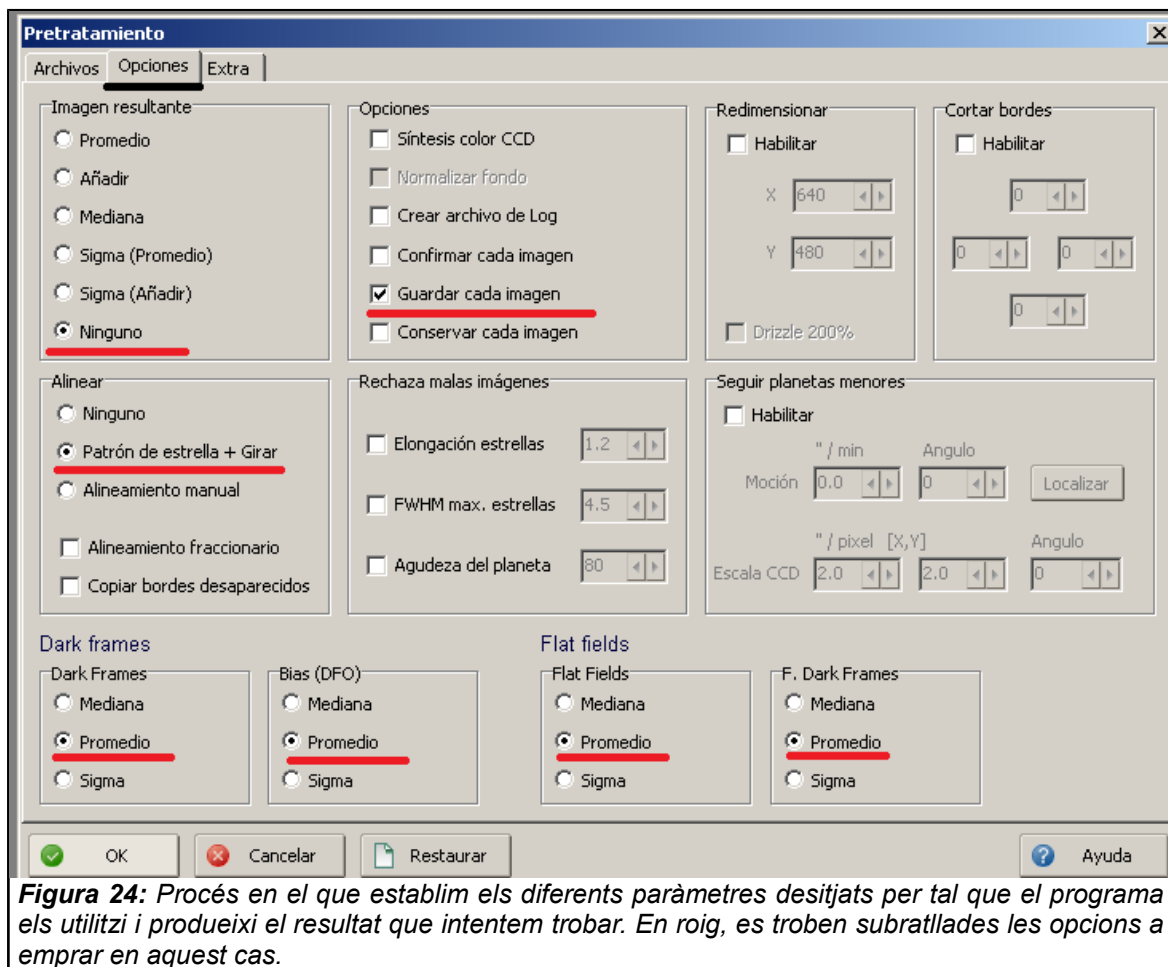
**Figura 22:** Passos previs al pretractament de les imatges obtingudes amb la finalitat d'alinear-les.



2. Seleccionar la carpeta on són les fotografies per a poder escollir les imatges a tractar a la barra superior de l'esquerra. Tot seguit prémer en la carpeta i les imatges apareixeran just al requadre de sota. Les seleccionem i les arrosseguem fins el requadre que posa "Imágenes". A continuació, buscar les fotografies corresponents al Dark, Bias i Flat i fer el mateix però arrossegant les imatges al seu lloc corresponent.



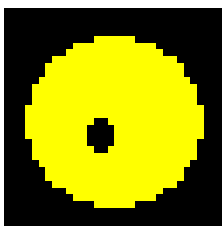
3. Seleccionar la finestra del costat de "Archivos", o sigui, la que posa "Opciones". Aquí hi hauran diversos requadres amb diverses opcions cadascuna. Per tant, haurem de marcar:
  - a. "Imagen resultante": "Ninguno".
  - b. "Opciones": "Guardar cada imagen".
  - c. "Alinear": "Patrón de estrella + Girar".
  - d. "Dark frames" i "Flat fields": "Promedio". Aquesta opció fa de totes les imatges de calibratge, una de mestra de cada tipus.



**Figura 24:** Procés en el que establim els diferents paràmetres desitjats per tal que el programa els utilitzi i produeixi el resultat que intentem trobar. En roig, es troben subratllades les opcions a emprar en aquest cas.

4. Finalment, prémer “Ok” i obtindrem totes les imatges alineades, és a dir, preparades per ser utilitzades en el següent programa FotoDif. Per acabar, prémer “Archivo” i després “Guardar”.
  
5. Opcionalment, es poden adjuntar totes les fotografies en una mena de vídeo mitjançant un programa qualsevol d’edició per comprovar que totes les imatges es troben alineades.

### 3.4.3. FotoDif

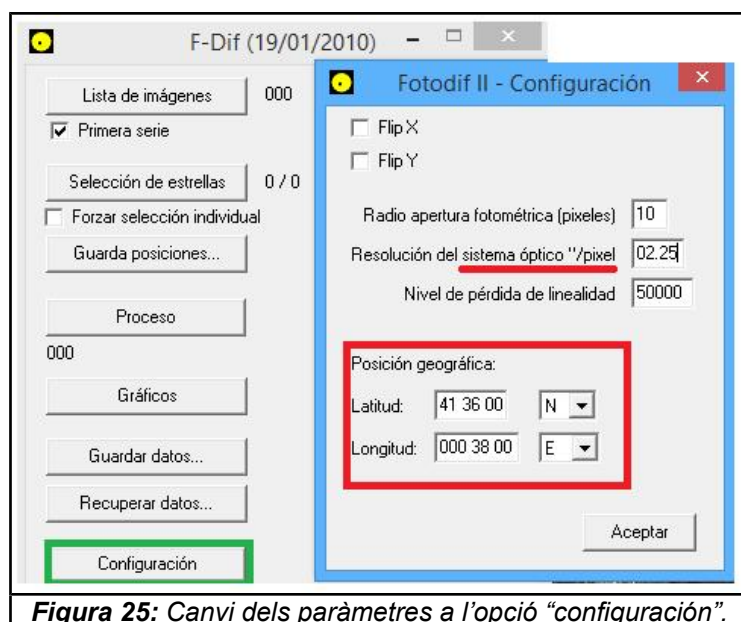


**Nom:** FotoDif.

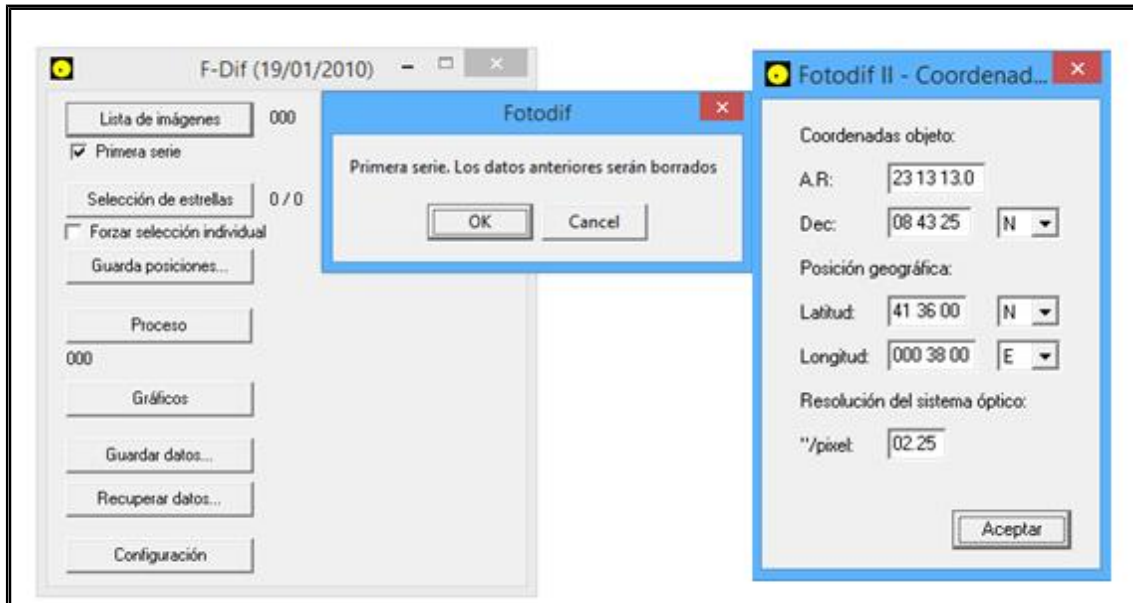
**Finalitat:** És un programa lliure que ens permet detectar una caiguda de magnitud de l'astre que estem estudiant, és a dir, detecta si algun cos s'ha posat davant d'aquest objecte i ho representa gràficament.

Passos a seguir:

1. Prémer el botó “Configuración”, seguidament canviar els paràmetres de “sistema òptic” a 2.25 i a l’opció “Posición geogràfica” posar les dades que ofereix la web del institut.

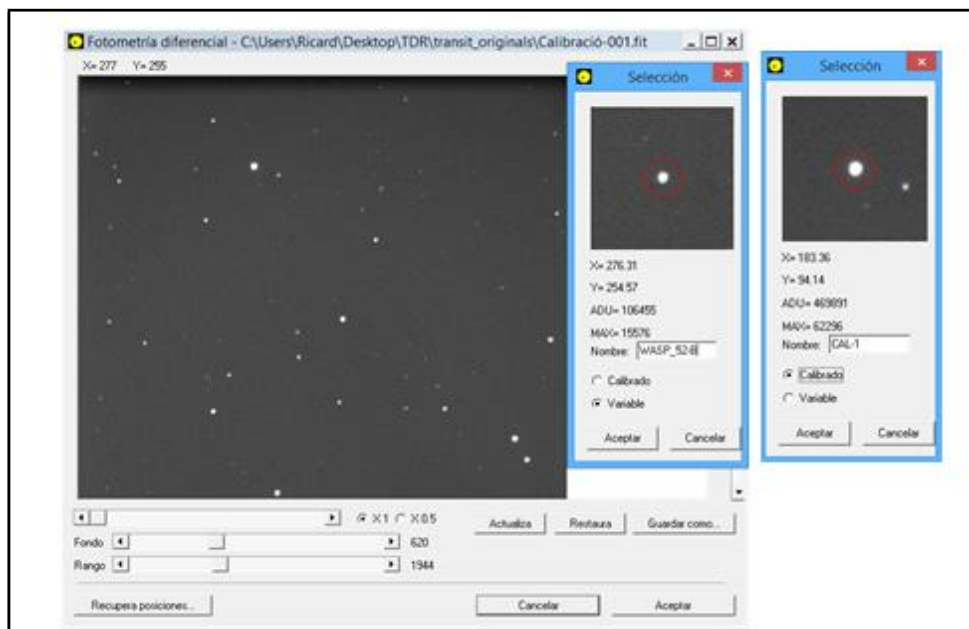


2. Tancar la pestanya de “configuración”. A continuació prémer el botó “Lista de imágenes”, seguidament “Ok”. Després s’elegeix el conjunt de imatges a estudiar. Tot seguit apareixerà una nova finestra, prémer el botó “Aceptar”. Llavors es realitzarà el recompte de les imatges automàticament.



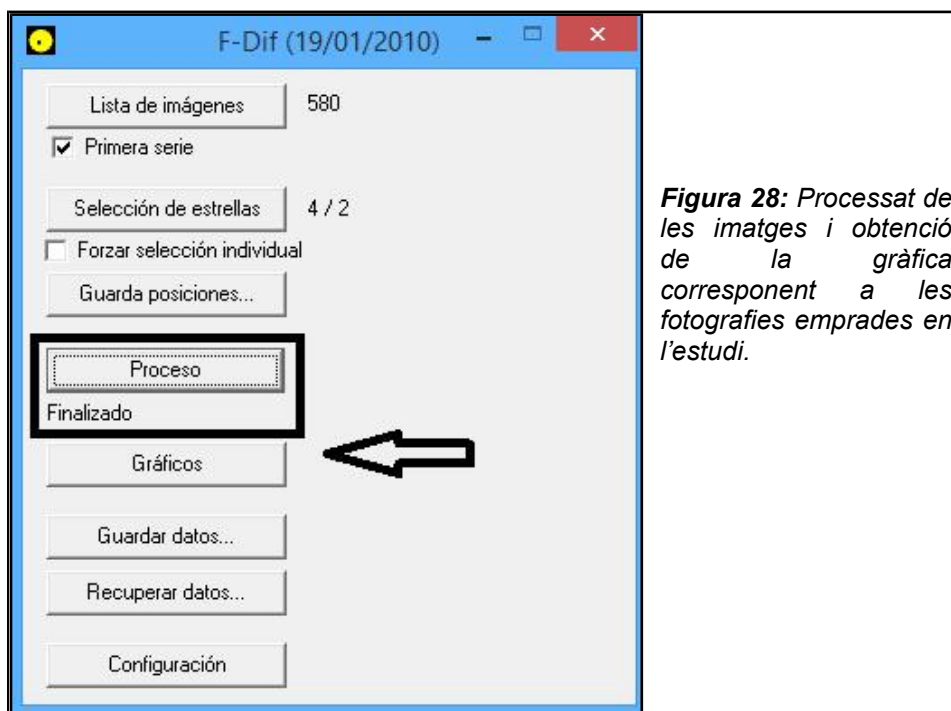
**Figura 26:** Procés d'elecció d'imatges. Apareix una finestra que diu "Primera serie. Los datos anteriores serán borrados", això només avisa que si hi ha un estudi anterior d'unes imatges, seran canviades per les noves. En tots els casos, prémer "Ok".

3. Prémer "Selección de estrellas". Seleccionar l'astre que volem estudiar i seleccionar l'opció "Variable". A continuació seleccionar altres astres del camp i clicar l'opció "Calibrado". Finalment prémer "Aceptar".



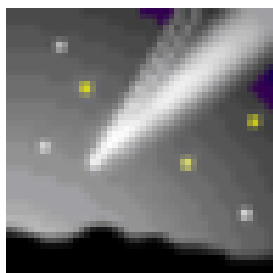
**Figura 27:** Procés d'elecció d'estrelles. "Variable" correspon a aquell astre que tindrà la caiguda de magnitud. "Calibrado" correspon a aquell astre que sempre emetrà la mateixa quantitat de llum. Contra més estrelles de "calibrado" posem, millor serà el gràfic. És molt important mirar que cap astre més del camp sigui variable perquè provocaria errors.

- Prémer el botó “Proceso”. Un cop el programa ha processat totes les imatges, prémer el botó “Gráficos” i allà apareixerà el gràfic corresponent.



**Figura 28:** Processat de les imatges i obtenció de la gràfica corresponent a les fotografies emprades en l'estudi.

### 3.4.4. Cartes du Ciel

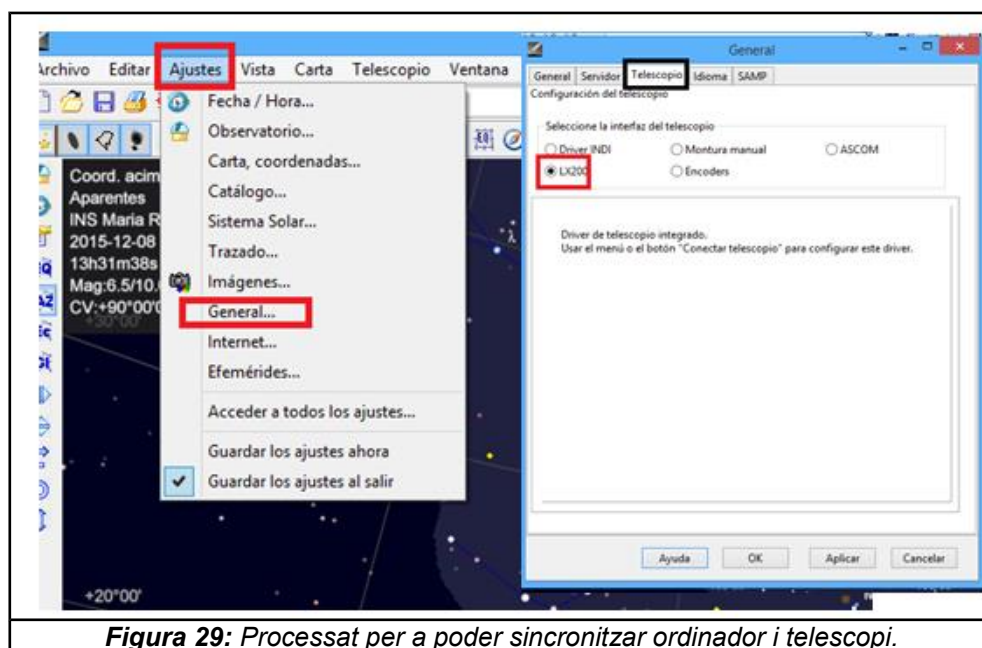


**Finalitat:** És un programa lliure que ens aporta diversos mapes del cel segons el tipus d'observació que volem dur a terme. A més ens permet conèixer amb exactitud, les posicions dels planetes, asteroides i cometes. Cap destacar que els diferents catàlegs que proporciona són generalment de domini públic. Finalment, també ens permet sincronitzar el telescopi amb l'astre per tal de no tenir preocupacions per si l'objecte ha marxat del camp.

**Catàleg que utilitzarem:** En aquest treball de recerca ens convé un catàleg de cel profund i utilitzarem l'anomenat "USNO-A2.0". Aquest conté dades de 526,280,881 estrelles, on es trobarà la que volem analitzar.

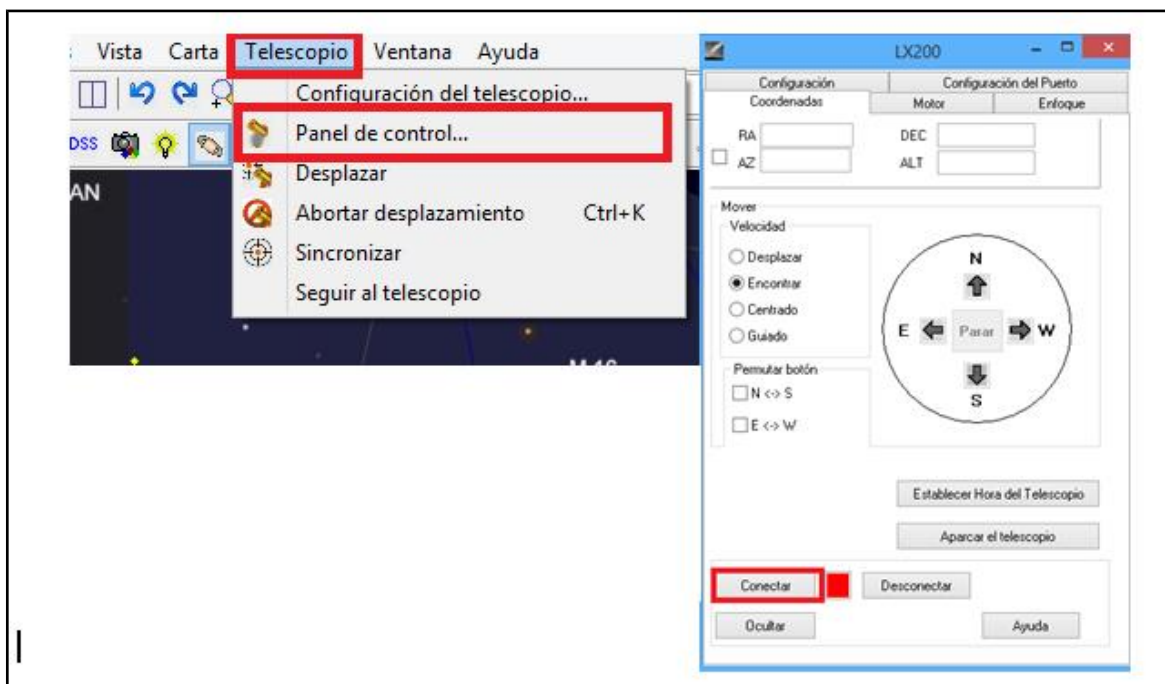
Passos a seguir per sincronitzar l'ordinador amb el telescopi:

1. Connectar la muntura del telescopi a l'ordinador, és molt important que aquesta connexió sigui correcta tant físicament (cablejat) com a nivell de configuració de dispositius i programes.
2. A continuació, prémer el botó "Ajustes", després "General" i tot seguit "Telescopio". Elegim la muntura "LX200" i "Ok".



**Figura 29:** Processat per a poder sincronitzar ordinador i telescopi.

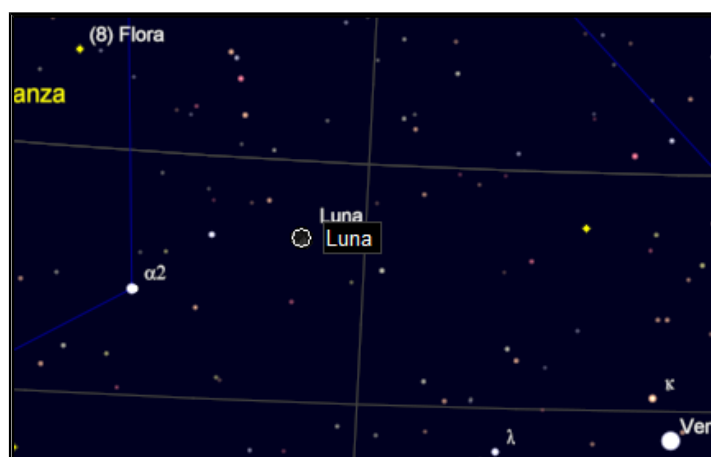
3. Finalment, en la barra del menú prémer "Telescopio" i després "Panel de control". Apareixerà una finestra nova, prémer "Conectar". Si el requadre surt de color verd vol dir que estarà connectat.



**Figura 30:** Últims passos per poder sincronitzar ordinador i telescopi. En aquest cas, el requadre surt de color roig perquè la captura està feta des d'un altre ordinador, òbviament sense tenir connectat el telescopi.

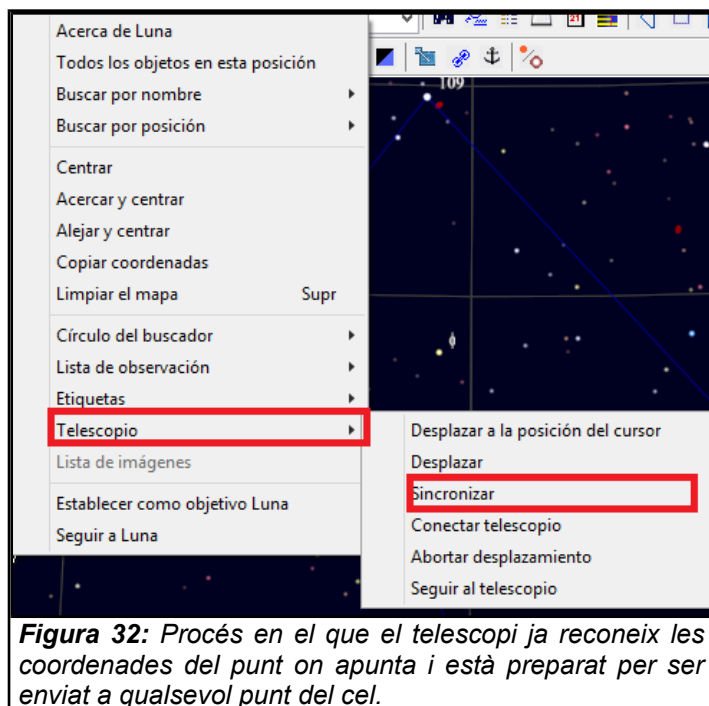
Passos a seguir per sincronitzar un astre amb el telescopi:

1. En primer lloc cal enviar manualment el telescopi a un astre fàcil de reconèixer pel nostre ull. Un cop es tingui l'astre al mig de l'ocular del buscador del telescopi, prémer l'astre al programa mitjançant el botó dret del ratolí.

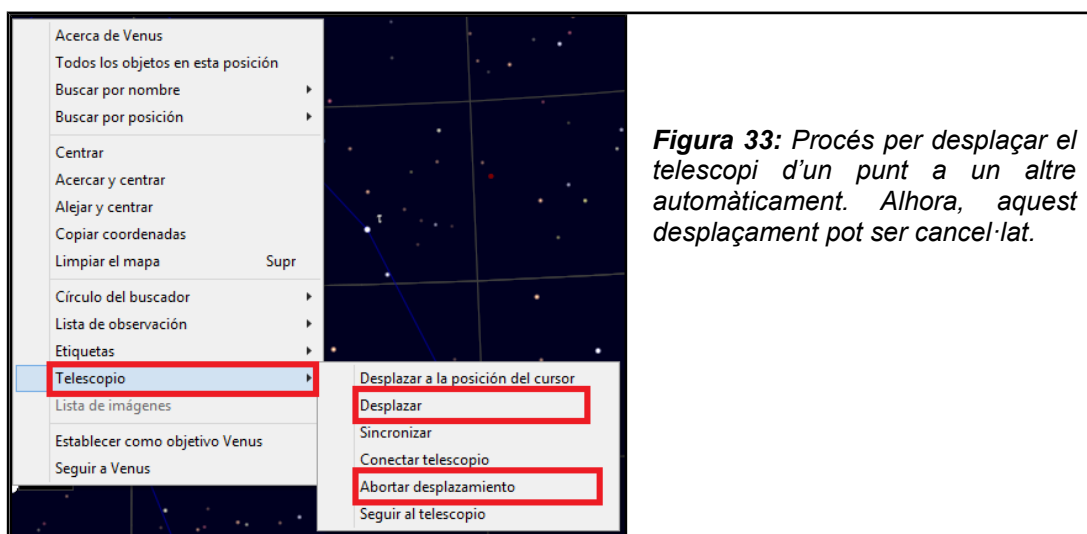


**Figura 31:** Elecció de l'astre a utilitzar com a referència per a situar el telescopi en el cel.

2. Tot seguit i havent comprovat que tot és correcte, botó dret i prémer “Telescopio” i tot seguit el botó “Sincronizar”. A partir d’aquest moment, el telescopi coneix les coordenades del lloc on està enfocat.



3. Un cop el telescopi està connectat i sincronitzat a un objecte, el podem moure cap a un altre cos. Per tant, seleccionar l’astre al que volem enviar el telescopi, botó dret, prémer “Telescopio” i finalment “Desplazar”. En el cas que no vulguem que es desplaci cap al lloc indicat, prémer “Abortar desplazamiento”.





## 4. Part teòrica científica

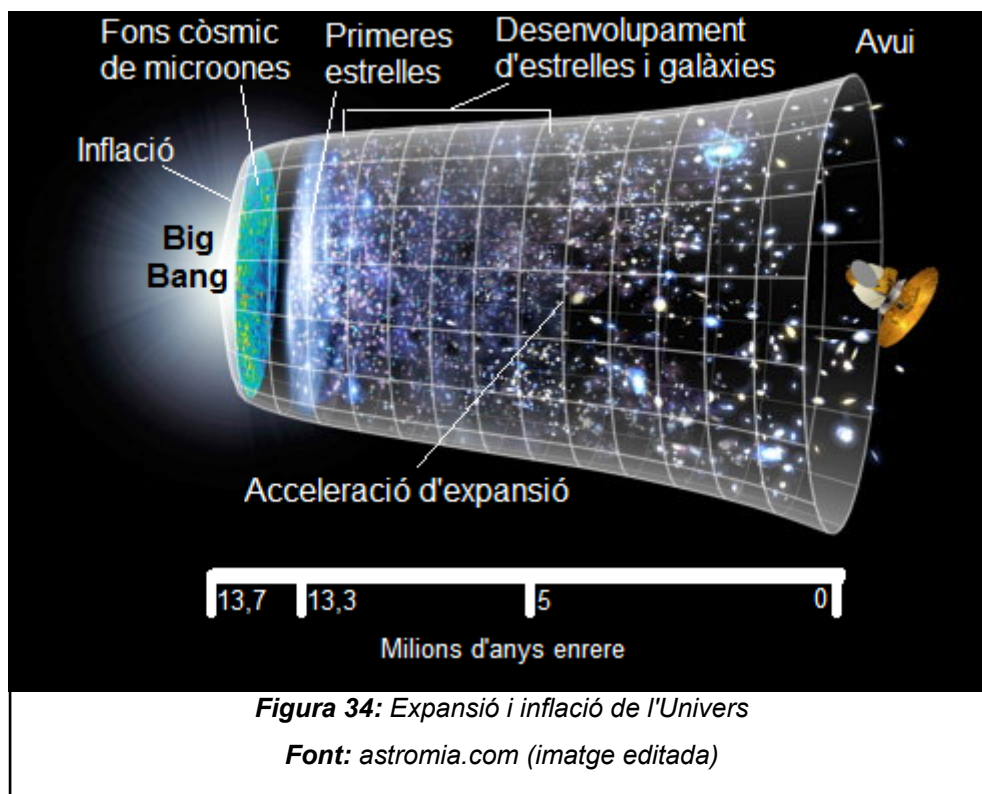
### 4.1. Exoplanetes?

Si es pregunta a qualsevol persona si sap què és un exoplaneta, la resposta més probable és que no sabrà de què parlem. És ben normal si no es té gaire consciència del món astronòmic, però és una part de l'astronomia que des de fa anys ve sent un camp molt estudiat. Si volem saber si de debò hi ha vida en altres indrets de l'Univers, hem d'aprofundir en l'estudi d'aquests grans desconeguts, els exoplanetes. Però anem per parts...

### 4.2. L'Univers

Sembla una cosa fàcil de descriure, però si ens parem a pensar, ja no ho és tant. Científicament, l'Univers es descriu com tot el que existeix físicament. En altres paraules, es descriu com la totalitat de l'espai i del temps, de totes les formes de la matèria i de l'energia, així com de les lleis i les constants físiques que les regeixen. Encara que segons el diccionari, té altres definicions diferents al que ens interessa per aquest treball, com per exemple per referir-se al cosmos, al món o a la natura.

Però tot el que coneixem deu tenir un origen, el qual, ha de tenir una explicació científica. La més acceptada és la teoria del Big Bang o teoria del gran esclat, la qual diu que l'Univers es va formar després d'una gran explosió, on abans d'aquesta, tota la matèria que coneixem estava concentrada en un sol punt, moment anomenat singularitat, on la densitat era extremadament gran. Després d'aquesta explosió, l'Univers es va començar a expandir en totes direccions (amb la matèria associada a ell) i es van originar l'espai i el temps. A partir d'aquesta teoria esdevenen més teories, com ve a ser la d'expansió i inflació, on s'afirma la continua i accelerada expansió de l'Univers.



Investigacions astronòmiques actuals indiquen que l'Univers té uns 13 730 milions d'anys des de la seva formació.

### 4.3. Via Làctia

Ja tenim clar què és l'Univers i les seves grandíssimes dimensions. Nosaltres vivim en una de la gran quantitat de galàxies que hi ha en ell, l'anomenada Via Làctia. Aquesta, la qual té forma d'espiral, està formada per aproximadament 100 000 milions (100 000 000 000) d'estrelles, fa uns 100 000 anys llum de grandària, i el disc central d'aquesta, 16 000 anys llum de diàmetre.

Totes les estrelles que formen la Via Làctia es troben rotant al voltant del nucli d'aquesta, que s'especula que pot estar format per un gran forat negre. El nostre Sol, segons recents investigacions astronòmiques, gira al voltant d'aquest nucli a 250 km/s, emprant 250 milions d'anys en fer una revolució completa.

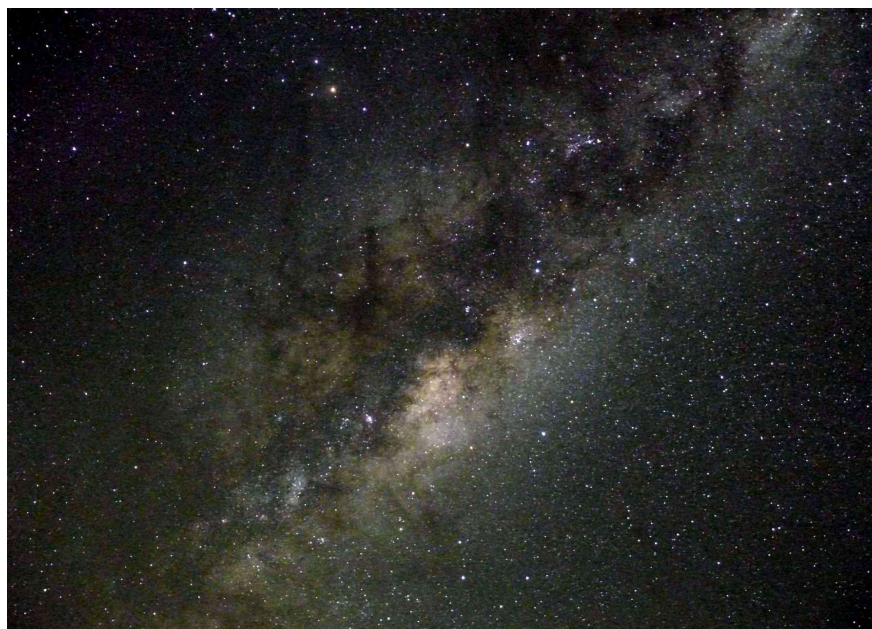


*Figura 35: Representació Via Làctia.*

*Font: ciencia-online.net*

L'edat de la nostra galàxia s'estima en uns 13 000 milions d'anys.

La projecció de la Via Làctia és visible al nostre cel (sobretot als mesos d'estiu i hivern) com una banda de llum que travessa el firmament i que passa per diverses constel·lacions.



*Figura 36: Vista de la Via Làctia des de la Terra.*

*Font: animalderuta.com*

## 4.4. Estrelles

Gairebé tothom sap què és una estrella, ja que tots podem sentir la presència d'elles dia i nit, amb el nostre Sol o amb totes les altres incomputables estrelles que es poden observar en una fosca nit. Però, com a definició, una estrella es podria descriure com una enorme esfera de gas, aïllada a l'espai, que produeix energia al seu interior, la qual és transportada a la seva superfície i irradiada a l'espai, en totes direccions.

Al nucli de les estrelles, la matèria està sotmesa a condicions de pressió i temperatura molt altes, de l'ordre de milions de vegades la pressió atmosfèrica terrestre i de milions de graus de temperatura. Al estar en aquestes condicions extremes, es produeixen reaccions de fusió nuclear, on majoritàriament, es transformen àtoms d'hidrogen en àtoms d'heli i s'allibera energia, gràcies a la qual, l'estrella emet llum i calor, a més de mantenir una estabilitat.

Parlant d'emissió d'energia, les estrelles poden emetre energia de diverses maneres:

- En forma de fotons de radiació electromagnètica sense massa, des de raigs gamma fins a ones radioelèctriques.
- En forma d'altres partícules sense massa, com venen a ser els neutrins o els gravitons.
- En forma de partícules carregades d'alta energia, com protons o nuclis atòmics. Estem referint-nos als anomenats raigs còsmics.

Parlant d'estabilitat, les estrelles es mantenen estables quan les dues forces que governen en elles es mantenen en perfecte equilibri, és a dir, quan les dues forces oposades presenten un equilibri encara que pugnin una per imposar-se sobre l'altra. Les dues forces són: la gravetat, que tendeix a contraure l'estrella sobre sí mateixa; i la pressió exercida per l'energia radiant generada al nucli, que intenta expandir l'estrella. Si guanyés la força gravitatòria, l'estrella col·lapsaria en ella mateixa, però si guanyés l'altra, l'estrella explotaria violentament.

### 4.4.1. Vida de les estrelles

Les estrelles, encara que ens puguin semblar eternes i sempre iguals, no són ni una cosa, ni l'altra, ja que a l'Univers tot està en constant canvi. Tot evoluciona i tot té el seu procés, així que les estrelles, com els humans mateixos, neixen, viuen i moren. Encara que a nosaltres no puguem apreciar els canvis en les estrelles (excepte en pocs casos), ja que la vida de les estrelles pot durar desenes, centenes o milers de milions d'anys, la realitat és aquesta.

Les estrelles neixen en núvols interestel·lars de gas i pols, el que nosaltres anomenem nebuloses. Aquests núvols estan formats bàsicament d'hidrogen i heli, però també tenen, en petites proporcions, parts dels altres elements químics. Quan una nebulosa rep una pertorbació, es generen regions més denses, que nosaltres anomenem comunament *protoestrelles*. Aquestes, poc a poc van acumulant més i més matèria i fent-se més i més denses. Al cap d'un temps, quan aquestes protoestrelles tenen la suficient densitat per arribar a tenir un nucli amb una temperatura d'uns 10 milions de graus, es comencen a desencadenar reaccions de fusió nuclear i neix l'estrella, amb el seu perfecte equilibri de forces. Així, l'estrella es passarà el 90% de la seva vida fusionant hidrogen per formar heli i alliberant energia, calor i llum.

La vida de l'estrella vindrà determinada per la quantitat d'hidrogen que tingui en ella. Quant més quantitat d'hidrogen tingui, més ràpid el consumirà i menys temps viurà; per contra, quant menys hidrogen posseeixi, més lentament l'acabarà i la seva vida serà més llarga. Per entendre-ho, una estrella com el nostre Sol, pot viure aproximadament uns 10 000 milions d'anys, però una estrella amb 30 masses solars, viurà uns pocs milions d'anys.

Quan l'hidrogen que posseeix una estrella s'esgota, aquesta s'inestabilitza i es transforma. El que determina el tipus de canvi d'una estrella és la seva massa. Així que podem distingir diferents tipus, en l'acabament de la vida dedicada a la fusió d'hidrogen de les estrelles:

Massa inicial ( $M_{\text{sol}} = 1$ )	Estat evolutiu final
$M < 0,01 M_{\text{sol}}$	Planeta
$M_{\text{sol}} 0,01 < M < 0,08 M_{\text{sol}}$	Nana marró
$M_{\text{sol}} 0,08 < M < 12 M_{\text{sol}}$	Nana blanca
$M_{\text{sol}} 12 < M < 40 M_{\text{sol}}$	Supernova + Estrella de neutrons
$M_{\text{sol}} 40 < M$	Supernova + Forat negre

- Si té una massa inferior a 0,01 masses solars, s'«apagarà» i acabarà la seva vida com un planeta gasós semblant a Júpiter o Saturn.
- Si té una massa d'entre 0,01 i 0,08 masses solars, acabarà la seva vida com una nana marró, la qual no és ni un planeta, ni una estrella convencional degut a la seva escassa massa. Aquesta no emetrà llum visible, sinó que brillarà en la freqüència de l'infraroig.
- Si té una massa d'entre 0,08 i 12 masses solars, acabarà la seva vida com una nana blanca, la qual té una densitat i una temperatura molt elevades.
- Si té una massa d'entre 12 i 40 masses solars, acabarà la seva vida amb un col·lapse en ella mateixa que provoca una forta explosió termonuclear anomenada *Supernova*, la qual allibera matèria molt violentament. Després d'això, queda una estrella de neutrons, la qual és una esfera molt petita (una 15 km de diàmetre) amb una densitat i poder gravitatori impressionants, tant, que els electrons i protons es combinen per formar neutrons, d'aquí que s'anomeni Estrella de neutrons.
- Si té una massa de més de 40 masses solars, acabarà la seva vida amb una Supernova, però, després d'aquesta, es formarà el que es coneix com un forat negre. Aquest, és un cos que posseeix tal densitat i força gravitatòria, que absorbeix tota la matèria que es troba a prop seu, així que ni tan sols la llum pot escapar del seu immens camp gravitacional.

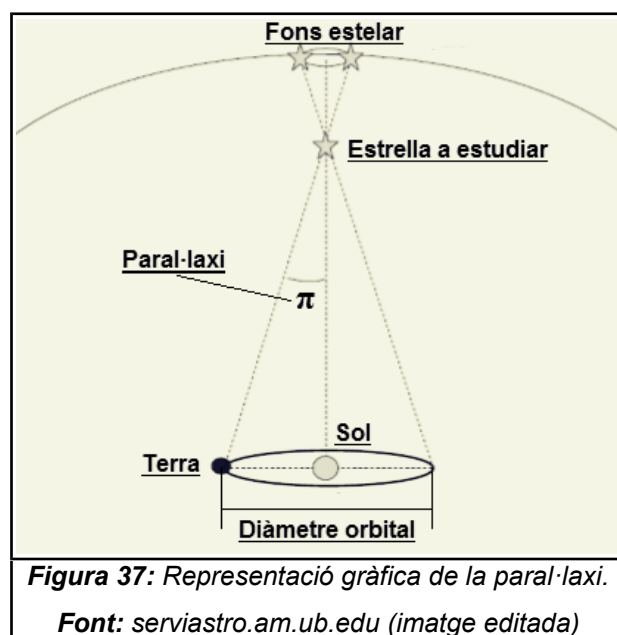
## 4.4.2. Com determinar la distància a les estrelles

### Estrelles properes

Una de les dades més importants que es necessiten per a l'estudi d'una estrella, és la distància a la que es troba de nosaltres. Amb aquesta informació podem determinar, per exemple, la lluminositat real d'aquesta estrella que ens ajudarà a conèixer la seva grandària, edat, composició... Però, quin mètode s'utilitza?

El mètode més eficaç per determinar distàncies a estrelles relativament properes (uns 300 anys llum de distància) és la *paral·laxi*. Aquest mètode es basa en el desplaçament angular de les estrelles a mesurar respecte el seu fons estel·lar d'estrelles llunyanes, les quals, al estar tan lluny, no s'aprecia cap moviment.

El que es fa servir per fer aquestes mesures és la perspectiva i la trigonometria fonamental. Al mes de gener, amb la Terra a l'extrem de la seva òrbita al voltant del Sol, es fotografia l'estrella a estudiar, que estarà situada en un camp amb les seves estrelles llunyanes de fons. Sis mesos més tard, amb la Terra situada a l'altre extrem de la seva òrbita, tornem a fotografiar l'estrella. L'estrella s'haurà mogut un petit angle respecte a les seves estrelles



de fons (molt llunyanes), que no s'hauran mogut el més mínim. Aquest angle serà la seva paral·laxi, que lògicament, serà més gran com més a prop es trobi. Així que quan ja tenim l'angle i com coneixem la mesura del diàmetre de l'òrbita que descriu la Terra al voltant del Sol, ja podem calcular trigonomètricament la distància.

## Estrelles llunyanes

Les estrelles variables són aquelles estrelles que canvien de brillantor en un període de temps d'hores o dies, degut a l'expansió i la disminució de temperatura de l'heli que les forma. D'acord amb això, hi ha una relació entre la brillantor d'una estrella i el seu període. Aquestes estrelles són les anomenades *estrelles variables*. Això s'expressa amb la fórmula següent:

$$M_v - m_v = 5 - 5(\log d)$$

Les estrelles més llunyanes semblen més dèbils degut a que la seva llum s'estén i després es difon. D'aquesta manera, si se coneix la quantitat de brillantor que hauria de tenir una estrella i es compara amb la seva brillantor real, es pot saber la distància a la que es troba.

## Estrelles molt llunyanes

Aquest és el sistema de mesura més complicat que hi ha. Està basat en estrelles en explosió, és a dir, en Supernoves.

La qüestió és que existeix una relació entre la massa d'una Supernova tipus «Ia» i la seva brillantor relativa. Si som capaços d'esbrinar-ho, podem saber la distància a la que es troba l'estrella.



### 4.4.2.1. Any llum

Ja tenim clar com es mesura la distància a les estrelles, però, en quines unitats expressem aquestes distàncies extraordinàriament grans?

La unitat més habitual que s'utilitza en l'astronomia per referir-se a distàncies interestel·lars és l'any llum, és a dir, un any llum és la distància que recorre la llum al buit durant un any terrestre. Així que, tenint en compte que la velocitat de propagació de la llum al buit és de 299.792.458 m/s i que un any són 365,25 dies, aquesta distància és, exactament 9.460.730.472.580,8 km, distància que equival, aproximadament i amb notació científica, a  $9,46 \cdot 10^{12}$  km.

Però encara i ser una mesura molt gran, l'estrella més propera al Sol és Alfa Centaure, la qual es troba a 4,22 anys llum de distància. Això vol dir que la llum que ens arriba ara mateix procedent d'aquesta estrella va començar a viatjar per l'espai fa 4,22 exactament, és a dir, nosaltres podem veure aquesta estrella tal com era fa poc més de 4 anys! O sigui que nosaltres, quan mirem al cel, es podria dir que estem mirant al passat.

### 4.4.2.2. Magnitud

Hem parlat molt de la brillantor de les estrelles i de la importància que té en la mesura i obtenció de dades característiques de les estrelles per a la seva classificació. Doncs bé, l'escala que s'utilitza per mesurar aquesta brillantor és la magnitud aparent. Les estrelles més brillants del cel es classifiquen com de primera magnitud, mentre que les més dèbils són les de sisena magnitud. Al mig tenim la segona, tercera, quarta i cinquena magnitud. Quant més brilla una estrella, menor és la seva magnitud. D'aquesta manera, l'escala de magnitud s'estén cap baix per a astres molt brillants i cap a dalt pels menys brillants. Les magnituds absolutes es donen quan es mesuren lluminositats més precises.

### 4.4.3. L'estrella que investigarem: WASP-52

**Nom:**

L'estrella a partir de la qual estudiarem el trànsit d'un exoplaneta s'anomena WASP-52 (Wide Angle Search for Planets), aquesta té el mateix nom que el planeta en qüestió.

**Posició:**

Es situa prop a la constel·lació de Pegàs, però no és una de les seves estrelles principals, més ben dit, només es troba al camp de la constel·lació. Les coordenades són **23 13 58.76** d'ascensió recta i **+08 45 40.6** de declinació.

**Distància:** Es troba a uns 450 anys llum de distància des de la Terra.

**Massa:**

És de 0,87 vegades la massa del nostre Sol, amb un marge d'error de  $\pm 0,03$ . El Sol té una massa de  $1,989 \times 10^{30}$  Kg, per tant, l'estrella WASP-52 té una massa de  $1,731 \times 10^{30}$  Kg.

**Radi:**

És de 0,79 vegades el radi del nostre Sol, amb un marge d'error de  $\pm 0,02$ . El nostre Sol té un radi de 696.000 Km, per tant, l'estrella WASP-52 té un radi de 549.840 Km.

**Sistema planetari:**

Que es coneix amb certesa, només hi orbita un planeta al voltant d'aquesta estrella, que és el planeta a partir del qual estudiarem el trànsit.

**Temperatures:**

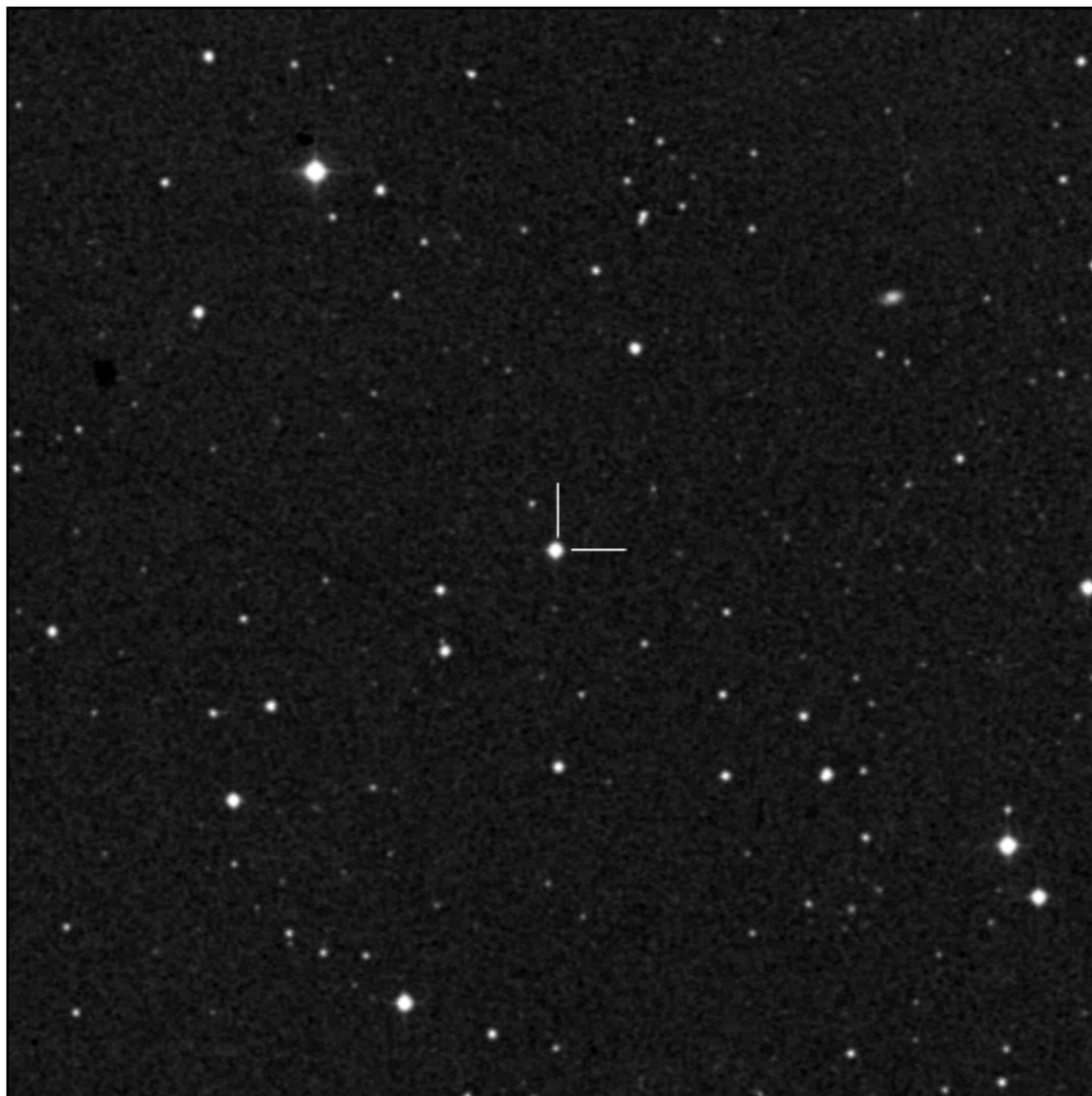
Oscil·len entre els 4900K i els 5100K (4600-4900°C).

**Magnitud:** 12

**Camp:**

La imatge del camp de l'estrella WASP-52 és aquesta:

*Figura 38*



*Font: Exoplanet Transit Database*

Primerament, per assegurar-se de que el camp que estem veient pel nostre telescopi és el camp correcte, haurem de localitzar-lo d'acord a aquesta imatge del centre de dades internacional *ETD (Exoplanet Transit Database)*, des d'on es poden consultar informació, horaris i posicions dels exoplanetes i els seus corresponents trànsits.

## 4.5. Planetes

Tothom sap més o menys què és un planeta, però, té una definició precisa? Doncs no, ja que els planetes poden ser de diferents maneres i tenir diferents característiques singulars. Així que, en general, podríem definir un planeta d'acord amb la Unió Astronòmica Internacional:

- a) És un cos celeste que posseeix suficient massa com per a que la seva pròpia gravetat domini les forces presents com a cos rígid, el que implica una forma aproximadament esfèrica determinada per l'equilibri hidrostàtic.
- b) És l'objecte clarament dominant al seu veïnatge, el qual ha netejat la seva òrbita de cossos similars a ell.

D'acord amb això, coneixem dos tipus de planetes segons la seva composició: planetes gasosos i planetes rocosos. De tots dos tipus se n'han descobert orbitant altres estrelles diferents al nostre Sol.

Planetes gasosos: Són aquells constituïts bàsicament per gasos, particularment per hidrogen i heli. En general i d'acord amb el que es coneix fins ara, aquests planetes solen ser més grans i massius. Els planetes gasosos no han de tenir per força un nucli sòlid rocós, sinó que poden estar formats per un continu de gasos ordenats d'acord amb la seva densitat (com més densos, més interns; com menys densos, més externs), els quals poden adquirir propietats dels fluids quan es troben a altes pressions. Cal destacar que la majoria de planetes extrasolars descoberts fins ara són gasosos, degut a que els mètodes actuals de detecció diferencien millor els planetes més massius.

Planetes rocosos: Són aquells constituïts bàsicament per silicats, els quals, degut a això, són sòlids, formats per roques i metalls. En aquest tipus de planetes, les atmosferes gasoses són secundàries i estan influïdes per l'activitat geològica. En el cas de la Terra, per l'activitat biològica.

### 4.5.1. Sistema planetari

La majoria de vegades, no existeix una estrella aïllada a l'espai, sinó que, generalment, hi ha cossos que orbiten al seu voltant. D'aquí que identifiquem els sistemes planetaris.

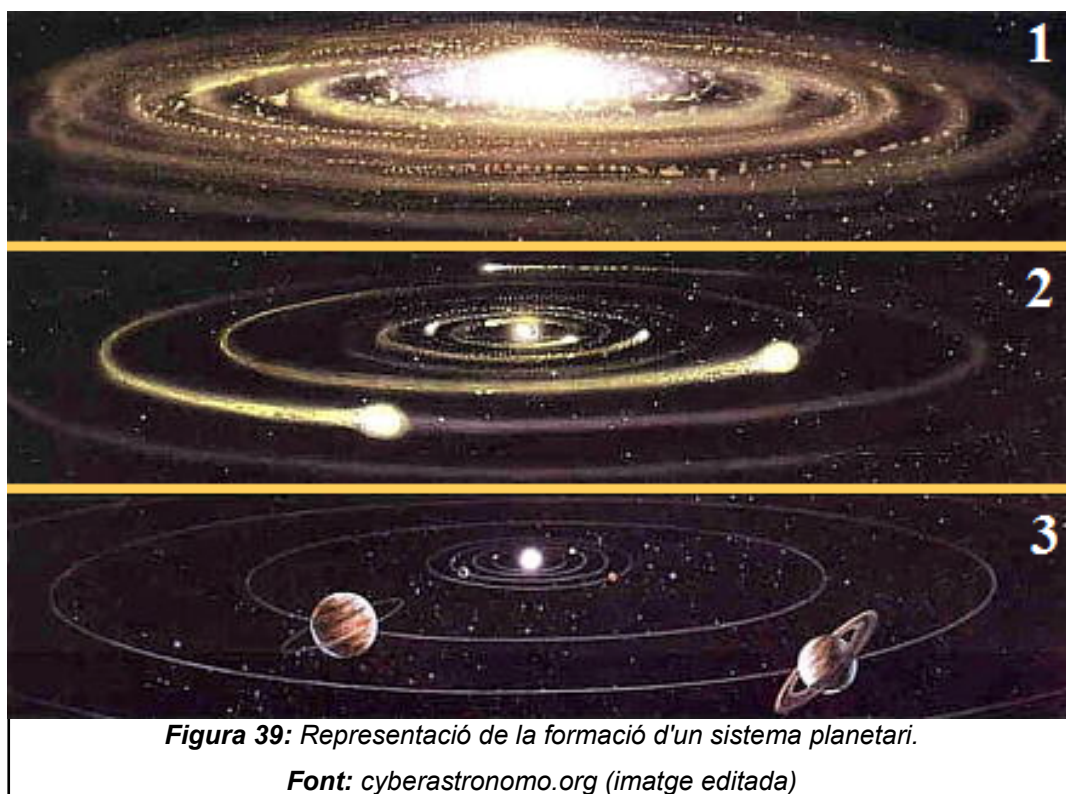
Un sistema planetari es defineix com un conjunt format per una estrella (o un sistema estel·lar binari) i tots els planetes i cossos menors (satèl·lits dels planetes, planetes nans, asteroides, etc.) que orbiten al seu voltant. Generalment, com passa al nostre Sistema Solar, les òrbites estan ordenades i es troben sobre un pla aproximat, conegut amb el nom d'*eclíptica*. Els cossos celestes que formen un sistema planetari són:

Objectes primaris: Estrelles, nanes marrons.

Són aquelles que es formen pel col·lapse gravitatori d'un núvol interestel·lar. Els objectes amb una massa aproximada a 80 vegades la massa de Júpiter mantenen una estabilitat nuclear de fusió, són les estrelles convencionals. Els menors a 80 masses de Júpiter presenten reaccions nuclears d'un isòtop poc abundant de l'hidrogen durant poc temps, són les nanes marrons.

Objectes secundaris: Planetes.

Són aquells objectes que es formen quan els grans de pols s'agrupen junts en un disc que gira al voltant d'un objecte primari. Creixen molt ràpidament, netejant la seva òrbita de cossos menors. Si un planeta és bastant massiu, pot concentrar fins i tot una atmosfera de gas al seu voltant.



**Figura 39:** Representació de la formació d'un sistema planetari.

Font: [cyberastronomo.org](http://cyberastronomo.org) (imatge editada)

Objectes terciaris: Satèl·lits.

Són aquells objectes que orbiten al voltant dels objectes secundaris, ja que s'han format allí mateix o perquè han estat captats d'altres òrbites independents. Per exemple, la Lluna és un satèl·lit de la Terra.

Runes: Asteroides i cometes.

Són aquells objectes que es formen com a objectes secundaris, però que el seu creixement va parar. Aquests no controlen directament les seves zones orbitals i són, bàsicament, trossos de roca.

## 4.5.2. Zona d'habitabilitat

Així com l'existència de sistemes planetaris és evident, els humans sempre ens hem plantejat la possibilitat de l'existència de vida en altres planetes fora del nostre Sistema Solar. Però, per a que hi pugui haver vida, al menys un tipus de vida semblant al nostre, s'han de complir certs requisits. Un d'ells, el més important, és estar a la *zona d'habitabilitat*, regió de l'espai al voltant d'una estrella, on qualsevol planeta que es trobi al seu interior és susceptible d'allotjar vida. Tot i així, no és suficient amb només estar en aquesta zona. Per existir una forma de vida semblant a la nostra, hi ha d'haver moltes altres condicions a complir:

- L'estrella del sistema planetari ha de tenir una vida d'uns quants milers de milions d'anys per haver donat un marge de temps per a l'aparició i evolució de la vida.
- L'estrella ha d'emetre radiació violeta i en quantitat crítica i suficient com per a la formació de la capa d'ozó.
- L'estrella ha de permetre l'existència d'aigua líquida a la superfície dels planetes.
- L'estrella no ha de ser variable en lluminositat i ha de tenir alta metal·licitat per poder tenir planetes rocosos.
- La grandària del planeta ha de ser suficientment gran com per a poder tenir una atmosfera considerable, que pugui mantenir la calor interna i també, ha de disposar d'un camp magnètic que protegeixi del vent estel·lar.
- Per últim, el planeta ha de tenir una petita excentricitat orbital (l'òrbita de la Terra és gairebé circular) i la velocitat ha de ser tal, que no permeti un cicle dia-nit molt llarg, per tal d'evitar grans diferències de temperatura.

### 4.5.3. Exoplaneta

Ara que ja hem fet una introducció al món astronòmic i les seves parts més importants, ja podem endinsar-nos al tema més important a tractar, els exoplanetes. Com definiríem un exoplaneta?

Segons la Unió Astronòmica Internacional (UAI), un exoplaneta és aquell planeta, fora del Sistema Solar, que:

- Orbita al voltant d'una estrella o romanent d'estrella (nana blanca estrella de neutrons).
- Té una massa inferior a 14 masses de Júpiter ( $M < 2,66 \cdot 10^{28}$  Kg). Si té menys d'aquesta massa citada, la densitat del planeta no serà tal que permeti la fusió d'hidrogen o d'altres elements i per tant, no obtindrà energia a partir d'això.

Com ja hem esmentat abans, si un planeta té una massa superior a 14 masses de Júpiter, aquest passarà a anomenar-se nana marró. D'altra manera, si el planeta té una massa inferior a 14 júpiters però es troba aïllat (no orbita cap estrella), passarà a nomenar-se subnana marró.

#### 4.5.3.1. Tipus d'exoplanetes

Els mons planetaris fora del Sistema Solar poden arribar a ésser molt diferents del que coneixem, tenint estrelles (o dobles estrelles) amb planetes molt massius, molt grans, molt densos... fins i tot, pot haver-hi exoplanetes sense estrella. Així que, pel que sabem, hi ha aquests tipus d'exoplanetes:

- Mega-Terra: té una massa semblant a Neptú (17 masses de la Terra) però és un planeta rocós. Exemple: Kepler-10 c.



- Júpiter calent: és un planeta gegant molt massiu i gran (diàmetre semblant a Júpiter) que orbita molt a prop de la seva estrella (uns 8 milions de km). Exemple: 51-Pegasi b.
- Neptú calent: és un planeta molt gran i massiu (diàmetre semblant a Neptú) que orbita molt a prop de la seva estrella. Exemple: Gliese 436 b.
- Planeta ctònic: és un planeta entès com un Júpiter calent que ha perdut la seva atmosfera gasosa i només roman el seu centre sòlid. Exemple: COROT-7 b.
- Super Neptú: és un planeta amb dimensions similars a Neptú i massa lleugerament superior. Exemple: HAT-P-11 b.
- Planeta terrestre: és l'esperança de la recerca d'exoplanetes, un planeta igual a la terra, dins la zona d'habitabilitat, tant en dimensions com en massa.
- Super Terra: és un planeta superior a les dimensions terrestres, però inferior a les dimensions de Neptú que es troba dins la zona d'habitabilitat. Exemple: Kepler-22 b.
- Món d'aigua: és una Super Terra que té la possibilitat de contenir immensos oceans d'aigua líquida i que es troba dins de la zona d'habitabilitat. Exemple: GJ 1214 b.
- Gegant gasós: és un enorme planeta amb una gruixuda atmosfera formada bàsicament per hidrogen i heli. Exemple: Júpiter.
- Neptú: és un planeta gegant gasós amb una gruixuda atmosfera d'hidrogen, heli, amoníac i metà i un diminut centre rocós. Exemple: Neptú.

- Nana marró: es troba a mig camí entre estrella i planeta, ja que no té la suficient massa com per a fusionar d'hidrogen. Exemple: Gliese 229 b.
- Planeta errant: és un planeta que ha estat expulsat del seu sistema planetari i que orbita la galàxia independentment. Les simulacions suggereixen que el nombre d'aquest tipus de planetes podria superar el nombre d'estrelles a la galàxia. Exemple: Cha 110913-773444.

#### 4.5.3.2. Curiositats d'exoplanetes

##### El primer

El 6 d'octubre de 1995, és una data que marca un abans i un després en el camp astronòmic. La raó és que aquest dia es va descobrir el primer exoplaneta, el primer planeta que orbitava una estrella distinta al nostre Sol. Aquest s'anomenava Bel·lerofont, però tècnicament, 51-Pegasi b. Des d'aleshores, el nombre d'exoplanetes descoberts no ha parat de pujar i actualment hi ha més de 700 exoplanetes confirmats.

Ja s'havien descobert uns astres abans del 51-Pegasi b que giren al voltant d'un púlsar (resta estel·lar originada després d'una explosió de Supernova), però a causa de la naturalesa de l'astre al voltant del qual giren i del seu probable diferent origen planetari, no es consideren exoplanetes convencionals.

##### El més proper i el més llunyà

L'exoplaneta més proper a la Terra detectat fins ara és Epsilon Eridanib, està a 10,5 anys llum de distància i orbita una estrella semblant al Sol en certs aspectes. El problema és que orbita massa lluny de la seva estrella, fora de la zona d'habitabilitat.

Per contra, l'exoplaneta més llunyà detectat fins ara és 2005-BLG-390L b OGLE. És un exoplaneta amb temperatures superficials inferiors als  $-220\text{ }^{\circ}\text{C}$  (el que el fa també, l'exoplaneta més fred) que orbita una estrella nana a 28 000 anys llum de nosaltres.

### **El més petit i el més gran**

KIC-12557548 b és l'exoplaneta més petit descobert fins ara. Orbita una estrella de la constel·lació del cigne. Té una massa d'unes 0,1 terres i un diàmetre aproximat al de Mercuri.

Per altra banda, TrES-4 és l'exoplaneta més gran detectat fins ara. És 1,7 vegades més gran que el nostre Júpiter i té una densitat tan baixa, que podria flotar a l'aigua.

### **El més jove i el més vell**

L'exoplaneta més jove descobert fins ara orbita CoKu Tau 4 i té aproximadament un milió d'anys d'edat. Aquest va ser descobert gràcies al «forat» que s'hi va trobar a la seva estrella, degut a que el planeta està «netejan» la seva òrbita de gasos i pols a mesura que gira al voltant de la seva estrella.

Però el més vell és PSR B1620-26 b. És un món d'uns 12,7 mil milions d'anys d'edat, format 8 mil milions d'anys abans que la terra i només 2 mil milions d'anys després del Big Bang. Aquest presenta la possibilitat de pensar que la vida es podria haver format molt abans del que pensem.

**Top 10 exoplanetes menys massius:**

Ja que estem estudiant els exoplanetes, resulta curiós el fet de pensar quins serien els menys massius, és a dir, els de menys massa i dimensions. Això resulta també interessant pel fet de poder arribar a trobar planetes semblants a la Terra, tant en grandària com en massa, així com l'estrella al voltant de la qual giren, que pot ésser molt diferent al nostre Sol.

N.º	Nom	Massa	Radi	Descobriment	Estrella	Període orbital
1	PSR B1257+12 b	0,022	-	Període púlsar	Púlsar	25,262
2	KOI-1843 b	0,3	0,58	Trànsit	-	0,176
3	Kepler-70c	0,67	0,87	Imatge	Subnana	0,342
4	KOI-2700 b	0,859	1,06	Trànsit	-	0,910
5	Kepler-42d	1	0,57	Trànsit	Nana vermella	1,856
6	Kepler-138c	1,01	1,61	Velocitat radial	Nana vermella	23,008
7	$\alpha$ Centauri Bb	1,1	-	Velocitat radial	Seqüència principal	3,235
8	Kepler-307c	1,2	2,8	Trànsit	-	13,084
9	OGLE-2013-BLG-0341L b	1,66	-	Micro-lent	-	-
10	Kepler-78b	1,69	1,2	Trànsit	Seqüència principal	0,355



Planetes menys massius descoberts a partir del seu trànsit.

*\*Els períodes són en dies. Les masses i els radis són en referència a la Terra.*

**Kepler-78 b:**

Com clarament podem veure a la taula, trobem que el planeta amb unes condicions més semblants a les de la Terra és l'exoplaneta Kepler-78 b. Aquest va ésser descobert mitjançant el mateix mètode que estem estudiant nosaltres, el trànsit, amb el telescopi espacial Kepler, el major detector d'exoplanetes.

Està situat al sistema planetari d'un sol planeta de l'estrella Kepler-78, la qual té una massa d'unes 0,8 vegades la massa del nostre Sol i un radi d'unes 0,75 vegades el radi solar.

El planeta Kepler-78 b té una massa de gairebé 1,7 masses terrestres i un radi d'unes 1,2 vegades el de la Terra, el fins ara exoplaneta aparentment més idoni per viure degut a les seves magnituds familiars. Aquest és un planeta format principalment per roques i ferro (s'intueix la seva composició degut a que si es coneix la massa i el radi del planeta, es pot calcular la densitat i aventurar-se a predir la seva composició) que orbita la seva estrella cada 8 hores i mitja.

Però no tot és tan familiar com sembla. La seva gran proximitat a la seva estrella el fa totalment inhabitable i hostil per a la vida. Un infern, ja que assoleix els 2330K de temperatura a la superfície, és a dir, poc més de 2000°C.

### 4.5.3.3. El planeta que investigarem: WASP-52 b

**Nom:**

WASP-52 b.

La nomenclatura de l'exoplaneta prové del *SuperWASP Project*. S'anomena així perquè va ser nomenat després d'aquest projecte de recerca planetària extrasolar.

**Posició:**

Exactament la mateixa que l'estrella.

**Distància:**

450 anys llum aproximadament.

**Massa:**

0,46 vegades la massa del nostre Júpiter, amb un marge d'error de  $\pm 0,02$ . Júpiter té una massa de  $1,899 \times 10^{27} \text{Kg}$ , per tant, el WASP-52 b tindria una massa de  $8,735 \times 10^{26} \text{Kg}$ .

**Radi:**

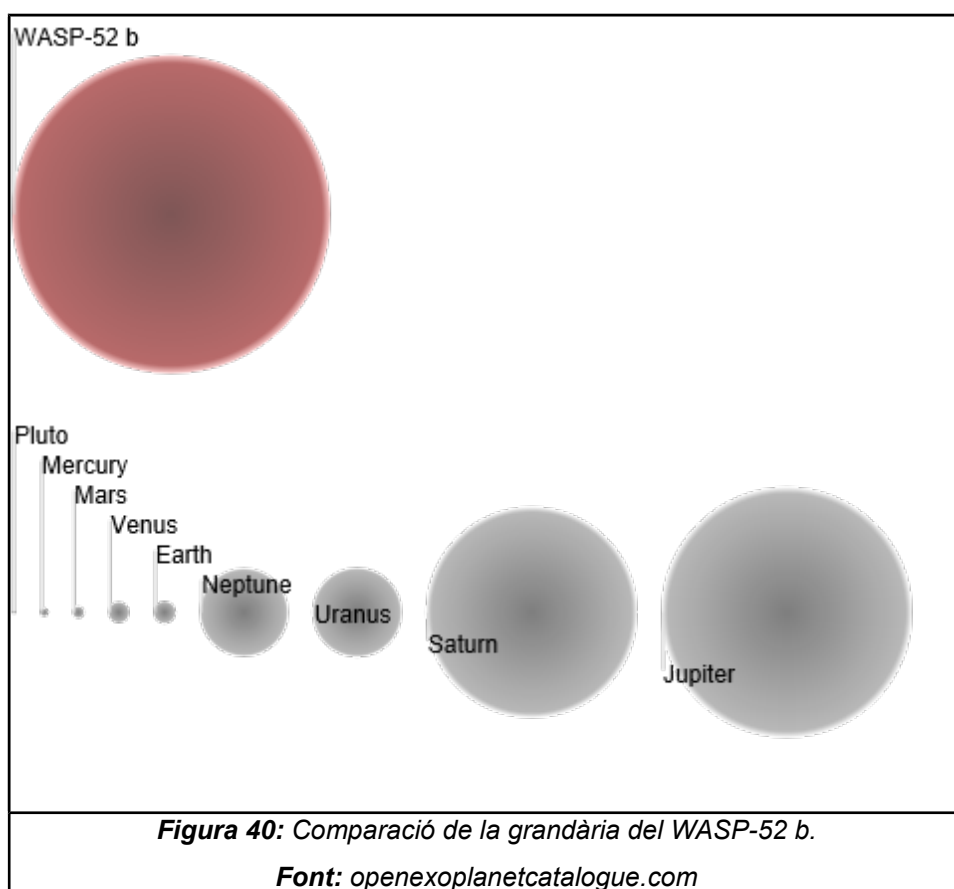
És de 1,27 vegades el radi del nostre Júpiter, amb un marge d'error de  $\pm 0,03$ . El radi de Júpiter és de 71.492 Km, per tant, el WASP-52 b tindria un radi de 90.794 Km.

L'exoplaneta WASP-52b és el que estudiarem. Intentarem veure el seu trànsit per davant de la seva estrella i obtenir el gràfic de caiguda de magnitud.

El WASP-52b, es troba situat en un llunyà sistema solar. Estem parlant d'una xifra d'uns 450 anys llum de distància aproximadament. La seva òrbita dura 1,7 dies terrestres i la seva massa és d'un mig la massa del nostre Júpiter.

La caiguda màxima de magnitud de la seva estrella quan aquest passa per davant seu és de 0,0290 mag. El trànsit dura 108,58 minuts i tenim la sort de que és observable cada divendres.

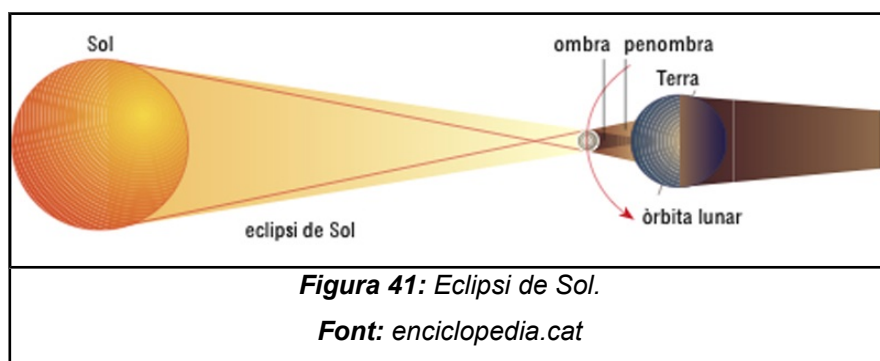
Per fer-nos una idea de la grandària del WASP-52 b, en aquesta imatge es mostren les àrees dels cercles que formen els planetes del nostre sistema solar (en gris) i l'àrea del planeta WASP-52 b (en vermell) a escala.



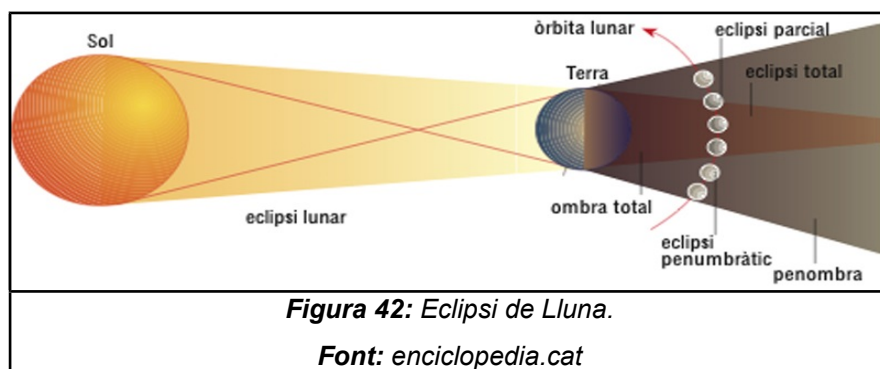
## 4.6. Eclipsis

En general, tothom sap què és un eclipsi, però és ben segur que tothom no sàpiga que hi ha diferents tipus d'eclipsis. El nostre treball de recerca es basa en l'observació d'un d'aquest tipus d'eclipsis, que més que eclipsi, es denomina *trànsit*. Aleshores, quants tipus d'eclipsis hi ha, si també en considerem els trànsits? Doncs en podem distingir 4 tipus:

- Eclipsi de Sol: és quan la Lluna, en girar al voltant de la Terra, s'interposa entre el Sol i el nostre planeta. En aquestes condicions, la Lluna pot tapar el Sol des de diferents perspectives a la Terra. Per a que això pugui arribar a passar, Sol, Lluna i Terra han d'estar alineats i en aquest ordre.



- Eclipsi de Lluna: és quan la Terra, en girar la Lluna al voltant d'ella, s'interposa entre el Sol i la Lluna. Així que, quan estan alineats So, Terra i Lluna, en aquest ordre, la Terra tapa completament la Lluna.





- Trànsit de planetes dins el Sistema Solar: és quan un planeta del Sistema Solar, que obligatòriament ha de ser o Mercuri o Venus, ja que tenen òrbites més properes al Sol que la Terra, s'interposa entre el Sol i la Terra. Per a que es puguin veure, ha d'estar alineats. Cal esmentar que aquests eclipsis es veuen cada molts anys per nosaltres: els de Mercuri cada 7, 13 o 33 anys i els de Venus, cada 121,5 o 105,5 anys.
- Trànsit de planetes fora del Sistema Solar: és quan un planeta d'un sistema planetari extrasolar eclipsa la seva estrella. És el tipus d'eclipsi que observarem al nostre treball de recerca.

### 4.6.1. Trànsit d'exoplanetes

El mètode que utilitzarem en el nostre treball de recerca serà el de la *fotometria d'un trànsit*. Aquest es basa en observar, tal qual diu el mètode, com transita un planeta davant de la seva estrella. Directament no es pot fer, degut a les grans distàncies que hi ha involucrades, però sí indirectament.

Aleshores, el mètode d'observació del trànsit d'un exoplaneta es basa en la detecció d'una disminució de lluminositat d'una estrella en un cert temps, degut a que un dels seus planetes, passa en un moment determinat per davant seu, tapant una part de la superfície de l'estrella i, per tant, part de la seva llum.

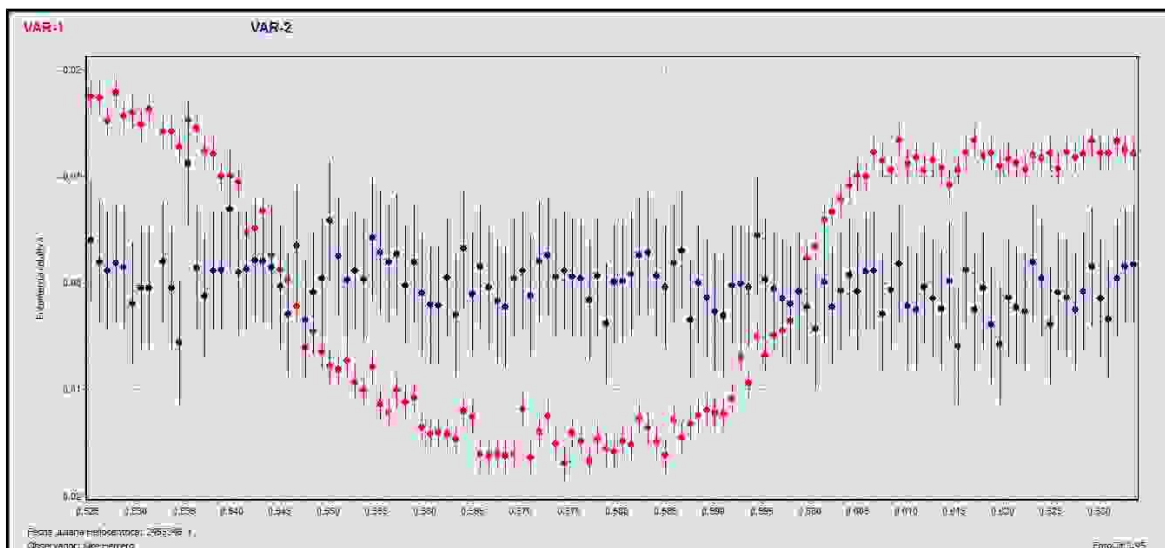
Per a què això pugui donar-se, lògicament, l'estrella a estudiar, el planeta a estudiar i la Terra han d'estar meticulosament alineats.

Com podem mesurar aquesta caiguda de llum? Fent desenes i inclús centenars de fotografies al camp de l'estrella.

#### 4.6.1.1. Quins passos hem de seguir per observar un trànsit?

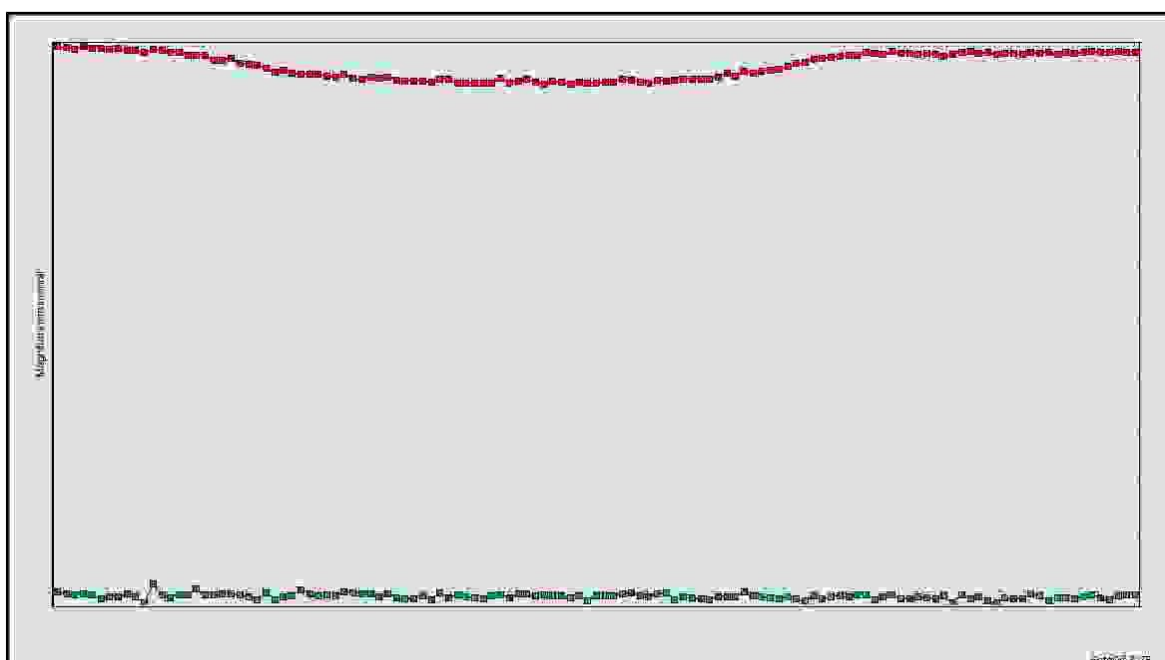
1. Anar a l'observatori un parell o tres d'hores abans de l'inici del trànsit per preparar el telescopi i la càmera (alineació, calibrat, autoguiat, etc.).
2. Buscar el camp de l'estrella que volem estudiar i apuntar perfectament el telescopi a aquesta estrella, intentat que estigui el màxim de centrada possible.
3. Desenfocar mínimament per a què es reparteixi la llum de l'estrella en qüestió en més píxels i es pugui detectar millar la pujada de magnitud.
4. Decidir temps d'exposició de les fotografies que es faran i cada quant temps es faran.
5. Començar a fotografiar una mitja hora abans del trànsit per a què s'aprecii la magnitud normal de l'estrella al posterior processat. Fotografiar regularment durant tot el trànsit i seguir fotografiant mitja hora més després del final d'aquest, ja que així s'apreciarà també el retorn a la normalitat de la magnitud de l'estrella a estudiar.
6. Alinear i processar les imatges i obtenir les gràfiques finals (explicat a l'apartat de programes).

Gràfiques caiguda de llum:



**Figura 43:** Caiguda de llum d'una estrella al passar un exoplaneta davant seu (roig), davant una estrella no variable que sempre mostra la mateixa llum (blau).  
Variable independent (eix x): temps.  
Variable dependent (eix y): fotometria relativa (invers: com més puja, valor més petit).

**Font:** Enrique Herrero Casas.



**Figura 44:** Caiguda de llum, però amb magnitud instrumental. Estrella amb trànsit (roig), estrella no variable (blau).  
Variable independent (eix x): temps.  
Variable dependent (eix y): magnitud instrumental.

**Font:** Enrique Herrero Casas.

## 5. Part pràctica

### 5.1. Aspectes a revisar abans d'observar

Abans de poder donar inici a totes les observacions pertanyents a aquest treball de recerca, teníem clar que feia bastant temps que el telescopi no executava un treball tan intensiu, delicat i específic. Per tant, vam haver de revisar que tots els mecanismes foren correctes i tingueren les condicions adequades i idònies per poder dur a terme unes bones observacions.

Aquests mecanismes que havíem de comprovar eren tant del telescopi, de la càmera com de les diverses connexions que s'havien de donar amb l'ordinador. Dit això, aquests punts a repassar i examinar són:

#### 5.1.1. Bon funcionament del telescopi i càmera

Pel que fa al funcionament del telescopi, ens havíem de preocupar que tots els seus moviments foren amb fluïdesa i de manera precisa mitjançant un apuntat, tant manual com automàtic, d'una estrella a una altra. L'objectiu era veure que la muntura estava en bones condicions i que no sofria cap tipus d'impediment degut a un possible obstacle que dificultés el seu moviment. En aquest punt, donàvem per vàlid un resultat aproximat al desplaçament del telescopi d'un astre a un altre, tot i que aquest aspecte l'estudiaríem més endavant. A més, vam mirar si l'enfoc del buscador del telescopi era correcte i en el cas que no ho fos, ajustar-lo per mitjà d'uns cargols situats en aquella part del telescopi. Vam constatar que totes les connexions entre l'ordinador i del telescopi foren encertades. Tot i així, vam adjuntar tot el cablejat amb la finalitat de mantenir un ordre a l'observatori i evitar possibles topades amb els cables que poguessin ocasionar danys importants.

D'altra banda, pel que fa al funcionament de la càmera, ens vam amoïnar de que realitzés les fotografies correctament, que captés bé la llum incident i veure que enfocava bé. Però un dels punts més importants era certificar una bona connexió entre l'ordinador i la càmera, és a dir, que aquest pogués reconèixer-la. Tots aquests aspectes els vam comprovar fent certes imatges a cossos celestes bastant reconeguts com: la Lluna, els planetes Júpiter i Saturn. També algunes galàxies de cel profund i algun cometa (observacions que mostrarem més endavant).

### 5.1.2. Alineació

És important recordar que les màquines encara no contenen la intel·ligència suficient com per a poder saber totes les dades de l'entorn que els envolta. Amb això volem dir que cada cop que apaguem el telescopi, aquest perd les coordenades exactes de cada astre i necessita ajuda per a poder reconèixer la seva situació. Com ho vam fer? Doncs en aquest capítol, ens vam focalitzar en un mètode ja esmentat en la descripció d'alguns programes com és el Cartes du Ciel, és a dir, desplaçar el telescopi respecte dues estrelles. Per tant, vam seguir els següents passos:

1. Apuntar a una estrella fàcil de reconèixer per tal de centrar-la en l'ocular.
2. Mitjançant un comandament de sincronització del Cartes du Ciel, fer saber al telescopi l'astre on està apuntant amb exactitud.
3. Portar-lo automàticament a un altre objecte qualsevol i mirar si està apuntant amb precisió el nou objecte.
  - a. Si està ben apuntat, el procés ja es dona per finalitzat perquè el telescopi ja està alineat.
  - b. Si no està ben apuntat, cal tornar a l'astre inicial (el que està com a patró) i realitzar les vegades que faci falta els tres passos explicats.

Val a dir que hi ha una eina més senzilla, visualment, per a comprovar que l'astre es troba al mig. Aquest tracta en realitzar fotografies contínues de poc temps d'exposició per poder observar en quina part de la imatge es situa el cos. D'aquesta manera, tot el equip científic pot col·laborar i acabar d'ajustar els paràmetres el màxim possible. Finalment, els últims ajusts es donen des de l'ordinador (un panel de control) o des del comandament del propi telescopi. És indiferent quin utilitzar ja que realitzen la mateixa funció de moviment dels punts cardinals i les diferents velocitats de moviment. En aquest cas, vam utilitzar la velocitat mínima un moviment bruscat ens podia fer perdre l'astre del camp.

Cal destacar que aquest procediment no és igual per a tot tipus d'observació ja que segons el grau de llunyania de l'astre a estudiar, aquesta alineació és més estricta. O sigui, per a dur a terme les observacions de Júpiter, Saturn i Lluna podíem passar per bo certs paràmetres (nivell de precisió, principalment) que en d'altres no podríem passar per alt com són les de cel profund perquè es troben molt lluny del nostre planeta i es necessita un gran nivell de precisió. Aquests objectes de cel profund que hem examinat han estat algunes galàxies i, sobretot, el trànsit de l'exoplaneta d'aquest treball de recerca.

En conclusió, realitzant aquests senzills passos tothom seria capaç d'alinejar el seu telescopi.

### **5.1.3. Apuntat**

Un cop l'alineació està comprovada, calia fixar-se en l'apuntat. Està clar que a mesura que avança la nit, veiem que les estrelles es mouen i això és fruit a que la Terra també s'està movent sobre sí mateixa i al voltant del Sol.

Aquest aspecte a l'hora de realitzar fotografies astronòmiques es reflexa en que si el telescopi no té en compte el seguiment de l'astre, aquest al llarg del temps desaparegui del camp de visió. A partir d'aquí va sorgir una metodologia

anomenada Mètode de la Deriva – més reconeguda com alineació polar - que vam portar a la pràctica. Bàsicament, aquest procés consisteix en examinar el moviment de l'estrella a la que estem fent diverses fotografies i, a continuació, fer correccions d'altura i azimut (conceptes explicats en la part teòrica de telescopis). A partir d'aquí vam haver de revisar els dos termes per separat.

### Azimut

Un cop vam tenir l'estrella, que havia de situar-se el més prop possible del meridià de l'observador, enmig dels eixos de l'ocular en paral·lel al seu moviment, feia falta esperar i observar cap a on anava per saber quin tipus de moviment seguir. Per tant:

- Un moviment cap al Nord indica que la muntura està cap a l'Oest del pol Sud. Per tant, ens hem de moure en azimut en sentit antihorari.
- Un moviment cap al Sud indica tot el contrari a l'anterior. Per tant, en azimut en sentit horari.

Tot seguit, quan vam detectar quin tipus de moviment seguia l'estrella, la vam tornar a centrar per tal d'aconseguir un major temps en que l'astre no es movia. Tot i així, vam observar que l'objecte tenia un cert moviment periòdic d'anada i tornada en el camp de visió. Això és degut a que els engranatges del telescopi no són perfectament circulars i provoquen aquest error periòdic.

### Altura

Una vegada que ja no apreciàvem errors en l'apuntat d'azimut, ens vam haver de preocupar de l'apuntat d'altura. Calia retornar a ajustar els eixos de l'ocular al nou astre apuntat però aquesta vegada prop del l'Equador. De la mateixa manera que en l'azimut, calia mirar el moviment de l'astre respecte els eixos:

- Si estem apuntant cap a l'Est i l'objecte es mou cap al Nord, vol dir que la muntura està massa baixa. Per tant, cal pujar-la.
- Si estem apuntant cap a l'Oest, l'objecte es mou cap al Sud, vol dir que la muntura està massa alta. Per tant, cal baixar-la.

Ja tenint tots dos conceptes azimut i altura estabilitzats, aconseguirem que l'objecte no produeixi moviment al llarg d'uns minuts.

Finalment, els més veterans recomanen que durant aquest procés s'utilitzi el màxim augment possible perquè es podrà obtenir un apuntat més precís. És necessària molta pràctica ja que aquest és un mètode molt complex.

### **5.1.4. Enfocament**

Aquest termini és una mica relatiu ja que segons el tipus de imatge que vols aconseguir per tal d'utilitzar-la en un àmbit o un altre, l'enfocament ha de ser d'una manera o d'una altra.

En el cas de la primera pràctica que adjuntarem més endavant, per aconseguir unes imatges més precises i detallades l'enfoc el podem ajustar al màxim perquè a l'ésser cossos propers i molts brillants, no es necessari repartir els fotons de la llum per a elaborar la imatge. En resum, per poder obtenir una bona resolució de



la imatge és imprescindible tenir sempre el major enfocament possible. Aquesta dada es pot conèixer numèricament amb l'ajuda d'un programa que ens mostra el nivell d'enfocament, on el resultat més beneficiós s'extreu de aproximar-se més a zero.

En canvi, en el cas de la segona pràctica que correspon a l'observació del trànsit, aquest enfocament havia de ser una mica desajustat. A simple vista no és comprensible no enfocar el màxim possible un objecte que es troba molt lluny i que, a més, emet poca quantitat de llum. Però sota un punt de vista científic, l'objectiu és convertir el petit punt de llum en una mena de dònut, per així augmentar la superfície de rebuda de llum. D'aquesta manera adquirim que la càmera pugui rebre més fotons de l'estrella als seus píxels i es puguin repartir, que no pas l'arribada de pocs fotons i amb la dificultat de no poder-los repartir entre els diferents píxels. Finalment, tot i desenfocar l'astre, obtenim bones imatges.

### **5.1.5. Humitat de la càmera**

Una peculiaritat que no molta gent presta atenció en les seves càmeres és l'aparició d'unes certes taques en les imatges sense saber d'on provenen. En canvi, els astrònoms si les presten molta atenció ja que poden perjudicar considerablement les imatges.

Un dels principals factors que poden perjudicar aquestes fotografies és la humitat, que és deguda als diferents canvis de temperatura que sofreix la càmera. Arran d'aquest coneixement, els enginyers van fabricar els dessecadors. Aquests són uns instruments de laboratori que permeten que la càmera es mantingui neta i deshidratada. Així no es fan reserves de cap substància, com pot ser l'aigua, i al canviar la temperatura no provoqui danys físics a les fotografies.

En el nostre cas, va ser una eina molt important ja que vam patir problemes d'humitat en diverses fotografies perquè la càmera treballava a una temperatura aproximada a  $-15^{\circ}\text{C}$ . Això va ocasionar l'haver d'endarrerir dates d'observacions. Tot i així, amb l'ajuda d'un company vam aconseguir tenir aquest instrument el més ràpid possible.

### 5.1.6. Funció d'auto-guiat de la càmera

Aquest procés va ésser una mica delicat ja que mai s'havia posat en pràctica. Bàsicament consistia en comprovar si la mateixa càmera era capaç de seguir per sí sola l'astre a observar sense que nosaltres ens haguéssim de preocupar de moure el telescopi.

Malauradament, sol vam aconseguir un minut i poc més d'auto-guiat, la qual ens va fer decidir portar el guiat de l'astre de manera manual, és a dir, quan ens semblava que l'estrella s'allunyava del centre de la imatge la tornàvem a col·locar per mitjà del comandament del telescopi (si estàvem treballant a dalt la cúpula) o pel panell de control del Cartes du Ciel (si estàvem a l'aula).

### 5.1.7. Calibrats

Aquesta revisió es va basar exactament en el que s'explica en l'apartat de calibrats de la part teòrica, és a dir, en aïllar tots aquells falls del sistema electrònic i mecànic anomenats soroll. A partir d'aquí vam haver de realitzar diferents fotografies de calibrat que fessin una funció similar a la d'un filtre. Aquestes fotos s'anomenen "darks" (soroll tèrmic), "bias" (soroll electrònic) i "flats" (soroll òptic). Segons el tipus de soroll les vam fer d'una manera o altra:

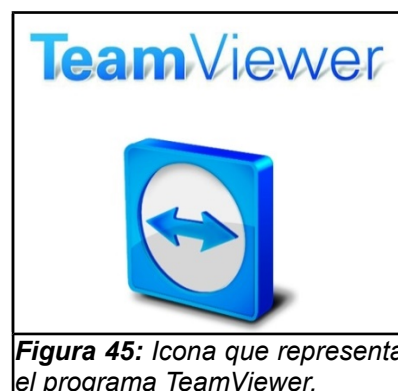
- En el cas dels "bias" i "darks" vam realitzar sèries de 20 fotografies d'uns 20 segons a diferents temperatures:  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $-15^{\circ}\text{C}$ ,  $-20^{\circ}\text{C}$ . Aquestes

fotografies ens serviren ja per a qualsevol observació que volguéssim fer perquè aquestes fotografies ho permeten. Per a fer-les, únicament vam tapar l'obturador i vam refredar la càmera fins a les temperatures esmentades anteriorment.

- En el cas dels “flats” vam realitzar una sèrie d'unes 10 fotos. En aquest cas, no ens vam haver de preocupar de canviar la temperatura, sinó d'elaborar un mecanisme amb una mena de pissarres blanques. La finalitat era enfocar una pissarra amb un llum i que aquest es reflectís a un altre panell. Després vam enfocar el telescopi al darrer panell i vam realitzar les fotografies. De la mateixa manera que els “darks” i “bias”, vam poder utilitzar aquestes fotografies per qualsevol observació.

### 5.1.8. Lloc de treball

Degut a que arribava la tardor, ens preocupava haver de treballar a dalt l'observatori amb el fred que es podia ocasionar. D'aquesta manera, vam revisar que si per mitjà d'uns programes informàtics, anomenats TeamViewer, podíem treballar d'una manera més còmoda i agradable a l'aula.



Simplement calia comprovar que al connectar els 3 ordinadors poguessin aguantar i no desconnectar-se. Arran d'això vam provar de vincular més de 3 ordinadors. El resultat final va ésser molt satisfactori ja que l'associació va arribar a ser estable fins i tot amb 5 ordinadors.

En conclusió, vam poder treballar d'una manera més còmoda i a una temperatura més agradable, de la mateixa manera que si haguéssim treballat a dalt l'observatori.

## 5.2. Part pràctica 1<sup>a</sup>

Abans de dur a terme l'observació principal d'aquest treball de recerca, vam voler mirar altres astres que, com a amants de l'astronomia, ens fascinen veure'ls. Alhora, creïem que ens serviria per entendre tots els mecanismes del telescopi i familiaritzar-nos amb l'ús dels diferents programes que fan possible totes aquestes vistes a l'exterior, a l'Univers.

Per tant, vam realitzar diferents treballs d'on vam extreure fotografies molt satisfactòries, boniques i espectaculars.

### 5.2.1. Observació de la Lluna

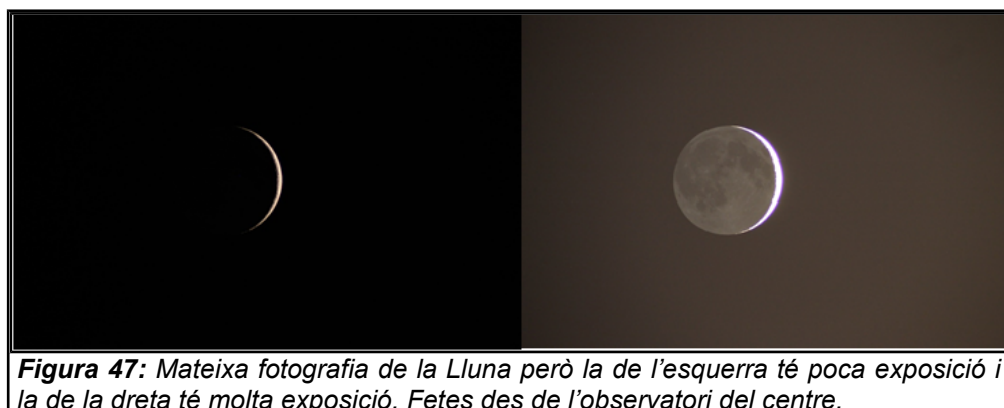
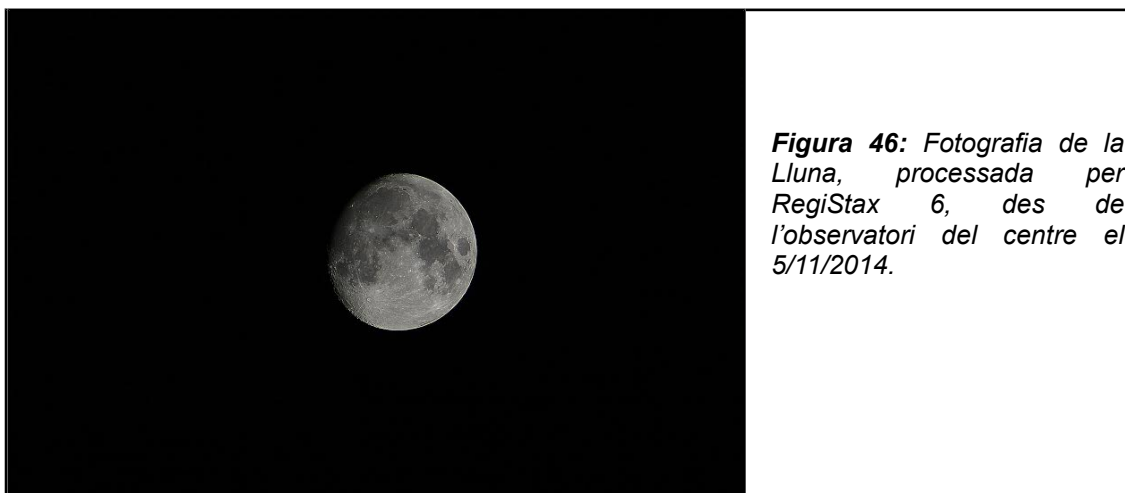
Al llarg de tot el desenvolupament d'aquest treball de recerca, la Lluna ha estat un dels cossos celestes que més vegades hem observat degut a la seva majestuositat i bellesa. Aquest satèl·lit natural del nostre planeta, ens ha comportat certs problemes en moltes observacions degut a la gran quantitat de llum que es produeix en cel fent quasi impossible poder observar altres objectes molt poc brillants. Per tant, aquests dies de Lluna plena, creixent o decreixent, no ens vam privar de fer-li alguna fotografia. A continuació mostrem el resultat.

**Objectiu:** Aprendre a utilitzar el telescopi per nosaltres mateixos i fer diferents fotografies per tal de poder-les processar més tard per millorar-ne la qualitat.

**Metodologia:** Ús manual del telescopi, és a dir, portar el telescopi per mitjà del seu comandament a la Lluna. En aquesta pràctica no calia realitzar alineació ni calibratge ja que es tracta d'un astre amb una magnitud, quan és plena, de -12'6 i ja es pot observar a simple vista.

**Processat posterior de les imatges:** Per mitjà del programa RegiStax 6 vam millorar la qualitat d'algunes imatges que vam escollir, seguint els procediments ja explicats en l'apartat de "descripció dels programes informàtics".

**Resultats:**



## 5.2.2. Observació del cometa Lovejoy C2014Q2

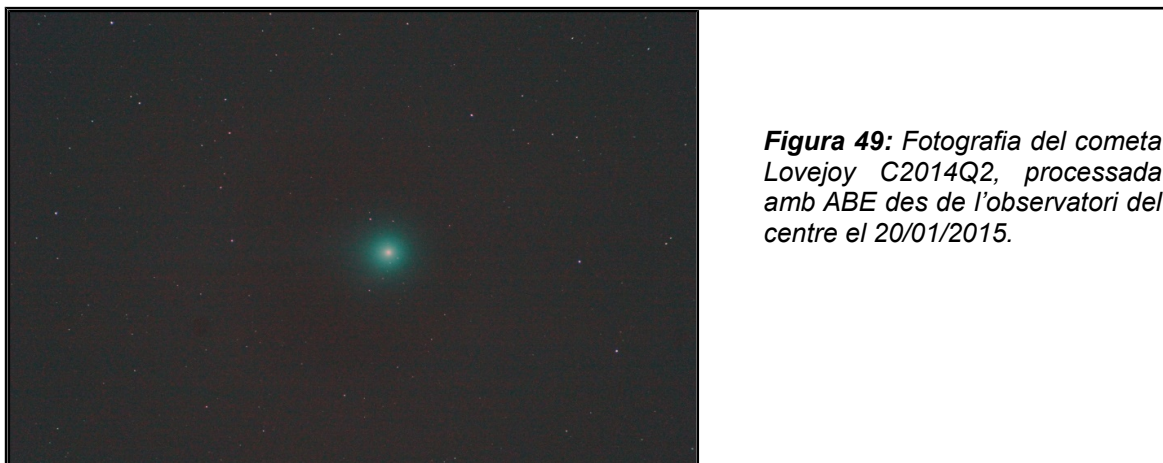
Aquest va ser un objecte que ens va agafar per imprevist ja que desconeixíem la seva existència. Tot i així, per internet les coses circulen molt ràpid i ens vam assabentar. Es tracta d'un cometa de període llarg descobert el 17 d'agost de 2014 per Terry Lovejoy, d'aquí prové el nom del cometa. Va ser descobert amb una magnitud de 15, molt poc visible. Però es va calcular que a mitjans de gener de 2015, aquest cometa tindria una magnitud entre 4 i 5, és a dir, que podria ser vist a simple vista en un cel poc contaminat o amb telescopis simples. Per tant, quan es van donar aquestes dates, ens vam dedicar a buscar-lo i fer-li alguna fotografia.

**Objectiu:** Detectar el cometa i fer-li diverses fotos.

**Metodologia:** Vam utilitzar el desplaçament automàtic del telescopi sincronitzant-lo amb l'ordinador, més concretament, amb el programa Cartes du Ciel. Aquest ens donava les coordenades exactes del cometa i portava de manera automàtica el telescopi.

**Processat posterior de les imatges:** Aquesta vegada van ser els nostres tutors els que van processar les imatges mitjançant ABE (en anglès, Automatic Background Extraction) del software PixInsight.

### Resultats:



### 5.2.3. Observació del Sol i el seu eclipsi parcial

Cal recordar que a més de poder realitzar observacions durant la nit, també es poden fer al llarg del dia. Tant és així, que un altre astre que vam examinar va ser la nostra estrella principal del nostre Sistema Solar, el Sol. Aquesta és una de les principals fonts de vida dels éssers vius ja que sense ella, la major part dels individus desapareixerien.

Aquest any hem tingut la sort de que hi ha hagut un eclipsi parcial de Sol, és a dir, que la Lluna s'ha interposat exactament entre la Terra i el Sol. Llavors no ens vam privar de fer una extensa observació d'aquest fet astronòmic. Cal afegir que vam voler retransmetre en directe, des de la pàgina web de l'institut, l'eclipsi parcial de Sol i va ser tot un èxit.

**Objectiu:** Gravar tot l'eclipsi parcial de Sol i retransmetre-ho per la pàgina web de l'institut.

**Metodologia:** De la mateixa manera que l'observació a la Lluna, no fa falta realitzar cap procés d'alineació ni calibratge ja que aquesta estrella és la més brillant del nostre cel i es pot observar a simple vista. Tot i això, és imprescindible l'ús d'uns filtres en el telescopi per a poder observar el Sol sense posar en perill la nostra visió.

**Resultats:**

**Figura 50:** Diverses fotografies de l'eclipsi de Sol el 20/03/2015, des de l'observatori del centre.



## 5.2.4. Observació de Júpiter

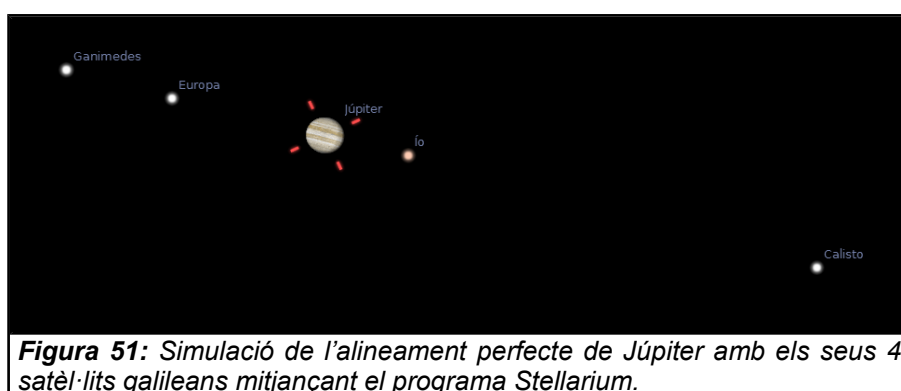
Aquesta observació es va portar a terme el dia de les portes obertes de l'institut i vam escollir aquest astre perquè és el planeta més gran del nostre Sistema Solar. A més, eren les dates més apropiades per a poder observar-lo ja que aproximadament el 6 de febrer era el dia en el que Júpiter estava més a prop de la Terra.

Alhora, també vam voler fer aquest estudi ja que posaríem en pràctica un nou procés que no havíem provat abans, l'alineació.

**Objectiu:** Posar en pràctica el procés d'alineació i oferir l'oportunitat d'observar Júpiter a tot aquell que estigui interessat.

**Metodologia:** A diferència dels estudis de la Lluna i el Sol, en aquest cas era molt important alinear el telescopi ja que comencem a fixar-nos en punts bastant petits en el cel i es necessita una bona precisió en el apuntat. Encara no fa falta fer cap tipus de calibratge.

**Resultats:** Com el nostre objectiu era obrir les portes al públic per a que poguessin veure amb els seus propis ulls el planeta Júpiter, no fer cap fotografia. Tot i així, us adjuntem una simulació de com es veia Júpiter aquell dia:





### 5.2.5. Observació de Saturn

Saturn és el segon planeta més gran del nostre Sistema Solar i es considera el més bonic per a poder observar ja que presenta uns anells compostos de petits trossos de roca. Per aquest motiu vam voler mirar aquest astre i vam aprofitar que a mitjans de maig era l'època més apropiada per a poder-li donar un cop d'ull.

**Objectiu:** Posar en pràctica els mateixos mètodes que els de Júpiter. En aquest cas, també era important comprendre la importància que té fer una foto amb un bon enfocament o no. Com a últim objectiu, veure de manera clara els anells de Saturn.

**Metodologia:** Exactament la mateixa que la de Júpiter amb una diferència, realitzar un bon enfocament. D'acord amb l'apartat d'enfocament de la part pràctica, era important fer un bon enfoc per tal d'obtenir una bona resolució de la imatge.

**Resultat:** 1 fotograma sense processar.



**Figura 52:** Fotografia de Saturn on es pot distingir clarament l'estructura del planeta i la dels seus anells, des de l'observatori del centre el 22/05/2015.

## 5.2.6. Observació de galàxies

Al llarg d'aquest treball de recerca hem realitzat nombroses fotografies a diferents galàxies per a comprovar que la càmera SBIG ST-9 estava en bones condicions abans d'iniciar l'observació final al trànsit. A més, també ens ajudava a veure com es comportava la càmera davant de certs objectes que es trobaven en el cel profund, és a dir, molt lluny del nostre planeta.

Cal destacar que a les primeres fotografies vam tenir certs problemes com: l'enfocament de la càmera no era l'adequada ja que les imatges eren una mica borroses i apareixien certes taques en les imatges fruit de la humitat ja que el dessecador de la càmera no anava prou bé. Tot i així, vam aconseguir arreglar-ho tot per a poder realitzar per fi, l'esperat trànsit de l'exoplaneta.

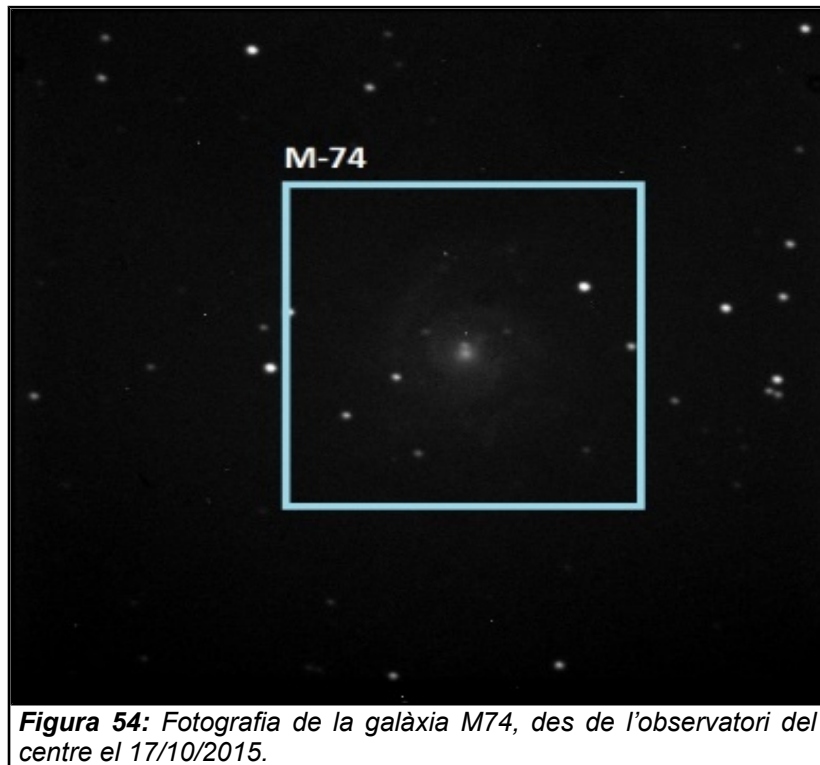
**Objectiu:** Posar en pràctica el mètode d'alineació i el de calibratge, aquest darrer perquè les imatges ja tenien molt soroll i era imprescindible eliminar-lo.

**Metodologia:** Alineació del telescopi, realitzar les diferents imatges i finalment, aplicar en elles els diferents filtres ("darks", "bias" i "flats") per tal d'eliminar el soroll.

**Resultats:**



**Figura 53:** Fotografia de la galàxia M104 (galàxia del barret), des de l'observatori del centre el 27/05/2015.



## 5.3. Part pràctica 2<sup>a</sup>: Trànsit WASP-52 b

### 5.3.1. Introducció

L'essència d'aquest treball de recerca es basa en aquesta pràctica, que bàsicament és veure el trànsit d'un exoplaneta des de l'observatori del nostre institut.

Després de molt buscar exoplanetes que poguéssim observar des del nostre institut, vam trobar el WASP-52 b, que era perfecte. Havíem de trobar un exoplaneta que transités la seva estrella un divendres o dissabte a la nit, més aviat cap a les primeres hores d'obscuritat total al cel. També havia d'estar orientat cap al Sud, ja que cap al Nord ho taparia la nostra Seu Vella i seria impossible. El WASP-52 b reunia les nostres condicions i, a més, va donar la casualitat que transitava uns quants divendres seguits per la nit. Això ho vam aprofitar per fer les dos observacions del trànsit que vam poder i dues més per trobar el camp i fer calibrats, poques nits degut a les inclemències del temps.

### 5.3.2. Estructura de les nits d'observació

**1<sup>a</sup> nit:** Vam comprovar el software. Vam intentar trobar el camp de l'estrella WASP-52 b. Vam provar la càmera ST9 per primera vegada. Vam aprofitar per fotografiar M74.

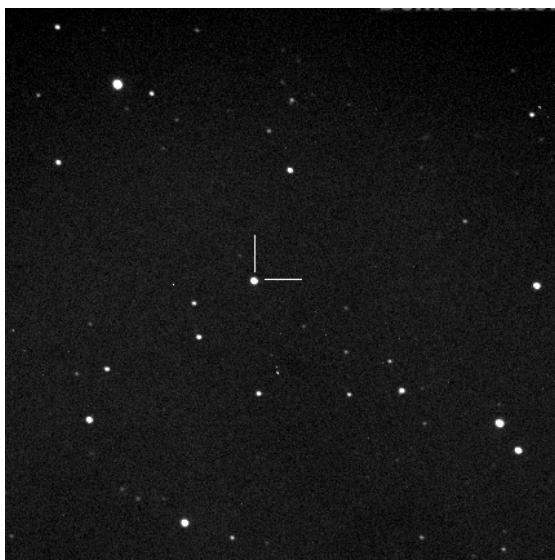
**2<sup>a</sup> nit:** Vam tornar a buscar el camp de l'estrella i vam fer calibrats. El problema de no trobar el camp va raure en què pensàvem que estàvem al camp correcte, però érem al del costat. Vam haver de plegar perquè els núvols van tapar el cel.

**3<sup>a</sup> nit:** Vam observar per primera vegada el trànsit de l'exoplaneta. Ho vam fer correctament.

**4<sup>a</sup> nit:** Vam observar per segona vegada el trànsit. Vam perdre el camp.

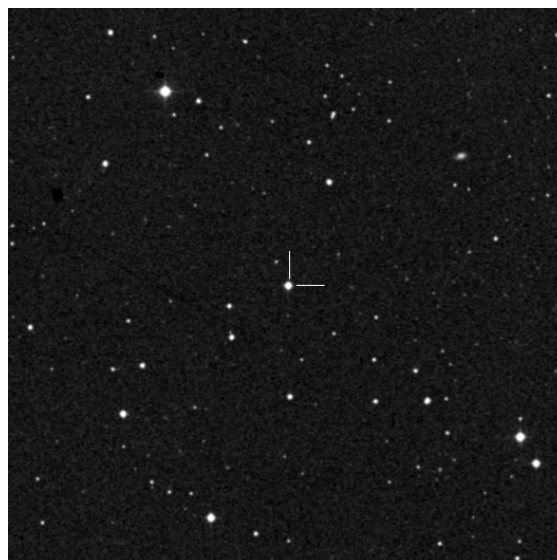
### 5.3.3. Trobada del camp

Després de dos nits buscant el camp de WASP-52 b, vam trobar-lo inqüestionablement, ja que coincidia a la perfecció amb el de la pàgina ETD (Exoplanet Transit Database).



**Figura 55:** Imatge del camp que vam obtenir.

**Font:** Pròpia.



**Figura 56:** Imatge del camp a cercar.

**Font:** ETD.

### 5.3.4. Abans de les observacions

Cal remarcar que abans de cadascuna de les observacions del trànsit, per tal de poder fer-ho el més bé i acuradament possible, vam seguir els «*Aspectes a revisar abans d'observar*» exposats a l'apartat 6.1.

### 5.3.5. 1<sup>a</sup> observació del trànsit

#### 5.3.5.1. Explicació aspectes de l'observació

Aquesta observació va acabar molt bé, ja que vam poder seguir el trànsit d'acord com està explicat a l'apartat 5.6.1.1, on s'ha de començar a fotografiar una mitja hora abans de l'inici i després del final del trànsit.

En tot moment vam tenir l'estrella el màxim centrada possible: després de cada sèrie de fotografies, movíem el telescopi mínimament amb els comandaments del *Cartes del Cel* per tenir l'estrella centrada al camp.

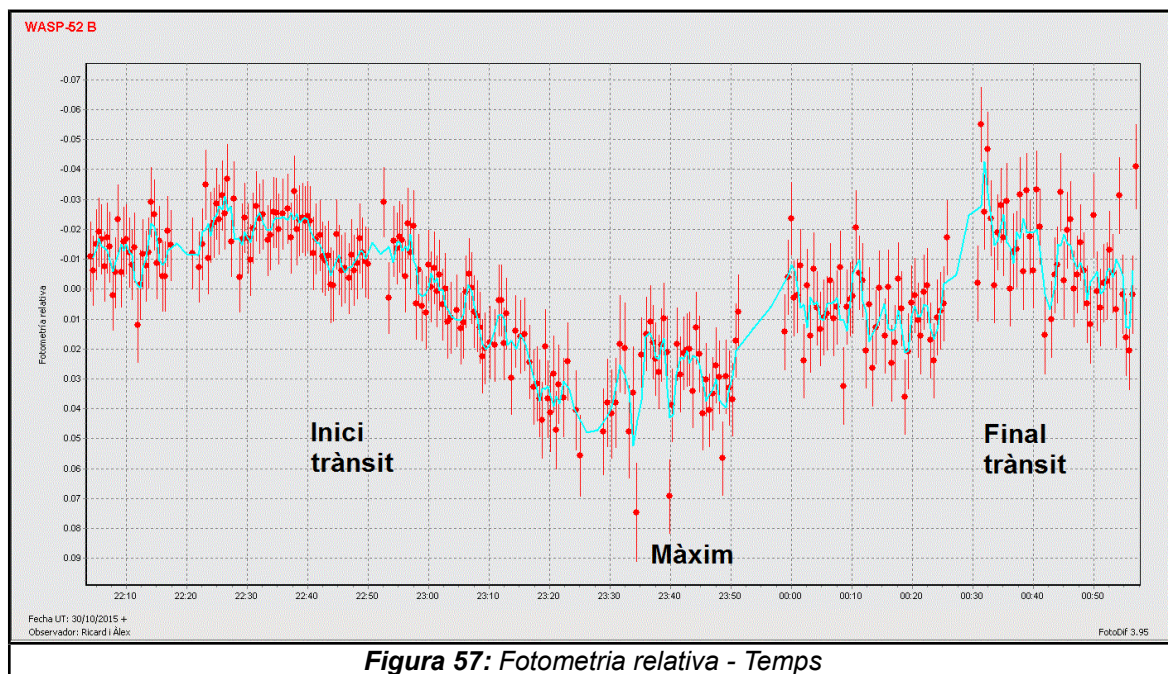
Cal dir que vam fer 290 fotografies, distribuïdes en 11 sèries. Les sèries 1, 2, 3, 8 i 11 van ser de 30 fotografies cadascuna. La sèrie 4 va ser de 40 fotografies. Les sèries 5, 6, 7, 9 i 10 van ser de 20 fotografies. Totes les fotografies van estar fetes amb 20 segons d'exposició i amb uns 5 segons de marge entre fotografia i fotografia.

Fetes totes les fotografies i finalitzat el trànsit, vam desar les imatges ordenades, vam plegar i vam marxar.

El dimarts següent, els tutors ens van ensenyar a utilitzar el programa *Astroart*, descrit en aquest treball a l'apartat 4.4.2. Una vegada vam saber fer-lo funcionar, vam processar totes les imatges (incorporar filtres de calibrats bias i dark i alinear). Seguidament, els tutors ens van ensenyar a utilitzar també el programa *FotoDif*, descrit també en aquest treball a l'apartat 4.4.3. Una vegada el vam saber utilitzar, vam obtenir els gràfics de caiguda de llum.

### 5.3.5.2. Anàlisi de gràfics i conclusions

#### Primer gràfic obtingut



- Els punts vermells mostren l'hora que es va fer la fotografia d'acord amb el nivell de magnitud (partint del 0 com a referència per mesurar la diferència de magnitud entre fotografia i fotografia).
- Els segments verticals vermells mostren el possible error en la mesura.
- La línia blava que travessa els punts mostra la tendència mòbil, de període 3, que tenen el seguit de dades (290 fotografies amb les seves magnituds).

Aspectes positius:

Hi ha una significativa baixada de llum, per tant, vol dir que el més probable és que haguéssim captat el trànsit del WASP-52 b. També es veu com les hores d'inici, màxim i final del trànsit concorden perfectament amb les reals: 22:40, 23:30 i 00:30, respectivament. Per altra banda, la línia de tendència també mostra una caiguda en la lluminositat de l'estrella (pujada de magnitud) de més o menys les centèsimes corresponents:  $0,03 \pm 0,01$ .

Aspectes negatius:

Es veu una primera baixada de llum amb molta pendent i per contra, a la pujada, la pendent és menor i sembla que queda esglaonada. A més, es veuen unes mesures al màxim que mostren una baixada de magnitud molt exagerada d'acord amb el que hauria de ser.

Conclusions:

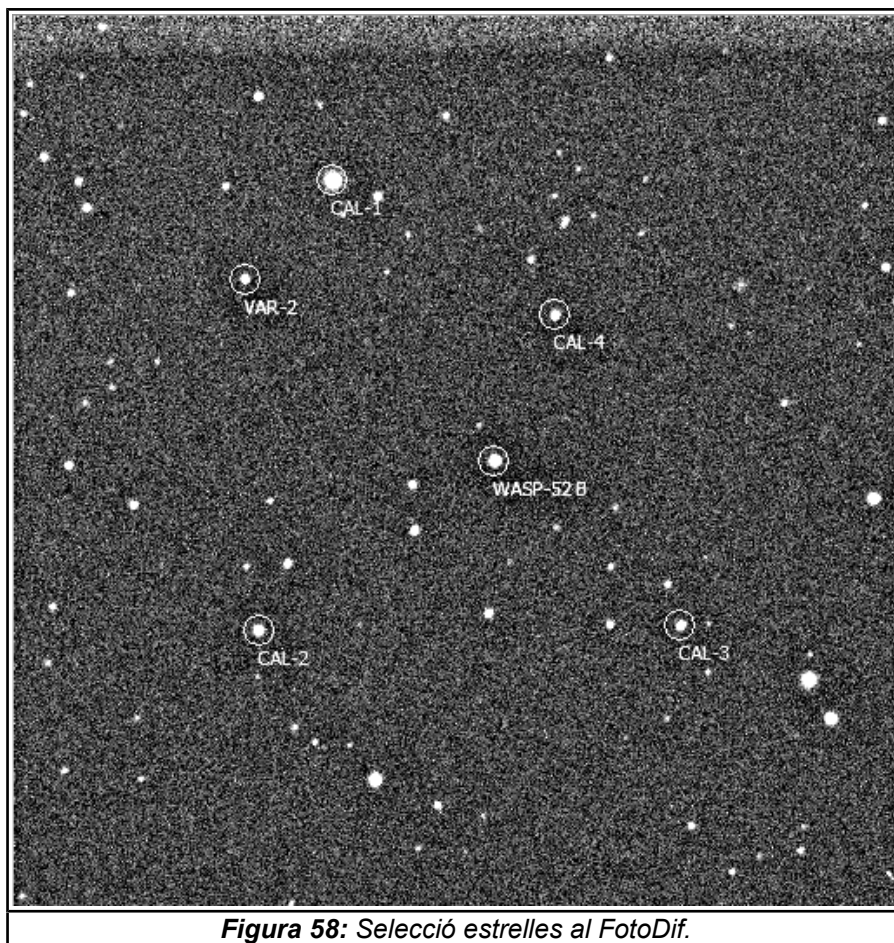
El més probable és que haguéssim captat el trànsit correctament, però les dades no són gaire clares d'acord amb les mesures durant el trànsit.

No hi ha una altra estrella no variable de referència per poder comparar un gràfic d'una estrella que no té cap variació en la seva magnitud, amb una altra que puja de magnitud degut al trànsit d'un planeta.

Només hi ha una estrella utilitzada com a estrella de calibratge (seleccionada abans d'obtenir el gràfic al FotoDif i que ha de ser no variable).

D'acord amb això, farem un altre processat amb més estrelles de calibratge i amb una altra no variable que surti al gràfic com a referència per comparar.



**Selecció estrelles al camp del WASP-52 b**Estrelles per fer el gràfic:

Són l'estrella WASP-52 (on es troba l'exoplaneta WASP-52 b) i l'altra estrella marcada com a variable segona (VAR-2), encara que en realitat no sigui variable (es marca com a variable per a què aparegui al gràfic).

Estrelles per calibrar:

CAL 1, CAL-1, CAL-2 i CAL-3 són les estrelles marcades com no variables per calibrar les nostres dades.

Segons gràfics obtinguts

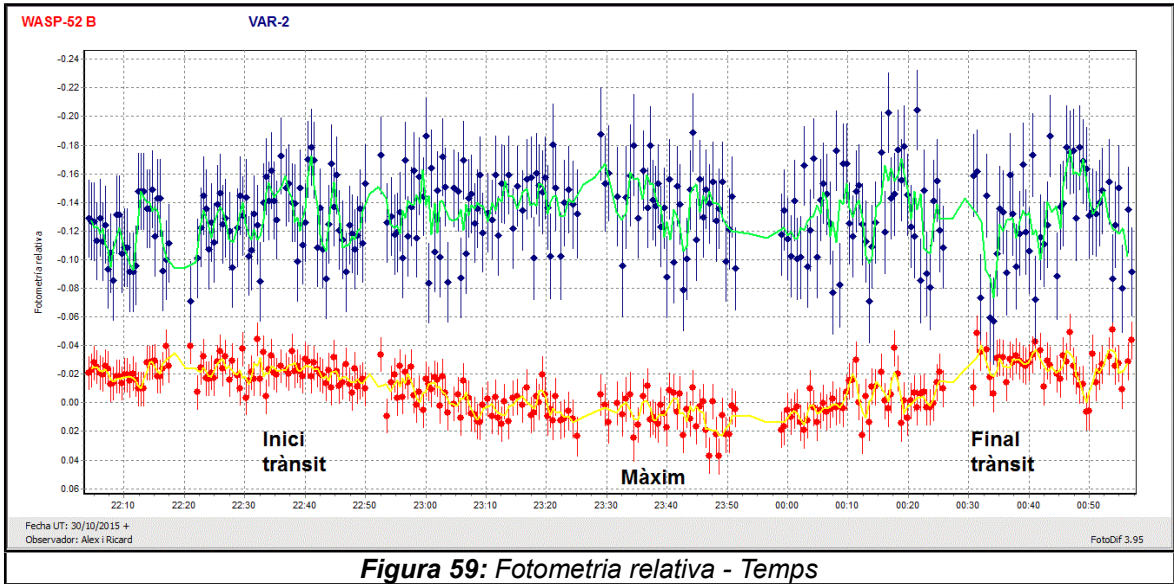


Figura 59: Fotometria relativa - Temps

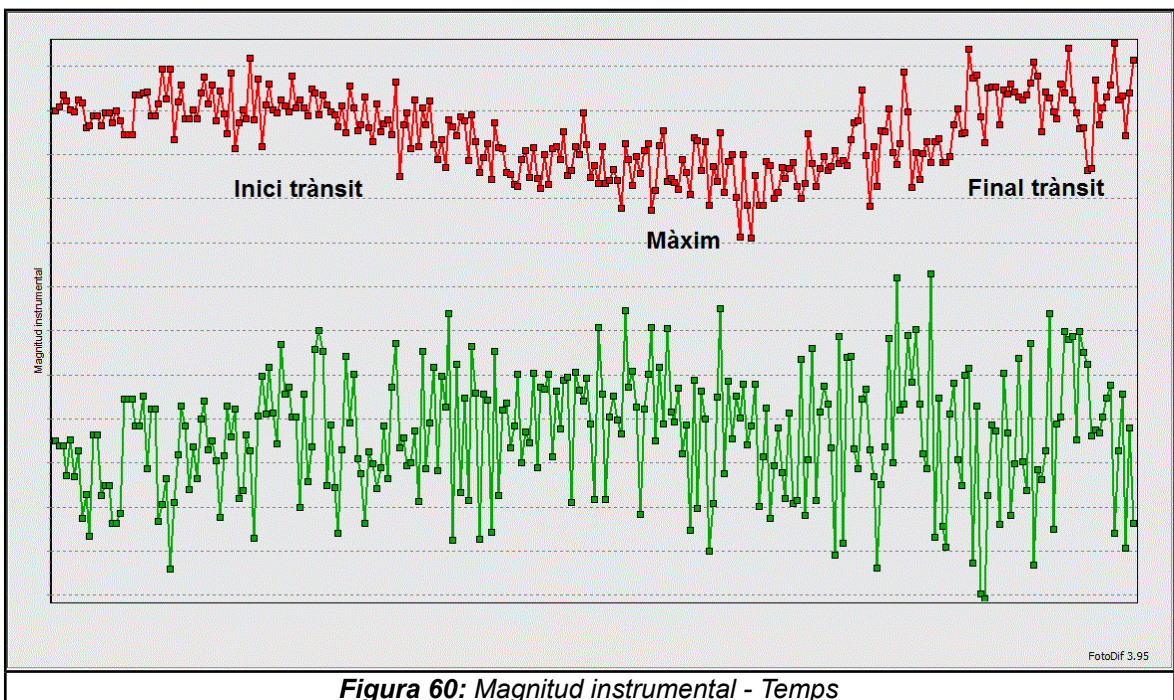


Figura 60: Magnitud instrumental - Temps

Gràfic «Fotometria relativa – Temps»:

- Els punts vermells mostren l'hora que es va fer la fotografia d'acord amb el nivell de magnitud de WASP-52. Els punts blaus ho mostren per la segona estrella, que és no variable.
- Els segments verticals vermells mostren el possible error en la mesura de WASP-52. Els segments verticals blaus ho mostren per a l'estrella no variable.
- La línia groga que travessa els punts vermells mostra la tendència mòbil, de període 3, que tenen el seguit de dades de WASP-52 (290 fotografies amb les seves magnituds). La línia verda que travessa els punts blaus mostra la tendència de les dades de l'estrella no variable.

Gràfic «Magnitud instrumental – Temps»:

- Els punts vermells mostren les dades de magnitud de WASP-52 b. Els punts verds mostren les dades de magnitud de l'estrella no variable.
- La línia vermella que travessa els punts vermells, no mostra la tendència, només traça un recorregut entre els punts per visualitzar millor el resultat. La línia verda que travessa els punts verds, ho mostra per a l'estrella no variable.

Aspectes positius:

S'aprecia perfectament una clara caiguda de brillantor de l'estrella WASP-52 a tots dos gràfics, on, comparant-ho amb l'estrella no variable, es veu una clara diferència entre WASP-52 (que presenta una corba en el seguit de punts que la representen a la gràfica en un interval de temps determinat) i l'estrella no variable (que mostra una línia més o menys recta en el seguit de punts que la representen a la gràfica en el mateix interval de temps).

Les hores en què el trànsit comença, arriba al seu punt màxim i finalitza a la nostra primera gràfica, concorden perfectament amb les hores reals en què es produïa, les quals estaven disponibles a la web de la ETD (Exoplanet Transit Database) com a referència.

La línia de tendència groga de la primera gràfica mostra la corba abans mencionada amb claredat i una caiguda de brillantor de WASP-52 remarcable, i a més, molt real: 0,03 unitats de magnitud. Amb un marge d'error que es podria considerar insignificant, ja que es tracta de mil·lèsimes de magnitud. Per altra banda, la línia de tendència verda mostra que l'estrella no variable, com bé era d'esperar, no varia de lluminositat, ja que defineix un recorregut amb petits pics però més o menys recte.

També es pot veure com els possibles errors en la mesura de les magnituds de WASP-52 (segments verticals vermells) són molt petits comparats amb els errors a l'altra estrella. Això mostra la precisió a les mesures i també la importància d'un bon calibratge abans d'obtenir els gràfics.

Aspectes negatius:

Els problemes que presentava l'altre gràfic s'han solucionat amb aquest. Però trobem que els possibles errors de mesura a l'altra estrella són bastant grans.

Conclusions:

Amb aquests gràfics, podem afirmar amb rotunditat que hem detectat el trànsit de WASP-52 b al voltant de la seva estrella, ja que hem obtingut la desitjada corba de baixada de lluminositat a la fotometria.

També cal dir que gràcies a la prèvia selecció d'estrelles no variables per calibrar les dades de WASP-52, els resultats han estat millors. Alhora, al disposar de les dades d'una estrella no variable juntament amb les dades de la caiguda de lluminositat de WASP-52, s'aprecia molt millor la presència del trànsit.

Cal dir que aquestes dues gràfiques obtingudes són de bona qualitat. Ho podem dir perquè l'Enrique Herrero Casas, un gran astrònom reconegut internacionalment, va fer una valoració molt positiva d'aquestes gràfiques, dient que estan a l'altura de resultats d'astrònoms amateurs avançats.

Aquestes gràfiques, per haver estat obtingudes en la primera observació del trànsit, sense cap experiència prèvia en observacions per part nostra, són molt bones, ja que mostren uns resultats molt clars i positius.

## 5.3.6. 2<sup>a</sup> observació del trànsit

### 5.3.6.1. Explicació aspectes de l'observació

Aquesta observació no va anar massa bé, ja que no vam poder seguir el trànsit correctament. El problema va venir donat a què vam perdre el camp de l'estrella a la meitat del trànsit, gairebé al punt màxim.

Primerament vam tenir l'estrella el màxim centrada possible: igual que a la primera observació, després de cada sèrie de fotografies, movíem el telescopi mínimament amb els comandaments del *Cartes del Cel* per tenir l'estrella centrada al camp. Però a la meitat del trànsit, vam perdre el camp de l'estrella i vam perdre molt temps en tornar-lo a trobar, així que quan el vam trobar, va ser just el moment en què el trànsit finalitzava.

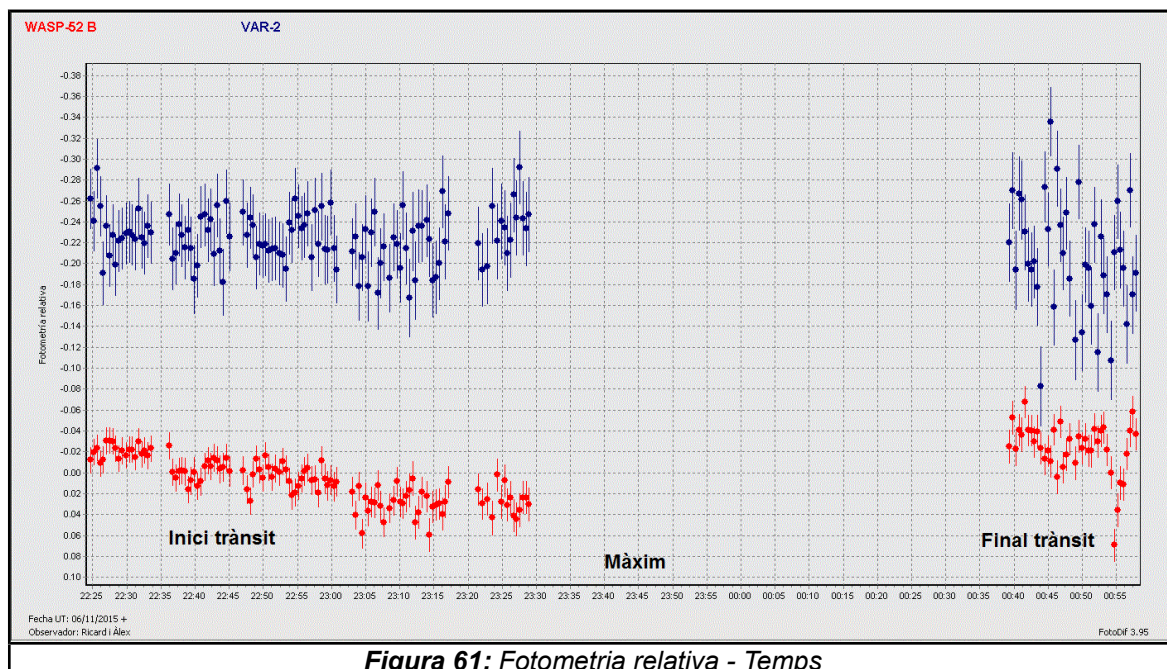
Vam fer 170 fotografies en total, distribuïdes en 7 sèries. Les sèries 1, 2, 6 i 7 van ser de 20 fotografies cadascuna i les sèries 3, 4 i 5 de 30 fotografies. Les sèries 1, 2, 3, 4, i 5 són les anteriors a la pèrdua del camp de WASP-52 i les sèries 5 i 6 són posteriors. Totes les fotografies, igual que a la primera observació, van estar fetes amb 20 segons d'exposició i amb uns 5 segons de marge entre fotografia i fotografia.

Fetes totes les fotografies que vam poder i finalitzat el trànsit, vam desar les imatges ordenades, vam plegar i vam marxar amb una mica de decepció per haver fallat al mig de l'observació.



### 5.3.6.2. Anàlisi del gràfic i conclusions

#### Gràfic obtingut



**Figura 61: Fotometria relativa - Temps**

- Els punts vermells mostren l'hora que es va fer la fotografia d'acord amb el nivell de magnitud de WASP-52. Els punts blaus ho mostren per la segona estrella, que és no variable.
- Els segments verticals vermells mostren el possible error en la mesura de WASP-52. Els segments verticals blaus ho mostren per a l'estrella no variable.

#### Aspectes positius:

A pesar de la pèrdua del camp de l'estrella, s'aprecia la inicial caiguda de llum de l'estrella, on s'intueix la caiguda de gairebé 0,03 unitats de magnitud, que és la que correspon, segons la ETD. També correspon l'hora d'inici del trànsit.

Aspectes negatius:

Lògicament, l'aspecte negatiu que podem trobar d'aquest gràfic és que hi ha un bon tram buit, que va de gairebé el punt màxim fins a uns minuts després del final del trànsit.

Conclusions:

El gràfic, encara i estar incomplet, mostra la inicial caiguda de lluminositat de WASP-52, informació que ens permet dir que també vam detectar l'inici del trànsit.

També cal dir, que l'hora en què comença a veure's la caiguda de brillantor, concorda amb l'hora correcta i real.

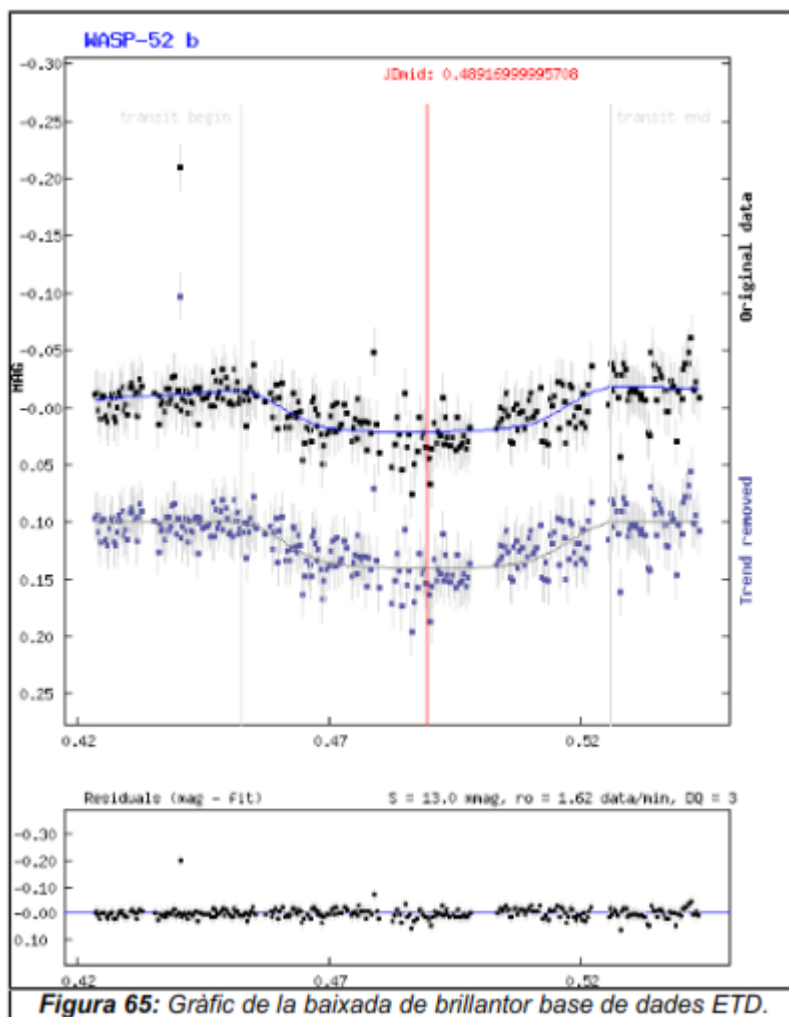
Tot això ens permet afirmar que vam tornar a detectar el trànsit, encara que no el vam poder estudiar al complet, en aquesta segona observació.





### Gràfica resultant:

La pàgina web processa unes gràfiques, on s'aprecia una vegada més la corba de baixada de lluminositat i es compara amb l'estrella no variable.



**Figura 65:** Gràfic de la baixada de brillantor base de dades ETD.

Finalment, per arrodonir la feina feta, ha estat molt bé poder publicar els nostres resultats en una base de dades tan important com és ETD, on a partir de la publicació dels nostres gràfics, molts astrònoms podran fer servir les nostres dades com a referència per a fer una fotometria correcta a WASP-52.

## 7. Conclusions finals

### 7.1. Coneixements i resultats

Per començar, al llarg d'aquest treball de recerca hem assolit molts coneixements, tant teòrics científics i tècnics com pràctics. Aquests, per la banda tècnica, ens han permès saber el funcionament dels diferents telescopis, els tipus d'alineacions possibles, el funcionament de les càmeres utilitzades en astronomia, els diferents tipus de calibrats i la manera d'utilitzar els programes per a processar imatges i obtenir gràfics. D'aquí, finalment hem après a utilitzar correctament el nostre telescopi (el del nostre institut), les nostres càmeres i els diversos programes informàtics. Per la banda científica, hem après molt sobre exoplanetes, així com de què són els trànsits i com s'ha de fer-ne una bona observació i posteriors gràfics de caiguda de brillantor. Tot aquests coneixements els hem necessitat per poder realitzar les observacions de manera satisfactòria.

Abans d'endinsar-nos en aquest treball ens fèiem la següent pregunta: *«¿És possible observar el subtil trànsit d'un exoplaneta (al voltant de 0,03 unitats de magnitud) des de l'observatori de l'institut, pertanyent a un cel amb força contaminació lumínica?»*. Doncs, després de dedica-hi molt temps amb entusiasme, ímpetu, esforç i ganes d'aprendre i de treballar, hem trobat l'esperada resposta. Sí és possible observar-lo i a més, d'una forma bastant clara i satisfactòria, tal i com es pot observar en la gràfica obtinguda en l'apartat 6.3.5.2., on es mostra l'èxit de la nostra 1<sup>a</sup> observació a la corba de caiguda de brillantor de WASP-52. Aquestes dades han estat valorades per un dels millors astrònoms d'Espanya, Enrique Herrero, doctorat en astrofísica i amb experiència de treball en observatoris tant importants com els de Calar Alto, Canàries i Àger. Ell ha dit que són molt bones i que estan a l'altura d'astrònoms amateurs avançats. Amb tot això, ens sentim força contents amb els nostres resultats, els quals hem publicat a la web de la ETD, afegint l'observatori de l'institut com a col·laborador de la recerca exoplanetària.

## 7.2. Dificultats superades i èxits

Cal remarcar que hem sofert diversos contratemps al llarg d'aquest projecte. Primerament, vam començar el nostre projecte al març de 2015, però vam tenir la mala sort de què no ens funcionava la càmera que anàvem a utilitzar per fer les primeres observacions de pràctica. Més tard, amb el problema de la càmera solucionat, la cúpula de l'observatori va descarrilar tres vegades, fet que va suposar un altre retràs en el nostre projecte. Per últim, el temps de Lleida només ens ha permès realitzar molt poques observacions, i per tant, hem agut d'afanyar-nos els divendres que feia bon temps. Tot i així, creiem que hem sabut afrontar tots aquests obstacles mitjançant la paciència, la intel·ligència i la perseverança.

També és important reconèixer que tot això no hagués estat possible sense l'equip de treball que hem constituït, tutors i alumnes, ja que com bé esmentem en la introducció («Un projecte científic tirat endavant per una sola persona és molt difícil. La ciència es treballa en grup, es comparteix, es reforça i es verifica amb altres persones»), la ciència no és cosa d'un, sinó de tots.

Per una altra banda, estem molt contents pels resultats obtinguts, ja que han estat per sobre de les expectatives que teníem en un bon principi. A més, ens alegra ser el primer equip científic en la ciutat de Lleida en observar el trànsit d'un exoplaneta.

Finalment, l'astronomia és un àmbit que, al nostre institut, sense cap tipus d'obligació i amb força il·lusió, obre les portes a tot tipus de públic en les seves jornades de portes obertes, per a que tothom pugui entendre millor el que verdaderament som respecte de tot allò que ens envolta. Així que com va dir el famós paracaigudista no fa molt de temps:

"A veces tenemos que llegar muy alto para ver lo pequeños que somos."

(Fèlix Baumgartner, 14 d'octubre de 2012)

## 8. Annexos

### 8.1. Trobades

DIA	QUÈ HEM FET
7/04/2015	Començar a organitzar TDR i fer un índex esborrany
17/04/2015	Ordenar una mica els diferents astres segons la seva ubicació per a la Marató Messier
21/04/2015	Aprendre a usar AstroPlanner
...	Durant aquest període de temps vam tenir problemes amb la càmera i amb la cúpula de l'observatori.
2/10/2015	Intent de posada en estació del telescopi. Va fer mal temps i només vam fer 3 fotos a la lluna.
6/10/2015	Calibrar càmera (dark, bias) a -10°C
13/10/2015	Calibrar càmera (dark, bias) a -12.7 perquè no baixava més.
nit 16/10/2015	Comprovació del software. Utilització càmera ST9 per primera vegada. Localitzar el camp de wasp-52b + fotos. Fotografies M74 en blanc i negre.
nit 23/10/2015	Localització camp WASP-52 b.
nit 30/10/2015	Primera observació del trànsit. Vam observar tot el trànsit correctament.
1/11/2016	Processar imatges trànsit i fer gràfiques de caiguda de llum.
nit 6/11/2015	Segona observació del trànsit. Problemes, vam perdre el camp i vam observar només el principi i el final del trànsit.
8/11/2016	Processar imatges trànsits i fer gràfiques de caiguda de llum. Fer calibrat del flat.

## 9. Bibliografia i Webgrafia

### Part teòrica tècnica

#### Telescopi Meade LX200 12”

##### Sistemes òptics:

- Astronom.net (2015). *El viejo Manual, Telescopios, Tipos de telescopio*. Recuperat setembre de 2015, des de <http://www.astronom.net/astronom/temas/telesco/telesco.htm>
- AstronomíaSur (2011). *Telescopios*. Recuperat setembre de 2015 des de <http://www.astrosurf.com/astronosur/telescopios.htm>
- Leonardo Fernández Lázaro (2015). *Telescopios astronómicos: guía para principiantes*, Tipos de telescopio. Recuperat setembre de 2015, des de <http://www.alarconweb.com/Telescopios-y-prismaticos/Telescopios-astronomicos/Telescopio-astronomico-guia-del-comprador>

##### Muntures:

- Astronom.net (2015). *El viejo Manual, Telescopios, Tipos de telescopio*. Recuperat setembre de 2015, des de <http://www.astronom.net/astronom/temas/telesco/telesco.htm>

##### Dades tècniques:

###### Augments

- *MEADE LX200*. Meade Instruments Corporation. California, EEUU.
- Astronom.net (2015). *El viejo Manual, Telescopios, Números y fórmulas del telescopio*. Recuperat setembre de 2015, des de <http://www.astronom.net/astrnum/temas/telesco/telesco.htm>
- Círculo Astronómico (2015). *Telescopios, Meade*. Recuperat setembre de 2015, des de <http://www.circuloastronomico.cl/telescopio/meade.html>

- Claudio Martínez (2010). *¿Cómo calcular las potencialidades de un telescopio?* Recuperat setembre de 2015, des de <http://www.infobservador.com/2010/11/como-calcular-las-potencialidades-de-un/>

### Resolució màxima

- AstronomíaSur (2011). Manual de instrucciones. Recuperat setembre de 2015 des de [http://www.astrosurf.com/tiotuyin/Manual\\_lx200gps\(Espa%F1ol\).pdf](http://www.astrosurf.com/tiotuyin/Manual_lx200gps(Espa%F1ol).pdf)
- Atrónomo.org (2011). *Foro, re.: PSF, FWHM, disco de Airy, distribución gaussiana, ...de Poisson, deconvolución.* Recuperat setembre de 2015, des de <http://www.astronomo.org/foro/index.php?topic=5386.msg93330>
- Claudio Martínez (2010). *¿Cómo calcular las potencialidades de un telescopio?* Recuperat setembre de 2015, des de <http://www.infobservador.com/2010/11/como-calcular-las-potencialidades-de-un/>
- Wikipedia (2015). *Resolució angular.* Recuperat setembre de 2015, des de [https://ca.wikipedia.org/wiki/Resoluci%C3%B3\\_angular](https://ca.wikipedia.org/wiki/Resoluci%C3%B3_angular)

### Alineació:

- AstronomíaSur (2011). Manual de instrucciones. Recuperat setembre de 2015 des de [http://www.astrosurf.com/tiotuyin/Manual\\_lx200gps\(Espa%F1ol\).pdf](http://www.astrosurf.com/tiotuyin/Manual_lx200gps(Espa%F1ol).pdf)
- Astronum.net (2015). *El viejo Manual, Telescopios.* Recuperat setembre de 2015, des de <http://www.astronum.net/astronum/temas/telesco/telesco.htm>
- Sergio Galarza (2013). *Alineación y uso de montura altacimutal.* Recuperat setembre de 2015, des de <http://sagitarioblues.blogspot.com.es/2013/12/alineacion-y-uso-de-montura-altacimutal.html>

### Alineació buscador:

- *MEADE LX200.* Meade Instruments Corporation. California, EEUU.

## Telescopi Refractor Blue Star

### Sistemes òptics:

- Tayabeixo (2015). *Telescopios refractores*. Recuperat setembre de 2015, des de [http://www.tayabeixo.org/que\\_obs/refractor.htm](http://www.tayabeixo.org/que_obs/refractor.htm)

### Muntures:

- AstronomíaSur (2011). *Monturas*. Recuperat setembre de 2015 des de <http://www.astrosurf.com/astronosur/telescopios.htm>

### Dades tècniques:

#### Augments

- Claudio Martínez (2010). *¿Cómo calcular las potencialidades de un telescopio?* Recuperat setembre de 2015, des de <http://www.infobservador.com/2010/11/como-calcular-las-potencialidades-de-un/>

#### Resolució màxima

- Claudio Martínez (2010). *¿Cómo calcular las potencialidades de un telescopio?* Recuperat setembre de 2015, des de <http://www.infobservador.com/2010/11/como-calcular-las-potencialidades-de-un/>

### Alineació:

- PLANET (2015). *Alinear una montura ecuatorial alemana (para visual)*. Recuperat setembre de 2015, des de <http://planetastronomia.com/observacion/funcionamiento-montura-ecuatorial-alemana/>
- doerrfoto.de (2015). *Manual de instrucciones*. Recuperat setembre de 2015, des de [http://www.doerrfoto.de/service/pdf/EQ12\\_Spanisch.pdf](http://www.doerrfoto.de/service/pdf/EQ12_Spanisch.pdf)



- elsegundoluz.com (2009). *Cómo poner en estación una montura ecuatorial alemana*. Recuperat setembre de 2015, des de [http://elsegundoluz.com/revista/index.php?option=com\\_content&task=view&id=76&Itemid=42](http://elsegundoluz.com/revista/index.php?option=com_content&task=view&id=76&Itemid=42)

## **Càmera SBIG ST-9**

- Santa Bárbara (2005) *Modelo ST-93 imagen CCD cámara*. Recuperat novembre 2015, des de <http://archive.sbig.com/sbwhtmls/st9E.htm>
- Sbig.com (2015) *Operating Manual*. Recuperat novembre 2015, des de <https://www.sbig.com/site/assets/files/18222/st78910man.pdf>

## **Propietats de les càmeres**

### **CCD (Charge Coupled Device):**

- Specinst.com (2013) *What is a CCD?*. Recuperat setembre 2015, des de [http://www.specinst.com/What\\_Is\\_A\\_CCD.html](http://www.specinst.com/What_Is_A_CCD.html)
- Wikipedia (2015) *Dispositivo de carga acoplada*. Recuperat setembre 2015, des de [https://es.wikipedia.org/wiki/Dispositivo\\_de\\_carga\\_acoplada](https://es.wikipedia.org/wiki/Dispositivo_de_carga_acoplada)
- Swinburne (2015) *Centre for Astrophysics and Supercomputing*. Recuperat setembre 2015, des de <http://astronomy.swin.edu.au/>

### **Registre de llum:**

- Ventus Ciencia Experimental SL (2015) *Óptica geométrica y ondulatoria*. Recuperat setembre 2015, des de <http://www.ventusciencia.com/cgi-bin/v08-2detalle.asp?cl=479&i=no&p=1&cch=140424>
- IAC (2015) *Unidad didáctica observaciones astronómicas con webcam y CCD*. Recuperat octubre 2015, des de <http://www.iac.es/educa/observaciones/unicam.pdf>

**Efecte fotoelèctric**

- Ara ciència (2015). *Ulls que veuen l'invisible*. Recuperat octubre 2015, des de <http://ciencia.ara.cat/fractal/blog/etiqueta/efecte-fotoelectric/>
- Viquipèdia (2015) *Sensor CCD*. Recuperat octubre 2015, des de [https://ca.wikipedia.org/wiki/Sensor\\_CCD](https://ca.wikipedia.org/wiki/Sensor_CCD)
- IAC (2015) *Unidad didáctica observaciones astronómicas con webcam y CCD*. Recuperat octubre 2015, des de <http://www.iac.es/educa/observaciones/unicam.pdf>

**Fotografia digital respecte fotografia química:**

- Xataka Foto (2008) *¿Ha superado la fotografía digital a la analógica?* Recuperat octubre 2015, des de <http://www.xatakafoto.com/xataka-foto/ha-superado-la-fotografia-digital-a-la-analogica-opiniones>
- Wikipedia (2015) *Fotografía digital*. Recuperat octubre 2015, des de [https://es.wikipedia.org/wiki/Fotograf%C3%ADa\\_digital](https://es.wikipedia.org/wiki/Fotograf%C3%ADa_digital)
- Xataka Foto (2008) *Fotografía Química*. Recuperat octubre 2015, des de <http://www.xatakafoto.com/tag/fotografia-quimica>

**Calibratge i diferents tipus:**

- DeepSkyStacker (2015). *The Theory or How to create better images*. Recuperat novembre de 2015, des de <http://deepskystacker.free.fr/english/theory.htm#Calibration>
- DeepSkyStacker (2015). *Frequently Asked Questions*. Recuperat novembre de 2015, des de <http://deepskystacker.free.fr/english/faq.htm>
- Astronom.net (2015). *Lights, Darks, Flats y Bias*. Recuperat novembre de 2015, des de <http://www.astronom.net/astronom/temas/darks/darks.htm>
- Astronom (2015) *Lights, Darks, Flats y Bias*. Recuperat octubre 2015, des de <http://www.astronom.net/astronom/temas/darks/darks.htm>
- IAC (2015) *Unidad didáctica observaciones astronómicas con webcam y CCD*. Recuperat octubre 2015, des de <http://www.iac.es/educa/observaciones/unicam.pdf>
- The Theory (2015) *How to create better images*. Recuperat octubre 2015,

des de <http://deepskystacker.free.fr/english/theory.htm#CalibrationProcess>

### Què és la ISO?

- Blog del fotógrafo.com. Edgardo Atamian (2014). *¿Cómo usar el ISO correctamente en tus fotografías?*. Recuperat novembre de 2015, des de <http://www.blogdelfotografo.com/iso/>

## Descripció de programes

### RegiStax:

- Astronomie (2015) *Using Registax 6*. Recuperat novembre 2015, des de <http://www.astronomie.be/registax/previewv6paul.html>

### AstroArt:

- MSB Software (2015) *Astroart 6.0*. Recuperat novembre 2015, des de <http://www.msb-astroart.com/>

### FotoDif:

- Astrofels (2014) *Exoplaneta TRES-2 B*. Recuperat novembre 2015, des de <http://www.astrofels.info/2014/08/exoplaneta-tres-2-b-sesion-del-5-de.html>

### Cartes du Ciel:

- Skychart (2015) *Programari lliure per dibuixar cartes del cel*. Recuperat novembre 2015, des de <http://www.ap-i.net/skychart/ca/start>
- Skychart (2015) *Instalación de catálogos adicionales*. Recuperat novembre 2015, des de [https://www.ap-i.net/skychart/fr/documentation/installation\\_of\\_extra\\_catalogs](https://www.ap-i.net/skychart/fr/documentation/installation_of_extra_catalogs)
- Skychart (2015) *Cartes du Ciel / Skychart*. Recuperat novembre 2015, des de [https://ap-i.net/pub/skychart/doc/doc\\_es.pdf](https://ap-i.net/pub/skychart/doc/doc_es.pdf)

## Part teòrica científica

(per a tots els apartats)

- Sociedad Española de Astronomía, SEA (Ed.) (2009). *100 Conceptos básicos de Astronomía*. Espanya.
- Jordi Aloy i Domènech (2013). *100 qüestions d'astronomia, De les fases de la lluna a l'energia fosca*. Valls, Catalunya, Espanya: Cossetània Edicions.

## Univers

- astromia.com (2015). *Leyes y teorías astronómicas*. Recuperat desembre de 2015, des de <http://www.astromia.com/astrologia/leyeteoria.htm>

## Estrelles

- feinstein.com (2015). *Astronomía moderna, Definición de estrella*. Recuperat desembre de 2015, des de <http://feinstein.com.ar/Definiciondeestrella.html>
- astromia.com (2015). *La energía de las estrellas*. Recuperat desembre de 2015, des de <http://www.astromia.com/astrologia/energiaestrellas.htm>
- feinstein.com (2015). *Astronomía moderna, Evolución de las estrellas*. Recuperat desembre de 2015, des de <http://feinstein.com.ar/Evoluciondelasestrellas.html>
- legacy.spitzer.caltech.edu. *Enanas Marrones y Super Planetas*. Recuperat desembre de 2015, des de <http://legacy.spitzer.caltech.edu/espanol/edu/kidszone/dwarf.html>
- nationalgeographic.es (2015). *Enanas blancas*. Recuperat desembre de 2015, des de <http://www.nationalgeographic.es/ciencia/espacio/enanas-blancas>
- feinstein.com (2015). *Astronomía moderna, Los agujeros negros*. Recuperat desembre de 2015, des de <http://feinstein.com.ar/Losagujerosnegros.html>

- Carlos Alcayde (2014). *Xataka ciencia, Cómo miden los astrónomos la distancia a las estrellas*. Recuperat desembre de 2015, des de <http://www.xatakaciencia.com/astronomia/como-miden-los-astronomos-la-distancia-a-las-estrellas>
- Converworld (2015). *¿Qué es un año luz?* Recuperat desembre de 2015, des de <http://es.converworld.net/longitud/anos-luz-a-kilometros/>

### WASP-52 b

- Exoplanet.eu (2015). *Planet WASP-52 b; Star*. Recuperat octubre de 2015, des de [http://exoplanet.eu/catalog/wasp-52\\_b/#9731](http://exoplanet.eu/catalog/wasp-52_b/#9731)
- Exoplanet transit database (2015). *Transit predictions*. Recuperat octubre de 2015, des de <http://var2.astro.cz/ETD/predictions.php?JDmidnight=2457326.50000&delka=0&sirka=41>
- Juanjo González Díaz (2014). *Cielo profundo, Exoplaneta WASP-52 B*. Recuperat octubre de 2015, des de <http://cieloprofundo.net/2014/07/12/exoplaneta-wasp-52-b/>
- Wikipedia (2015). *Sol, Características físicas*. Recuperat octubre de 2015, des de <https://es.wikipedia.org/wiki/Sol>
- Open Exoplanet Catalogue (2015). *WASP-52*. Recuperat octubre de 2015, des de <http://www.openexoplanetcatalogue.com/planet/WASP-52%20b/>
- ETD (2015). *Transit predictions, WASP-52 b (Peg)*. Recuperat octubre de 2015, des de [http://var2.astro.cz/ETD/predict\\_detail.php?STARNAME=WASP-52&PLANET=b&delka=0&sirka=41](http://var2.astro.cz/ETD/predict_detail.php?STARNAME=WASP-52&PLANET=b&delka=0&sirka=41)

### Planetes

- space.com (2015). *Planets large and Small Populate Our Galaxy*. Recuperat desembre de 2015, des de <http://www.space.com/13828-alien-planets-kepler-telescope-infographic.html>
- curiosidades.com (2013). *Los 10 exoplanetas descubiertos más asombrosos*. Recuperat desembre de 2015, des de <http://curiosidades.com/exoplanetas/>

- Red Estelar (2010). *Enciclopedia de planetas extrasolares*. Recuperat desembre de 2015, des de <http://red-estelar.webcindario.com/Enciclopedia-de-exoplanetas.html>
- DON DIXON (2008). Taxonomía de los cuerpos celestes. *Investigación y ciencia*, 3<sup>r</sup> trimestre de 2008, N.º 53.
- Microsiervos (2013). *Kepler-78b, un planeta extrasolar que no debería existir*. Recuperat noviembre de 2015, des de <http://www.microsiervos.com/archivo/ciencia/kepler-78b-un-planeta-extrasolar-que-no-deberia-existir.html>
- Exoplanet.eu (2015). *Planet Kepler-78 b*. Recuperat noviembre de 2015, des de [http://exoplanet.eu/catalog/kepler-78\\_b/](http://exoplanet.eu/catalog/kepler-78_b/)
- David A. Aguilar (2013). La Tierra extraterrestre. *Espacio, diciembre 2013, nº108*.
- Espacio (2014). Los exoplanetas menos masivos. *Espacio, diciembre 2014, nº120*.
- Antonio Heras (2013). *Introducción a la astronomía i a la astrofísica, Los planetas y la vida*. Recuperat desembre de 2015, des de [http://antonioheras.com/los\\_planetas\\_y\\_la\\_vida/metodos-deteccion-exoplanetas.htm](http://antonioheras.com/los_planetas_y_la_vida/metodos-deteccion-exoplanetas.htm)
- Exoplanetas de la LIADA (2015). *Métodos de detección*. Recuperat desembre de 2015, des de <https://exoplanetasliada.wordpress.com/metodos-de-deteccion/>

## WASP-52 b

- Exoplanet.eu (2015). *Planet WASP-52 b*. Recuperat octubre de 2015, des de [http://exoplanet.eu/catalog/wasp-52\\_b/#9731](http://exoplanet.eu/catalog/wasp-52_b/#9731)
- Wikipedia (2015). *Júpiter (planeta), Características físicas*. Recuperat octubre de 2015, des de [https://es.wikipedia.org/wiki/J%C3%BApiter\\_\(planeta\)](https://es.wikipedia.org/wiki/J%C3%BApiter_(planeta))
- Open Exoplanet Catalogue (2015). *WASP-52*. Recuperat octubre de 2015, des de <http://www.openexoplanetcatalogue.com/planet/WASP-52%20b/>

- International Astronomical Union (2015). *Naming of exoplanets, Scientific designations*. Recuperat octubre de 2015, des de [http://www.iau.org/public/themes/naming\\_exoplanets/](http://www.iau.org/public/themes/naming_exoplanets/)

## Part pràctica

### Apuntat

- Astrophotographyonabudget (2012) *Alineación de Drift*. Recuperat desembre 2015, des de <http://astrophotographyonabudget.blogspot.com.es/p/drift-alignment.html>
- Achaya (2015) *Alineación de un Telescopio*. Recuperat desembre 2015, des de <http://www.achaya.cl/apuntes-de-astronomia/10-astrofotografia/16-alineacion-de-un-telescopio>

### Observació del cometa Lovejoy C2014Q2

- Wikipèdia (2015) *C/2014 Q2 (Lovejoy)*. Recuperat desembre 2015, des de [https://es.wikipedia.org/wiki/C/2014\\_Q2\\_\(Lovejoy\)](https://es.wikipedia.org/wiki/C/2014_Q2_(Lovejoy))

### Observació de Júpiter

- History (2015) *Planetas en su punto máximo de aproximación*. Recuperat desembre 2015, des de <http://ar.tuhistory.com/noticias/planetas-en-su-punto-maximo-de-aproximacion-eclipses-y-lluvias-de-estrellas-que-no-puedes>