

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN
CIENCIA Y TECNOLOGÍA ESPACIAL**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

***INTEGRACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA DE
OPERACIONES EN EL OBSERVATORIO
ASTRONÓMICO AULA ESPAZIO***

Estudiante	<i>Pérez Arrieta, Mikel</i>
Director	<i>Pérez Hoyos, Santiago</i>
Departamento	<i>Física Aplicada</i>
Curso académico	<i>2020-2021</i>

Bilbao, 09 de septiembre de 2021

Resumen

Mediante un nuevo ordenador y el sistema operativo Linux hemos actualizado el observatorio Aula EspaZio Gela y, además, usando el software astronómico KStars, hemos automatizado el sistema de control del observatorio para poder ser controlado mediante un único programa. Hemos ido configurando el software para controlar cada uno de los instrumentos que componen el observatorio. Después, hemos planteado el proceso que se debe realizar tras las observaciones nocturnas, y hemos trabajado con una serie de programas para realizar estos trabajos, como el tratamiento de imágenes, la astrometrización y la fotometría. En el trabajo se ha hecho una simulación post-observación con unas imágenes reales de las tareas que se deben hacer, donde explicamos la forma de hacerlas.

Palabras clave

Observatorio, sistema de control, automatización, software astronómico, KStars, asteroide, tratamiento de imágenes, astrometría, fotometría.

Laburpena

Ordenagailu berri baten eta Linux sistema eragilearen bidez, Aula EspaZio Gela behatokia eguneratu dugu, eta gainera, KStars software astronomikoa erabiliz, behatokiko kontrol sistema automatizatu dugu programa bat-bakarraren bidez kontrolatu ahal izateko. Softwarea konfiguratzeko joan gara behatokia osatzen duten tresna guztiak kontrolatu ahal izateko. Hori eta gero, gaueko obserbazioen ondoren burutu beharreko prozesuak proposatu ditugu, eta lan horiek burutuko dituzten zenbait programekin lanean aritu gara. Lan horien artean, irudien tratamendua, astrometrizazioa eta fotometria daude, esaterako. Proiektu honetan obserbazio ondorengo prozesuen simulazio bat egin da benetako irudiekin; bertan, prozesu horiek nola burutu azaltzen dugu.

Gako-hitzak

Behatokia, kontrol sistema, automatizazio, software astronomikoa, KStars, asteroidea, irudien tratamendua, astrometria, fotometria.

Abstract

Using a new computer and the Linux operating system, we have updated the Aula EspaZio Gela observatory. In addition, using the KStars astronomical software, we have automated the observatory's control system in order for it can be controlled by a single program. We have configured the software to control each of the instruments that compose the observatory. Afterwards, we have outlined the process that should be carried out after night observations and worked with a series of programs to perform these tasks. These tasks include image processing, astrometry and photometry. To conclude, an explained simulation of the post-observation process has been made with real images.

Keywords

Observatory, control system, automation, astronomical software, KStars, asteroid, image processing, astrometry, photometry.

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Contexto	1
1.1.1. Telescopio, montura y cúpula	2
1.1.2. Cámara CCD	3
1.1.3. Otros elementos	3
1.1.4. Ordenador de control	3
1.2. Antecedentes	3
1.3. Objetivos	4
1.4. Vinculación con el máster	4
2. Implementación del nuevo sistema de control	6
2.1. Sistema operativo y conexiones	6
2.1.1. Conexión SSH	8
2.1.2. Escritorio remoto	9
2.2. Alternativas	10
2.3. KStars - INDI	12
2.3.1. Librería INDI	13
2.3.2. INDI Web Manager	13
2.3.3. Software astronómico: KStars	15
2.3.4. Automatización del observatorio	23
2.4. Control	27
2.4.1. Local	27
2.4.2. Remoto - INDI Web Manager	31
2.5. Preparación de una observación	32
2.5.1. Lista de deseos	33
2.5.2. Plan de la sesión	33
2.5.3. Ejecución de la observación-Ekos	34
3. Análisis de datos astronómicos	36
3.1. Procesado	36
3.1.1. Alternativas	39
3.1.2. Software	39
3.1.3. Ejemplo	43
3.1.4. Comparación	45
3.2. Astrometría	45
3.2.1. Alternativas	45
3.2.2. Software	46
3.2.3. Ejemplo	48

3.2.4. Comparación	48
3.3. Fotometría	50
3.3.1. Alternativas	50
3.3.2. Software	51
3.3.3. Ejemplo	53
3.3.4. Comparación	54
3.4. Otras tareas	55
4. Conclusiones	56
Bibliografía	58
A. Guía rápida para el control del observatorio desde otro ordenador	62
A.1. Sin INDI Web Manager	62
A.1.1. Secure Shell	62
A.1.2. Escritorio remoto	62
A.2. Con INDI Web Manager	63

Índice de figuras

1.1. Observatorio Aula EspaZio Gela	1
1.2. Diseño del T50.	2
2.1. Escritorio de Linux Mint.	7
2.2. Conexión SSH de MacOS a Linux.	9
2.3. Programa Cartes Du Ciel.	11
2.4. Interfaz de INDI Web Manager.	14
2.5. Seleccionar ubicación en KStars.	15
2.6. Escritorio de KStars	16
2.7. Almanaque de planetas para 2021.	18
2.8. Gráfico de Altura vs Hora.	18
2.9. Ventana de configuración del programa KStars.	19
2.10. Herramienta Ekos en KStars.	22
2.11. Panel de control de la montura del telescopio.	23
2.12. Perfil <i>Aula Espazio Gela</i>	25
2.13. Perfil Ekos para conexión remota.	31
2.14. What's up Tonight.	32
2.15. Lista de deseos en KStars.	33
2.16. Selección de objeto y secuencia.	34
2.17. Pestaña del CCD en Ekos.	35
3.1. Proceso de tratamiento de imágenes.	38
3.2. Escritorio inicial de ASTAP.	40
3.3. Listas de imágenes en ASTAP.	41
3.4. Pestaña para configurar el apilado en el software ASTAP.	42
3.5. Herramienta para extraer flats, darks y bias de la imagen original en AstroImageJ.	43
3.6. Imagen sin tratar y el flat correspondiente.	44
3.7. Imagen corregida mediante ASTAP.	44
3.8. Imagen corregida por Danel Madariaga.	45
3.9. Ficheros de astrometry.net	47
3.10. Asteroide Aurelia y la estrella BD+12 1903.	49
3.11. Aperture Photometry Tool.	52

Índice de tablas

1.1. Características del T50.	2
1.2. Características de las cámaras.	3
2.1. Detalles técnicos del PC.	6
2.2. Alternativas para software astronómico.	12
2.3. Parámetros de esclavización de la cúpula.	26
2.4. Modos de observación.	27
3.1. Alternativas para el tratamiento de imágenes.	39
3.2. Alternativas para la astrometrización.	46
3.3. Datos de referencia de BD+12 1903.	49
3.4. Comparación de la astrometrización.	49
3.5. Alternativas para hacer fotometría.	51
3.6. Magnitud aparente del asteroide Aurelia calculado usando el programa AstroImageJ.	53
3.7. Cuentas del brillo de la estrella dentro de la apertura.	54
3.8. Comparación de las magnitudes aparentes.	54

Capítulo 1

Introducción

1.1. Contexto

Este Trabajo Fin de Máster ha sido realizado en el observatorio *Aula Espazio* (imagen 1.1) que es un instrumento docente y divulgador del Aula EspaZio Gela de la Universidad del País Vasco, así como de investigación para el Grupo de Ciencias Planetarias. Concretamente, se encuentra en la azotea de la Escuela de Ingeniería de Bilbao. Este observatorio está activo desde 2012, en la página web del observatorio [1] podemos encontrar todos los detalles acerca de este, y las imágenes capturadas desde su puesta en marcha.



Imagen 1.1: Imagen del observatorio Aula EspaZio Gela. [2]

El observatorio cuenta con todo tipo de instrumentos para realizar observaciones, como por ejemplo, telescopio, CCDs, cúpula, enfocador y control atmosférico.

1.1.1. Telescopio, montura y cúpula

El observatorio está equipado con un telescopio catadióptrico¹ T50 modelo CDK20 de la marca PlaneWave Instruments. Los modelos CDK (Corrected Dall-Kirkham, por sus siglas en inglés) son telescopios con una nueva modificación del diseño Dall-Kirkham. El objetivo de esta adaptación es hacer un telescopio con un plano imagen lo suficientemente grande para aprovechar los tamaños de los CCDs actuales. Además el diseño CDK está libre de aberraciones típicas en imágenes, como el coma, el astigmatismo fuera del eje y tiene un campo plano.[3]

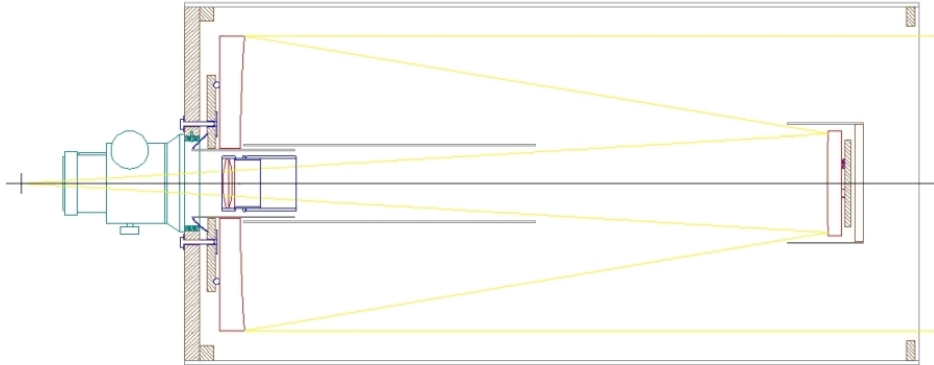


Imagen 1.2: Trazado de rayos en el diseño del telescopio. [4]

El telescopio tiene tres componentes principales: Primero tiene un espejo elipsoidal, luego un espejo esférico secundario y un sistema de lentes, como vemos en la imagen 1.2. Estas son las características principales del telescopio:

Diámetro de la apertura	510 mm (20")
Distancia focal	3454 mm
Relación focal	f/6.8 (astrógrafo)
Obstrucción central	39 % de la apertura
Masa	63,5 kg
Longitud	1194 mm

Tabla 1.1: Características generales del telescopio del observatorio Aula EspaZio Gela.

Este telescopio está montado en una montura ecuatorial alemana, marca 10Micron y modelo GM4000. Esta montura está motorizada y automatizada, y cuenta con un control manual y conectividad ASCOM.

Este equipamiento está cubierto por una cúpula de la marca Sirius de 3,5m de diámetro que podemos ver en la imagen 1.1. La cúpula tiene un sistema de control MaxDome y es compatible con la conectividad ASCOM.

¹Los telescopios catadióptricos son un tipo de telescopio que funcionan mediante las combinaciones de lentes y espejos.

1.1.2. Cámara CCD

El observatorio está equipado con tres cámaras, para poder llevar a cabo distintos tipos de observaciones. Podemos encontrar dos CCDs de la marca SBIG (SBIG STL-11000M y SBIG ST-7) y un juego de cámaras DMK, de entre las cuales destacamos la DMK41 como ejemplo. Con estas cámaras se pueden realizar combinaciones para distintos modos de observación.

	SBIG STL-11000M	SBIG ST-7XME	DMK
Chip CCD	Kodak KAI-11002M	Kodak KAF-0402E/ME	Sony ICX205AK
Matriz de píxeles	36 x 24,7 mm	6,9 x 4,6 mm	50,6 x 50 mm
Resolución	4008 x 2672 píxeles	765 x 510 píxeles	1280 x 960 píxeles
Total píxeles	10,7 millones	390.000	1,22 millones
Tamaño del píxel	9 x 9 μm	9 x 9 μm	4,7 x 4,7 μm
Alimentación	12 VDC	5VDC o 12VDC	4,5 a 5,5 VDC

Tabla 1.2: Características generales de las cámaras que se utilizan en el observatorio Aula Espazio Gela tomadas en [2] y [5] para la STL, [6] para la ST-7 y [7] para la DMK.

1.1.3. Otros elementos

También hay otro tipo de equipamiento que pueden ser de utilidad en las observaciones:[1]

- Enfocador Optec de tipo Crayford y compensado en temperatura TCF-S.
- Rueda de filtros Atik.
- Estación meteorológica wireless Vantage Vue con control USB por Weatherlink y sensor de nubes Boltwood.

1.1.4. Ordenador de control

El observatorio fue equipado con un ordenador Windows XP con MaximDL como software astronómico para el control del observatorio. Este sistema, lleva más de 10 años en funcionamiento y, aunque podría seguir haciéndolo, después de tantos años ha quedado obsoleto en comparación a sistemas más recientes, por lo que es recomendable una actualización de todo el sistema. Cabe destacar que el sistema operativo Windows XP ya no está soportado por Microsoft y la UPV/EHU recomienda vivamente su reemplazo en los ordenadores que aún hacían uso del mismo.

1.2. Antecedentes

Durante los años en los cuales el observatorio ha estado activo, se han llevado a cabo muchos Trabajos Fin de Máster y Fin de Grado. Se han realizado proyectos de fotometría:

- Fotometría en el Trabajo Fin de Máster de Iñigo Mendikoa [8]
- Fotometría y astrometría en el Trabajo Fin de Máster de Danel Madariaga [2]
- Tránsitos de planetas extrasolares en el Trabajo Fin de Máster de Mikel Cobas [9]

Y también proyectos de espectroscopia:

- Espectroscopia en el Trabajo Fin de Máster de Gemma de Miguel Martínez [10]
- Espectroscopia estelar y planetaria en el Trabajo Fin de Máster de Aitor Beldarrain [11]

1.3. Objetivos

El objetivo de este proyecto es aprovechar la renovación del ordenador de control para integrar una nueva serie de herramientas de control desarrolladas como software libre para sistemas operativos GNU/Linux. Dividiendo este objetivo general por partes del proyecto tenemos los siguientes objetivos para este Trabajo Fin de Máster:

- Integrar todos los instrumentos que componen el observatorio Aula EspaZio Gela en el nuevo sistema de control en GNU/Linux.
- Realizar unas observaciones nocturnas con el nuevo sistema de control para probar su funcionamiento y realizar imágenes de asteroides.
- Utilizar las imágenes obtenidas en las observaciones para hacer algún trabajo científico, como fotometría, para validar la instalación.

Estos objetivos debieron ser revisados por la presencia de algunos problemas técnicos en la montura, que debieron ser resueltos de forma remota por el fabricante de la misma, lo que demoró varias semanas el calendario previsto. Esto, unido a las condiciones meteorológicas durante el período de realización del TFM, impidió realizar observaciones directas, por lo que se tomó la decisión de sustituir dichas observaciones por las realizadas en años anteriores disponibles en la base de datos del observatorio.

1.4. Vinculación con el máster

Este trabajo fin de máster está directamente relacionado con el Máster en Ciencia y Tecnología Espacial, por un lado porque se realiza en el observatorio astronómico Aula EspaZio Gela, y por otro lado, por la vinculación con algunas de las asignaturas cursadas en este máster se obtienen los conocimientos necesarios para la buena realización del proyecto. Estas son algunas de las asignaturas:

- “Astrodinámica”, impartida por el Prof. Agustín Sánchez Lavega.
- “Detectores y Sensores”, impartida por el Dr. José Félix Rojas Palenzuela.
- “Astronomía y Astrofísica”, impartida por el Dr. Santiago Pérez Hoyos.
- “Física del Sistema Solar”, impartida por el Dr. Ricardo Hueso Alonso.

- “Óptica”, impartida por la Dra. Maria Aranzazu Mendioroz Astigarraga y el Dr. Alberto Oleaga Paramo.

Dada esta fuerte vinculación con diversas asignaturas del Máster, el presente TFM ha permitido al alumno aplicar y profundizar en muchos de los conocimientos adquiridos durante el curso, lo que ha supuesto un excelente colofón para el mismo.

Capítulo 2

Implementación de un nuevo sistema de control en el T50

En este capítulo vamos a explicar el funcionamiento del nuevo sistema de control del observatorio, desde el sistema operativo que mueve el ordenador hasta el software astronómico que se va a usar para controlar el observatorio. Para esto vamos a seguir el mismo camino que se ha seguido para la realización del proyecto fin de máster, empezando por instalar todo el software en el ordenador, para después configurar todos los elementos del observatorio y, por último, preparar una observación. Antes de nada, en la tabla 2.1 vemos información acerca del PC que vamos a utilizar.

Procesador	Intel © Xeon © CPU ES-1607 v3 @ 3.10GHz x 4
Memoria	7.4 GiB
Discos duros	500.6 GB
Tarjeta gráfica	NVIDIA Corporation GF119 [NVS 310]

Tabla 2.1: Detalles técnicos del PC que podemos encontrar en la información del sistema.

2.1. Sistema operativo y conexiones

El sistema operativo del ordenador esta basado en Linux, y es la distribución Linux Mint 20.1 con escritorio Cinnamon. Mediante esta distribución Linux pretende lanzar un sistema potente a la vez que intuitivo y elegante para su uso. Además, Linux Mint es uno de los escritorios más utilizados por los usuarios de Linux. Tiene las siguientes ventajas: [12]

- Funciona nada más instalarlo y tiene una interfaz sencilla de utilizar.
- Es libre y de código abierto.
- Se aceptan feedbacks de la comunidad para mejorar la experiencia de Linux Mint.
- Basado en Debian y Ubuntu, por lo que proporciona alrededor de 30.000 paquetes.
- Es seguro, gracias al modo conservador de las actualizaciones, al tener un único *Update Manager* y una robusta arquitectura de Linux.

- Es un sistema operativo ligero, y por lo tanto robusto ante el envejecimiento del hardware.

Ejecutando el siguiente comando en la terminal de Linux (`lsb_release -a`) obtenemos una descripción más completa de la versión de Linux, ya que en la respuesta encontramos el nombre de la versión. En nuestro caso, el nombre de nuestro Linux Mint 20.1 Cinnamon es “ulyssa”.

Al encender el ordenador, después de introducir el usuario y la contraseña, llegamos al escritorio que podemos ver en la imagen 2.1. Este escritorio emula un escritorio tipo windows, donde podemos ordenar los ficheros en carpetas y añadir un acceso a las aplicaciones más interesantes para su uso. Además, abajo a la izquierda encontramos el botón que abre el menú con todas las aplicaciones que tengamos instaladas en el ordenador. Y para terminar con la descripción del escritorio, abajo a la derecha encontramos opciones de configuración de las redes, conexiones con los puertos del ordenador, y otros.



Imagen 2.1: Escritorio de la distribución de Linux Mint 20.1 Cinnamon.

Utilizar un sistema operativo basado en Linux facilita las conexiones remotas, y de este modo utilizar el ordenador del observatorio como servidor (la identidad del ordenador del observatorio es u108443). Principalmente, podemos identificar dos tipos de conexiones remotas con el ordenador del observatorio: utilizando el protocolo *Secure Shell* (ssh) con

o sin interfaz gráfica, o el uso de un escritorio remoto exclusivamente con interfaz gráfica que realmente se realiza bajo la cobertura de varios protocolos de comunicación (como rdp o el citado ssh) pero es más transparente para el usuario.

2.1.1. Conexión SSH

Secure Shell es un protocolo de conexión remota que a través de internet permite a los usuarios conectarse mediante una terminal, y controlar y modificar los servidores remotos. En este tipo de conexiones se tiene en cuenta el rol de cada ordenador. El ordenador al que se está intentando conectar cumple el papel de servidor, y el ordenador local que se está utilizando es denominado como cliente. Además, cabe destacar que ssh es una conexión cifrada y muy segura, por lo que es la preferida por la UPV/EHU sin necesidad de establecer conexiones VPN desde el exterior de las redes de la universidad.

Las conexiones entre combinaciones de ordenadores MacOS y Linux son sencillas, ya que ambos sistemas operativos cuentan con una ventana de terminal. Los clientes windows pueden usar los clientes SSH como PuTTY [13]. Una vez conectado, se pueden utilizar los comandos como si estuvieras como local en el servidor.

Para realizar una conexión SSH siendo usuarios de MacOS o Linux debemos abrir la terminal y escribir el siguiente comando. Este comando consta de 4 partes:

```
ssh [Opciones] {Usuario}@{Host}
```

El comando ssh indica que queremos abrir una conexión *Secure Shell*, en [Opciones] podemos añadir ciertos parámetros para indicar el tipo de conexión que queremos realizar, en {Usuario} debemos introducir el nombre de usuario en el servidor y, por último, en {Host} debemos identificar el equipo al cual queremos conectarnos.

De esta forma realizamos una conexión donde podemos utilizar los comandos en el mismo servidor, pero no se ha creado un entorno gráfico, por lo que no podremos abrir las aplicaciones del servidor remotamente. Para poder realizar esta acción debemos añadir un -X en el término de *opciones*, para indicar que queremos conectarnos en un entorno gráfico.

```
ssh -X {Usuario}@{Host}
```

Además, por la seguridad de la conexión, no permite abrir en un entorno gráfico ciertas aplicaciones. Para solucionar esto, y permitir que se pueda abrir cualquier aplicación debemos añadir una -Y seguido de la opción anterior.

```
ssh -X -Y {Usuario}@{Host}
```

Como ejemplo, en la imagen 2.2 tenemos una conexión de un MacOS al servidor Linux del observatorio, donde creamos un entorno gráfico y le decimos que permita abrir las aplicaciones sin restricciones. Después de escribir el comando de la conexión, debemos

introducir la clave de usuario. Haciendo esto ya estaremos conectados al servidor.

```
Last login: Mon Jul 12 19:31:18 on ttys000

The default interactive shell is now zsh.
To update your account to use zsh, please run `chsh -s /bin/zsh`.
For more details, please visit https://support.apple.com/kb/HT208050.
(base) MacBook-Pro-de-Mikel:~ mikelperez$ ssh -X -Y astro@u108443.bi.ehu.es
astro@u108443.bi.ehu.es's password:
Warning: No xauth data; using fake authentication data for X11 forwarding.
Last login: Mon Jul 12 19:31:24 2021 from 83.33.230.68
astro@Control-Observatorio:~$
```

Imagen 2.2: Conexión SSH usando como cliente un Mac y el ordenador Linux del observatorio como servidor remoto.

En este entorno podemos emplear todos los comandos nativos del sistema Linux del servidor, ya que tenemos acceso a todas las funcionalidades del sistema operativo. Aunque puede resultar complejo para usuarios normales, este sistema es muy útil para el mantenimiento remoto del servidor.

2.1.2. Escritorio remoto

Otra forma de usar el ordenador del observatorio de forma remota es creando un escritorio remoto. Esta opción te permite controlar el escritorio del ordenador al que te conectas de la misma forma que lo puedes hacer trabajando de forma local en el ordenador. Se genera un pantalla donde ves el escritorio del ordenador al cual te has conectado.

Hay una gran cantidad de opciones para crear un escritorio remoto, y muchas veces depende del sistema operativo que estemos utilizando en el ordenador que queremos crear el escritorio y el método que estemos usando. Tenemos dos alternativas para los cuales tendremos distintas opciones de aplicaciones:

1. La primera alternativa es configurar el ordenador que funciona como servidor de forma que permita compartir la pantalla y otros puedan controlar el escritorio. Esto se hace descargando primero el programa `dconf` para poder configurar el modo de compartir pantalla y permitir la conexión remota, y después, ejecutando el comando `system --user start vino-server` para activar y habilitar “compartir pantalla”. Una vez configurado esto, debemos utilizar la aplicación cliente para escritorios remotos en el ordenador donde queramos reproducir. La conexión se suele realizar con la dirección del ordenador que cumple con el papel de servidor, como puede ser la dirección IP.[14]
2. La segunda alternativa es utilizar una aplicación de escritorio remoto que este en ambos dispositivos, para que la conexión se realice vía esa misma aplicación. En esta opción debemos encontrar una aplicación que sea compatible con los distintos

sistemas operativos que estemos utilizando. La conexión se realiza mediante un código interno que le da la aplicación a cada computadora. Introduciendo este código en el ordenador cliente abrimos el escritorio del ordenador servidor en una nueva ventana.

Para crear un escritorio remoto existen una gran cantidad de aplicaciones. En este apartado vamos a dar algunos ejemplos que cumplen las características necesarias para crear un escritorio remoto en el ordenador del observatorio. Debemos recordar que el ordenador tiene el sistema operativo basado en Linux Mint, por lo que la aplicación debe tener soporte en este sistema operativo. Cabe destacar que hoy en día, la mayoría de aplicaciones tienen soporte en una gran cantidad de plataformas.

En el caso que estemos trabajando en un sistema operativo Linux, y vamos a necesitar una conexión de un Linux a otro Linux, *Vinagre* [15] y *Vino* [16] son las aplicaciones más conocidas y usadas para el control remoto, ya que en la mayoría de casos ya vienen instalados por defecto. Funcionan como la alternativa 1 que hemos analizado anteriormente. Aún así, existen más aplicaciones que cumplen la misma finalidad, como *Remmina* [17]. Esta nos proporciona la opción de crear conexiones de tipo RDP (Remote Desktop Protocol), VNC (Virtual Network Computing) o SSH, que hemos explicado antes.

En cambio, si el ordenador cliente tiene otro sistema operativo, como Windows o macOS, necesitaremos otro tipo de software, con soporte en estos sistemas. Estos, por lo general, funcionan como la alternativa 2. Como ejemplo tenemos el software de escritorio remoto *AnyDesk* [18], que funciona en Windows, macOS, Android, iOS, Linux, FreeBSD, Raspberry Pi y Chrome OS. Es uno de los más completos y más usados, pero podemos encontrar más alternativas a esta. Es muy conocido también, entre los usuarios de Windows el software *TeamViewer* [19]. Además de estos dos tenemos también *SupRemo* [20] y *Escritorio Remoto de Google Chrome* [21].

2.2. Alternativas

En esta sección vamos a analizar las distintas alternativas interesantes para el software astronómico del ordenador del observatorio. Recordamos que antes el observatorio se controlaba mediante Maxim DL Pro, por lo que vamos a empezar con una alternativa conservadora donde se podría seguir con el mismo software que en el ordenador antiguo.

MaxIm DL

MaxIm DL es un software astronómico de pago que te proporciona todos los instrumentos necesarios para las imágenes astronómicas, ya que es un programa completo para el manejo de cámaras CCD y cámaras digitales, y permite hacer un procesamiento de imágenes, que incluye también la resolución astrométrica mediante PinPoint. Este software tiene soporte únicamente en ordenadores con sistema operativo Windows. [22]

N.I.N.A

Nighttime Imaging ‘N’ Astronomy es un software de astronomía que nos permite el control de dispositivos como las cámaras y también preparar y programar las observaciones

nocturnas. Este software solo funciona en el sistema operativo Windows, y como con MaxIm DL necesitaríamos más herramientas para complementarlo y tener un control total del observatorio.[23]

KStars

KStars es un software libre de astronomía que funciona en todas las plataformas, como Linux, Windows² y macOS. Este software nos presenta la visión del cielo desde cualquier parte de la Tierra en cualquier fecha y hora, además de que nos da la posibilidad de realizar planes de observación, cálculos astronómicos y hasta el cálculo del campo de visión según la instrumentación conectada. Tiene soporte Ekos para control del observatorio, y un calendario de lo que ocurre cada noche, llamado “What’s up Tonight”. [24]

Cartes du Ciel

Este programa astronómico es un planetario que nos permite conocer la localización de todo tipo de cuerpos celestes, como asteroides, planetas o cometas, como podemos observar en la imagen 2.3 pero además de esto también nos permite programar una lista de observación para las sesiones de astronomía. Este software, que funciona en Windows, Mac OS X y en Linux, nos da muchas opciones a la hora del control del observatorio, y nos ofrece todo tipo de catálogos.[25]

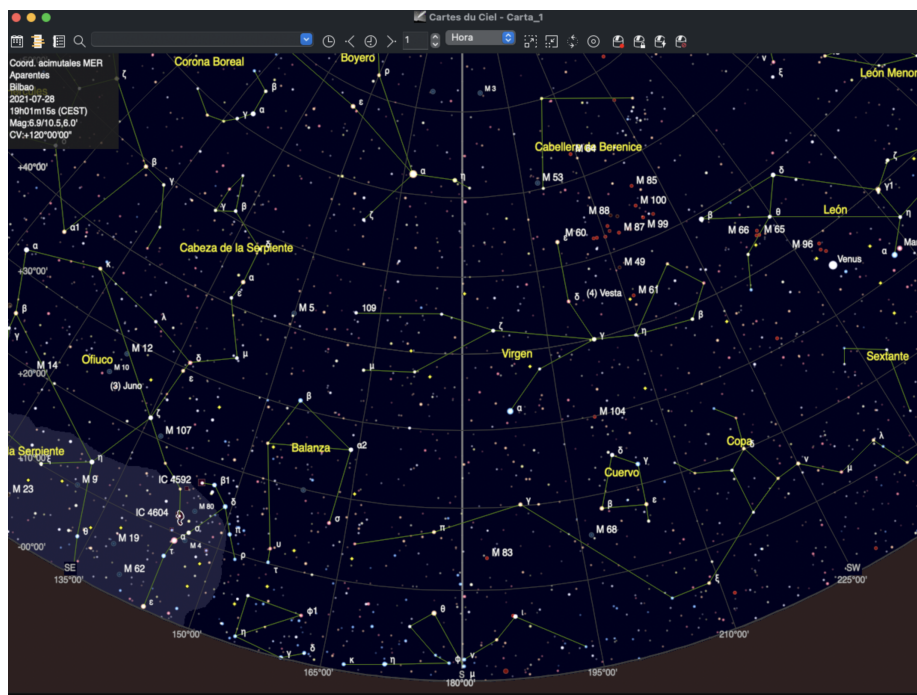


Imagen 2.3: Menú inicial del programa *Cartes Du Ciel*.

²Después veremos que tiene ciertas limitaciones en este sistema operativo.

The Sky

The Sky es un software de astronomía de Bisque. Es una herramienta que permite controlar el observatorio, realizar imágenes del espacio profundo, hacer análisis científico e incluye una gama amplia de funciones avanzadas para la observación. Es un software muy utilizado por los astrónomos durante muchos años, pero el inconveniente de usar este programa es que, como MaxIm DL Pro, es un software de pago, aunque a diferencia de MaxIm, además de Windows, este sí tiene soporte en otros sistemas operativos como Linux y MacOS.[26]

	Control completo	Planificadores	Multi-plataforma	Gratuito
MaxIm DL Pro	✗	✗	✗	✗
N.I.N.A	✗	✓	✗	✓
KStars	✓	✓	✓	✓
Cartes du Ciel	✗	✓	✓	✓
The Sky	✓	✓	✓	✗

Tabla 2.2: Distintas alternativas para el control del observatorio según algunos parámetros de selección. “Control completo” indica que no hay necesidad de otro software que complemente la observación y “Planificadores” indica que contiene planificadores de observación.

2.3. KStars - INDI

El sistema de control implementado en el observatorio es mediante el software KStars, que funciona usando el protocolo INDI. En esta sección vamos a explicar el uso de este software para el control del observatorio, empezando por explicar la función de INDI.

Lo primero que debemos hacer es instalar en el ordenador el protocolo INDI y el software KStars. Como partimos de un sistema operativo Linux, debemos abrir una ventana de terminal, y una vez abierta, escribir esta serie de comandos:

- 1) La descarga de este software se hace mediante repositorios Linux, por lo que debemos cargar el repositorio donde están todos los archivos necesarios:

```
sudo apt-add-repository ppa:mutlaqja/ppa
```

El repositorio que hemos cargado es el de Jasem Mutlaq que se encuentra en *launchpad.net* [27] y su nombre es *INDI Stable Builds*.

- 2) Ahora debemos actualizar el paquete de repositorios en el comando `apt-get`, porque hemos añadido un repositorio nuevo:

```
sudo apt-get update
```

- 3) Instalamos todos los drivers de la librería INDI y el software KStars:

```
sudo apt-get install indi-full kstars-bleeding
```

De esta forma tenemos instalado KStars y una gran cantidad de controladores para que mediante KStars podamos controlar el equipamiento astronómico del observatorio (monturas, CCDs, cúpulas,...). Cabe destacar que este proceso no instala todos los controladores existentes, ni todos los que da soporte el protocolo INDI, para algunos casos, como los CCD ATIK, debemos descargarlos de forma separada.

2.3.1. Librería INDI

La librería INDI esta basada en *Instrument Neutral Distributed Interface* (INDI) y es una fuente de código abierto que permite controlar toda la instrumentación astronómica de un observatorio. Esta librería funciona como unión entre el hardware del observatorio (montura, cámaras, cúpula...) y el software utilizado. Esta librería viene incluida con el software KStars, por lo que no es necesario la instalación de ningún otro tipo de enlace para la puesta en marcha del observatorio.

INDI contiene gran cantidad de drivers, por lo que puede soportar muchos de los equipos que forman el sistema del observatorio. Tiene las siguientes características:[28]

- Código abierto: Se permite que cualquiera pueda modificar el código bajo la licencia LGPL v2.
- Funciona en distintas plataformas, como MacOS, Linux y Windows.
- Los controladores se actualizan de forma independiente.
- Control: Con la estructura de INDI server y cliente INDI se puede controlar los servicios de INDI localmente o remotamente.

El servicio local de INDI no funciona en la plataforma de Windows. Para usar el protocolo INDI en un dispositivo Windows necesitamos hacerlo de forma remota ejecutando INDI Web Manager, como se explicará en la siguiente sección.

2.3.2. INDI Web Manager

INDI Web Manager es una página web para controlar los servicios proporcionados por el protocolo INDI, y funciona como un servidor de INDI. Este servidor da soporte a todos los controladores que hemos comentado anteriormente, pero la diferencia está en que usando INDI Web Manager se puede elegir la forma en la que queremos controlar el equipo del observatorio, de forma local o de forma remota. Esto es especialmente interesante para instalarlo en dispositivos Raspberry PI.[29]

Para instalar el servidor INDI Web Manager debemos hacerlo también desde una ventana de terminal de Linux siguiendo estos pasos ([30]):

1) Primero debemos instalar phyton3-pip:

```
sudo apt-get install python3-pip
```

2) Y ahora instalamos INDI Web Manager:

```
sudo -H pip3 install indiweb
```

En el caso de que `pip` estuviera instalado desde antes, sería suficiente ejecutando la siguiente línea en la terminal:

```
sudo pip install indiweb
```

Con todo esto habremos instalado INDI Web Manager en el equipo local. Para ejecutar este servicio también necesitamos escribir una línea de comandos en la terminal:

- Para obtener ayuda:

```
indi-web -h
```

- Para ejecutar el servidor

```
indi-web -v
```

Ejecutando el comando para iniciar INDI Web Manager activamos la pagina web que nos permite controlar los equipos, por lo que debemos abrir una pagina de internet y acudir a la siguiente dirección: “localhost:8624”.

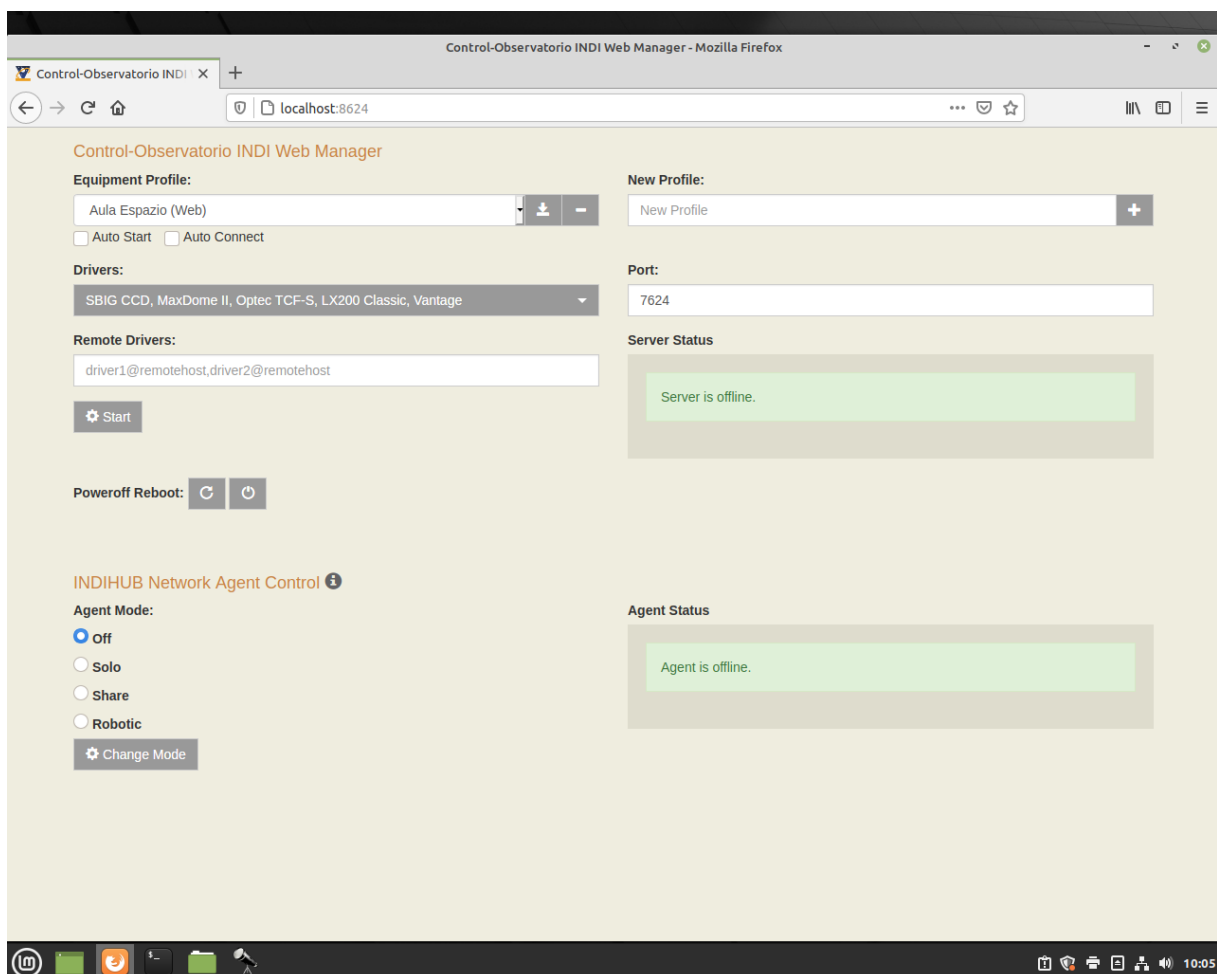


Imagen 2.4: Servidor web para controlar el observatorio usando INDI Web Manager.

Una vez estemos en la dirección, entramos en una pantalla como la que vemos en la imagen 2.4. Con esto habremos creado un servidor donde se cargan todos los elementos de nuestro observatorio, y sin utilizar una conexión ssh, podremos conectarnos desde otro dispositivo a este servidor de INDI y poder controlarlo remotamente.

El uso de este servicio lo explicaremos más en profundidad en la sección 2.4 donde explicamos las formas en las cuales podemos controlar el observatorio.

2.3.3. Software astronómico: KStars

En esta parte vamos a describir el funcionamiento y la implementación del software astronómico que hemos seleccionado. Hemos explicado en la sección anterior la función que cumple INDI dentro de KStars, por lo que ahora nos vamos a centrar en la configuración del software. Aquí incluimos desde la configuración inicial del tiempo y la localización, hasta su forma de controlar el observatorio para una sesión de observación.

El software KStars es una aplicación que podemos encontrar directamente en el escritorio del ordenador, como podemos ver en la imagen 2.1. Para abrir la aplicación lo único que debemos hacer es pulsar con el ratón encima del símbolo de KStars (el icono del telescopio).

La primera vez que abrimos KStars nos aparecerá un ayudante de configuración inicial con una serie de recomendaciones. Esta configuración inicial consta de tres fases. La primera es la de comprobar (y, si es necesario, ajustar) la localización de los directorios donde están todos los archivos de KStars. La segunda fase es para configurar la localización geográfica del observatorio, tenemos una ventana como la que podemos ver en la imagen 2.5, donde debemos seleccionar la ubicación del observatorio. Y, por último, en la tercera fase tenemos la opción de descargar archivos adicionales, como por ejemplo más datos sobre objetos como asteroides o cometas. Es recomendable instalar todos los archivos.

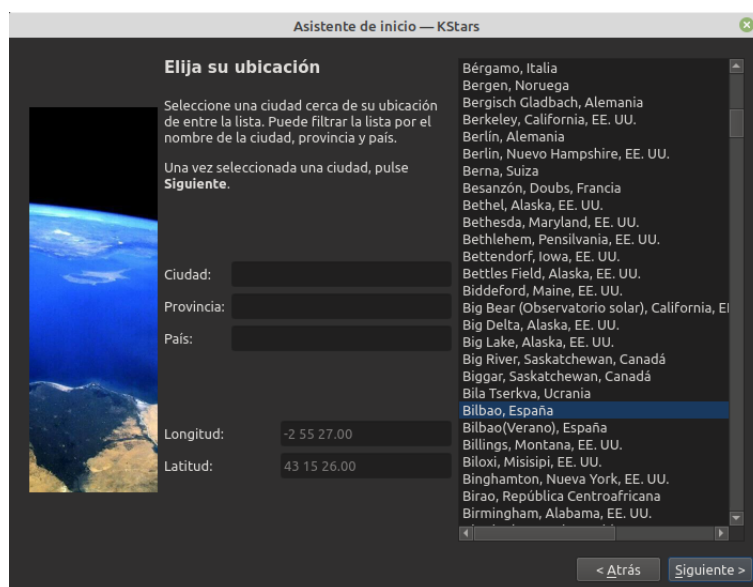


Imagen 2.5: Ventana para seleccionar la ubicación del observatorio en la configuración inicial.

Estas tres fases tiene gran importancia para el buen funcionamiento de KStars. Si esta configuración no se realiza correctamente, principalmente la elección de la ubicación, el campo de visión que nos ofrece KStars no estará totalmente calibrado para nuestra posición en la Tierra. Por ejemplo, la ubicación del observatorio debe ser Bilbao en España, pero si KStars tiene como ubicación otro punto de la Tierra, el cielo y las estrellas que nos marcará KStars serán del cielo de ese punto.

En nuestro caso, la posición del observatorio no se modifica, por lo que seleccionamos la ubicación correcta al principio y no debemos preocuparnos más por eso. En cambio, para casos en los cuales el observatorio no sea fijo en una ubicación concreta, debemos añadir que la selección de la ubicación se puede modificar cuando sea y cuantas veces sea necesario en el menú de acciones rápidas de KStars, pulsando el botón número 4 de la imagen 2.6.

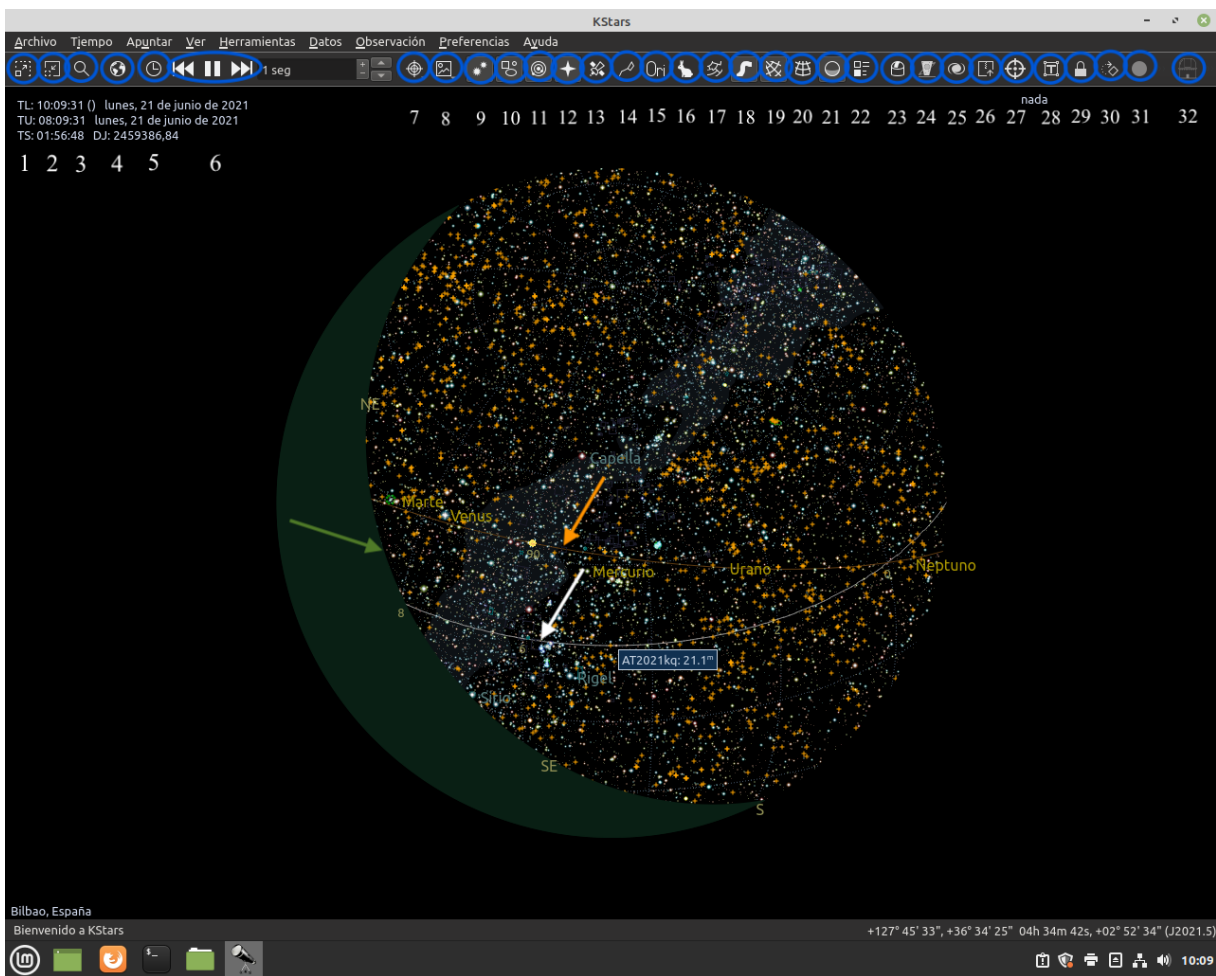


Imagen 2.6: Ventana principal de KStars donde podemos ver el campo de visión y los objetos visibles desde nuestra ubicación. Los números de la imagen indican las opciones que nos proporciona esta ventana principal, que se explicarán más adelante.

Justo la imagen 2.6 es la pantalla principal del software que nos permite realizar una gran cantidad de acciones de manera rápida. Lo más importante, en un principio, es la esfera que podemos ver en el centro de la imagen, que visualiza la parte del cielo que podemos ver desde nuestra ubicación. En esta esfera podemos distinguir la eclíptica mediante una línea naranja (flecha naranja), el ecuador celeste mediante una línea blanca (flecha blan-

ca) y el horizonte (flecha verde) que es la intersección entre las dos partes de la esfera, la parte visible y la parte verde, que no se puede ver desde esta ubicación.

Esta imagen contiene todos los objetos astronómicos que estén cargados en el software, como objetos del sistema solar (Sol, planetas, asteroides,...), estrellas, supernovas,... Y además de esto, contiene un menú “pop-up” para cada objeto. Este menú varía según el objeto en el cual seleccionamos esta opción, pero en general tiene algunas opciones básicas para todos los objetos.

En este menú podemos centrar y seguir el objeto seleccionado, mandar el telescopio a esa posición, añadir ese objeto a la lista de deseos o de observación (en la sección 2.5 veremos la diferencia), encontrar detalles del objeto y hasta visualizarlo en imágenes DSS o SDSS, siempre y cuando estén en la base de datos del servidor que utiliza KStars para las imágenes en internet.

Estas son todas las opciones que nos proporciona el planetario inicial del programa KStars, pero, como vemos en la imagen 2.6, tenemos otras muchas opciones en la barra de herramientas, dentro del menú de *Archivo*, *Tiempo*, *Apuntar*, *Ver*, *Herramientas*, *Datos*, *Observación*, *Preferencias* y *Ayuda*.

En el menú *Archivo* tenemos la opción de abrir una imagen, o de guardar alguna imagen. Cabe destacar que KStars también permite abrir imágenes con extensión FITS. En el menú *Tiempo* podemos modificar el día y la hora, desde llevarlo al momento cuando estemos trabajando (presente), o al día y la hora que nos interese. Además podemos hacer que avance o retroceda paso a paso, con saltos de tiempo que queramos. En el menú *Apuntamiento*, podemos elegir entre apuntar al cenit, al norte, al sur, al este o al oeste, además de introducir las coordenadas manualmente o hacer una búsqueda del objeto.

En el menú *Ver* podemos ajustar el zoom en el planetario del programa, pero también nos permite cambiar la forma de visualizar el cielo. Podemos elegir entre utilizar las coordenadas ecuatoriales o las coordenadas horizontales, que representan distintos sistemas de referenciar la posición de un astro en el cielo desde un observador en la Tierra. Además de esto podemos cambiar la proyección del planetario entre estas opciones: Proyección acimutal de Lambert, acimutal equidistante, ortográfica, equirectangular, estereográfica o gnomónica.

En el menú *Herramientas* encontramos una calculadora de medidas astronómicas, un submenú de los instrumentos soportados por KStars con una opción de configurar su nombre, controladores, con un administrador de los instrumentos y donde podemos crear perfiles para usar KStars en forma de cliente para conectarnos a otro KStars. También encontramos un calendario del cielo donde podemos ver un almanaque de los planetas del sistema solar, como podemos ver en la imagen 2.7. En este calendario vemos cada planeta en que momento sería visible desde nuestra ubicación, desde su salida, cuando está en su punto más alto y hasta su puesta. En este menú también tenemos una opción para representar en un gráfico la altitud de un objeto en frente del tiempo, en una fecha concreta, que en el caso de planetas del sistema solar complementa la herramienta del calendario estelar, pero en este caso nos ofrece muchos más astros para graficar (imagen 2.8). Luego nos ofrece una herramienta muy útil para ver todo lo que pueda ser interesante (What's Interesting)

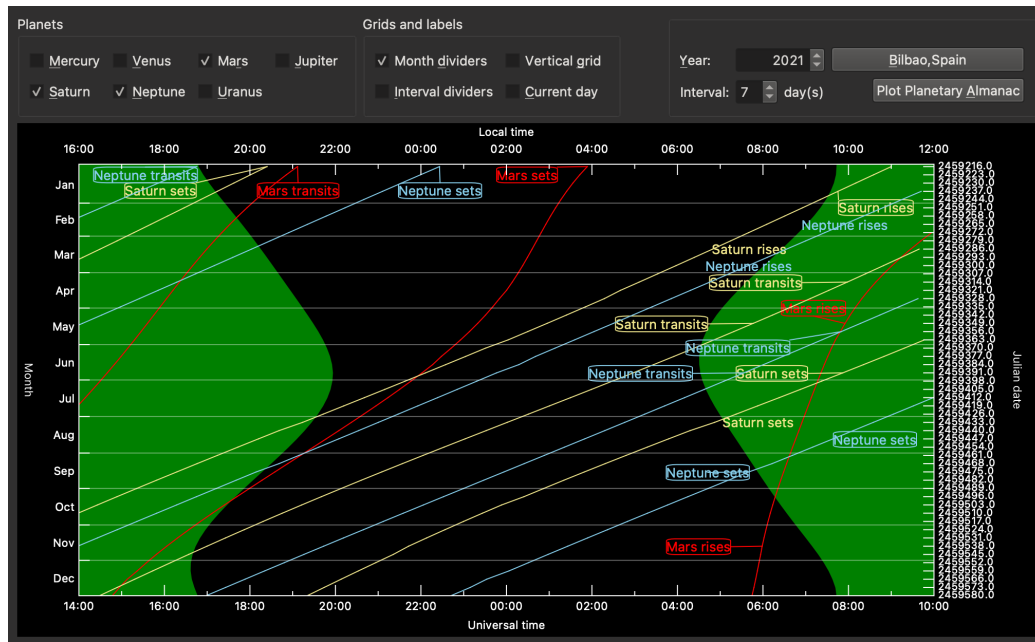


Imagen 2.7: Almanaque de los planetas Marte, Saturno y Neptuno para el año 2021 desde Bilbao.

o, directamente, una herramienta que nos da información de lo que ocurre esta noche (What's up Tonight).

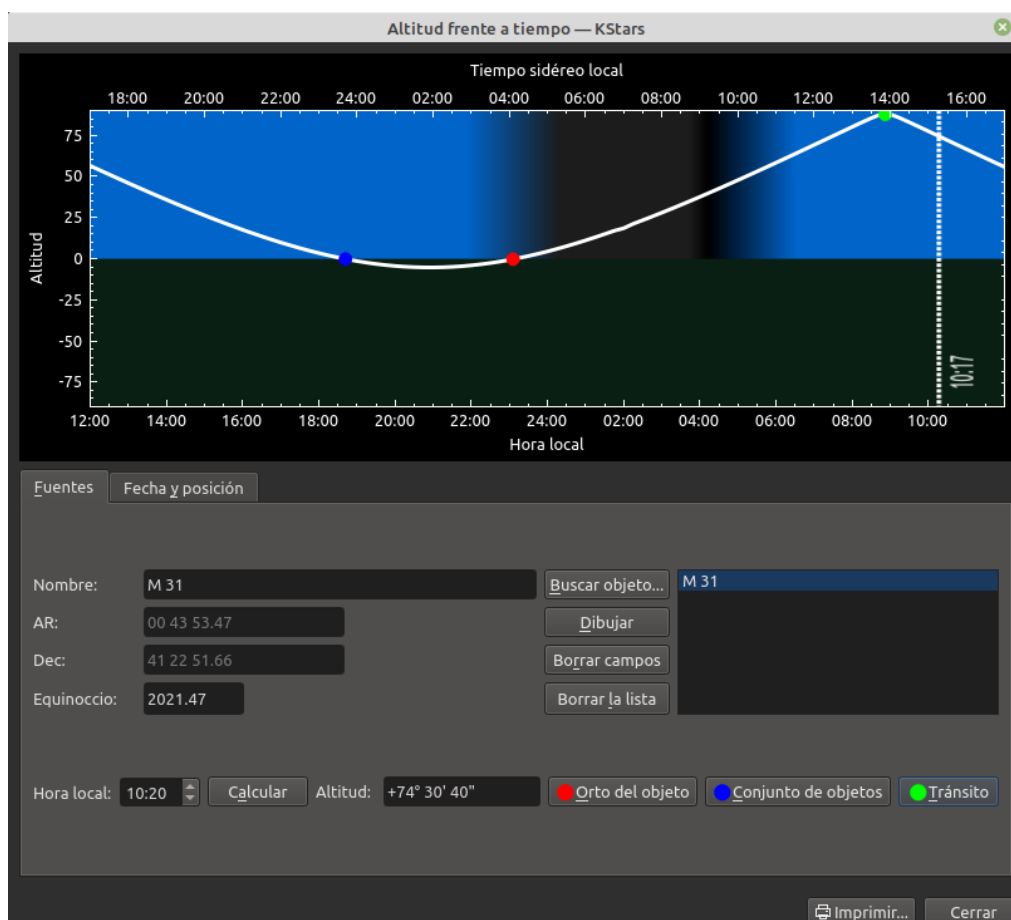


Imagen 2.8: El gráfico de altura en función de la hora para el 21 de junio de 2021.

El menú *Datos* nos ofrece la opción de descargar nuevos datos que hayan sido cargados a las bases de datos, que pueden ser como nuevos catálogos o imágenes recientes de las misiones en activo. También podemos añadir objetos del espacio profundo de forma manual y actualizar órbitas de objetos pequeños como cometas, asteroides y satélites, y actualizar la base de datos de las supernovas. Se recomienda mantener todo actualizado regularmente, sobre todo las órbitas de los objetos pequeños, ya que son los que más error suelen acumular. Estas órbitas se descargan del sistema de efemérides Horizons, mantenido por el Jet Propulsion Laboratory de NASA ([31],[32]). [33]

El menú *Observación* nos permite planificar una observación y después ejecutarla, pero esto lo explicaremos más adelante en la sección 2.5. En el menú *Ayuda* encontramos el manual de uso de KStars ([34]). Por último tenemos el menú de *Preferencias*, donde encontramos la opción de modificar la ubicación del observatorio, las opciones o enlaces rápidos que queremos que aparezcan en el menú inferior del programa (el numerado en la imagen 2.6), pero la opción más importante es la configuración de KStars. Esa opción nos abre una ventana de configuración que podemos ver en la imagen 2.9.

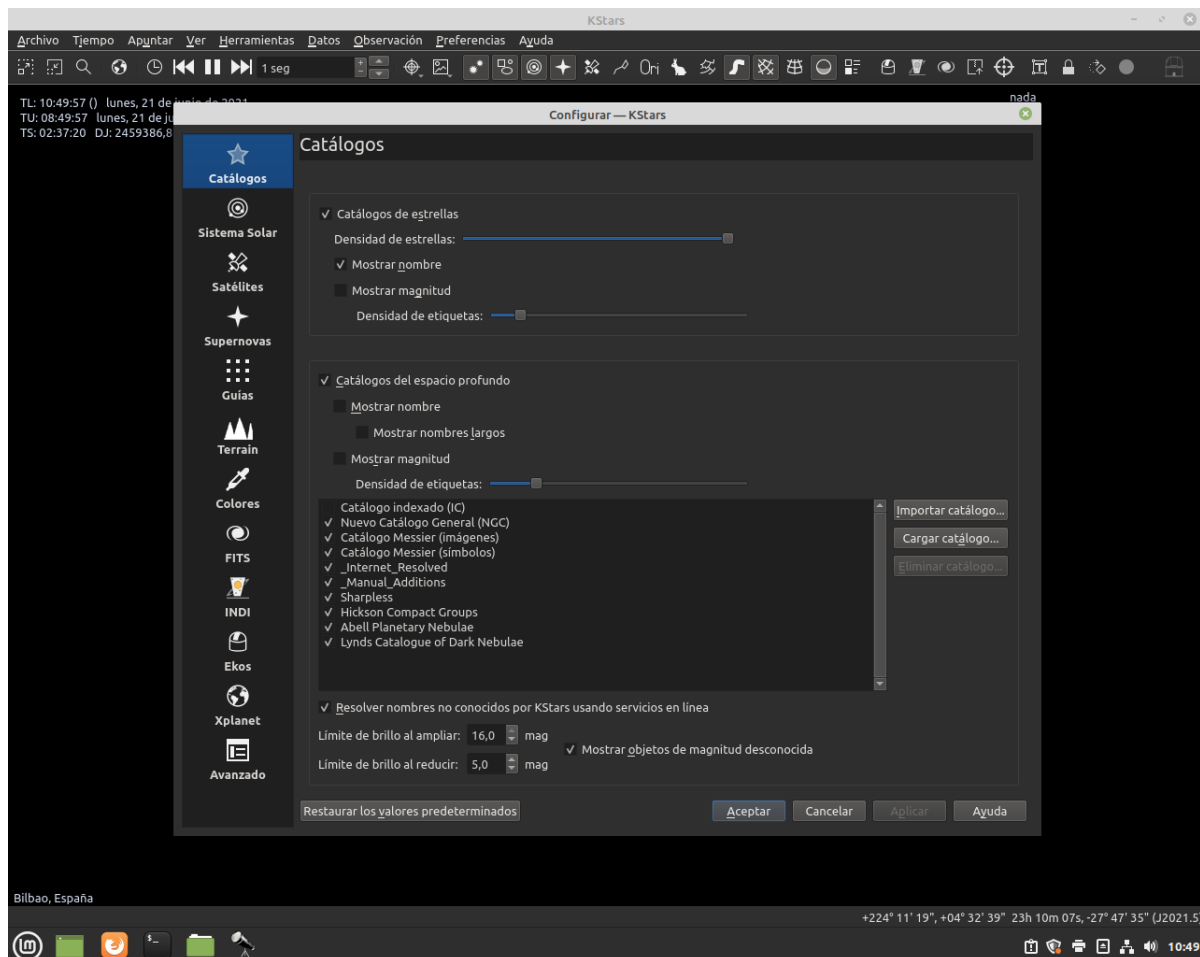


Imagen 2.9: Ventana de configuración del programa KStars.

Sobre esta ventana de configuración vamos a ver lo esencial para poder realizar los ajustes necesarios para utilizar KStars a nuestro gusto. En *Catálogos* podemos cambiar la cantidad de estrellas que aparecen en el planetario del escritorio, y las etiquetas, como

también ocurre con los objetos del espacio profundo. Para estos últimos podemos elegir los catálogos que deseamos utilizar y los límites de magnitud para que aparezcan en el planetario. En *Sistema Solar* podemos elegir los planetas que queremos que aparezcan y las características (brillo) de los asteroides y cometas que queremos ver. Por defecto no hay ningún satélite activo en el planetario, pero podemos elegir cuáles queremos que aparezcan en *Satélites*. Con las supernovas ocurre algo similar que con los objetos anteriores, debemos ajustar la magnitud de las supernovas que queremos observar.

Para terminar tenemos la opción de configurar INDI y Ekos, que están más orientados a la instrumentación de observación. En *INDI* podemos ajustar los directorios donde están almacenados todos los controladores, el directorio del servidor de INDI y el directorio predefinido para guardar las imágenes FITS. Además de estos podemos indicar si queremos que la instrumentación actualice KStars o que sea el programa quien actualice con sus datos la montura. Y *Ekos* está más dirigido a los instrumentos a la hora de decir cuándo se van a conectar, los parámetros que se usan a la hora de hacer un programa de observación y la captura de imágenes. Aquí también encontramos una librería donde podemos guardar los darks.

Siguiendo con el escritorio inicial de KStars, vamos a explicar qué podemos hacer con cada acceso rápido de la barra de herramientas de la imagen 2.6:

1. Con este botón hacemos *zoom in* en el planetario. Por defecto se hace zoom en el punto donde tenemos el puntero.
2. Este botón es el opuesto al anterior, ya que realiza un *zoom out* en la visualización del cielo.
3. Este botón es la herramienta que tenemos para la búsqueda de objetos de nuestro interés que no podamos ver directamente en el planetario. Podemos buscarlo con el nombre del objeto astronómico que queremos encontrar, o filtrarlo en los grupos predefinidos en la búsqueda como estrellas, sistema solar, galaxias... Una vez encontres el objeto deseado, el puntero de apuntado del planetario se posicionará en su ubicación en el cielo.
4. Aquí podemos cambiar y, en caso de que sea necesario, editar la ubicación del observatorio. KStars reconoce más de 3400 ciudades, pero en el caso de que no este nuestra ubicación se puede crear uno, con los datos de longitud, latitud, altitud y el cambio horario universal (UT).
5. Este botón nos permite modificar la fecha y la hora.
6. Esta combinación de botones nos permite modificar el tiempo, adelantando la hora o retrasándola a la velocidad que nos interese. Este y el anterior, combinados, son el acceso rápido del menú *Tiempo* explicado antes.
7. Este botón es una herramienta que nos permite simular el campo de visión (FOV) de distintas lentes que podamos usar observando el cielo. Esta herramienta ya nos trae unas opciones por defecto pero también podemos editar otro símbolo FOV.

8. Este botón nos permite modificar la forma en la que se visualiza el cielo, en cuanto a color se refiere.
9. Este botón sirve para activar o desactivar la visualización de las estrellas en el planetario.
10. Este botón sirve para activar o desactivar la visualización de los objetos del espacio profundo en el planetario.
11. Este botón sirve para activar o desactivar la visualización de los objetos del Sistema Solar en el planetario.
12. Este botón sirve para activar o desactivar la visualización de las supernovas en el planetario.
13. Este botón sirve para activar o desactivar la visualización de los satélites en el planetario.
14. Este botón sirve para activar o desactivar la visualización de las líneas de las constelaciones en el planetario.
15. Este botón sirve para activar o desactivar la visualización de los nombres de las constelaciones en el planetario.
16. Este botón sirve para activar o desactivar la visualización de una imagen artística de las constelaciones en el planetario.
17. Este botón sirve para activar o desactivar la visualización de los límites de las regiones de las constelaciones en el planetario.
18. Este botón sirve para activar o desactivar la visualización de la Vía Láctea en el planetario.
19. Este botón sirve para activar o desactivar la visualización de las líneas de las coordenadas ecuatoriales en el planetario.
20. Este botón sirve para activar o desactivar la visualización de las líneas de las coordenadas horizontales en el planetario.
21. Este botón sirve para activar o desactivar el horizonte en el planetario. Si desactivamos esta opción podremos ver los objetos que quedan por debajo del horizonte en nuestra ubicación, y si lo tenemos activado observaremos el espacio verde de la imagen 2.6.
22. Este botón nos abre una ventana nueva con lo que pueda ser interesante (*What's Interesting*). Aquí podremos elegir entre objetos visibles a simple vista como el sol, luna, planetas, estrellas..., objetos del espacio profundo como galaxias, nebulosas, supernovas,... o explorar en los catálogos como el catálogo Messier, NGC,... En cada elección tenemos una lista de opciones con información de su ubicación.

A partir de este punto, todas las opciones siguientes están dirigidas a la configuración de los instrumentos del observatorio y su posterior forma de controlar el observatorio.

23. Este botón nos sirve para lanzar Ekos en KStars, y se nos abre una ventana como la de la imagen 2.10. Ekos es una herramienta de control y automatización de los observatorios astronómicos, con un enfoque particular en la astrofotografía [35]. En esta herramienta podremos seleccionar entre gran variedad de instrumentos como monturas, CCDs, cúpulas,... para poder automatizar por completo todo el observatorio. Se pueden distinguir tres pestañas: En la primera seleccionamos el perfil e iniciamos Ekos, la segunda está dirigida a los objetos de la observación y la tercera a la actividad de los instrumentos.

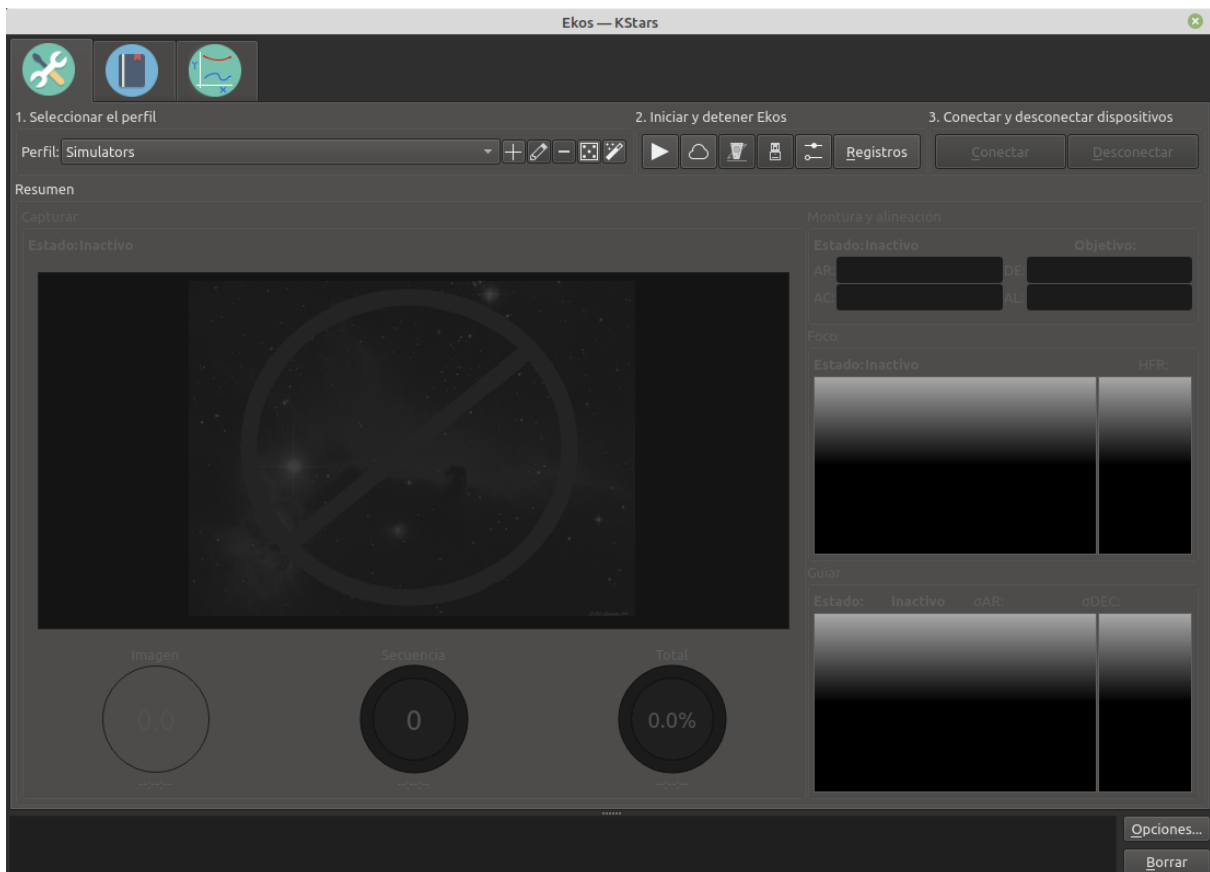


Imagen 2.10: Ventana correspondiente a la herramienta Ekos. Por defecto, como vemos en el apartado de “Perfil”, viene *Simulators*. Este está compuesto por una versión de simulación de todos los instrumentos.

24. Este botón es el correspondiente al servicio INDI, y no está disponible en todo momento, solo una vez lanzamos el servicio Ekos y creamos una conexión con cualquier tipo de instrumentación del observatorio. Esto ocurre porque INDI, como hemos comentado antes, es el centro de control del observatorio, y mediante la librería INDI que forma parte del protocolo INDI se encarga de las conexiones, por lo que hasta que exista una conexión no estará operativo.
25. Este botón sirve para lanzar el visor de imágenes FITS. Este se lanza automáticamente cuando el programa detecta una nueva imagen procedente de la cámara.
26. Este botón activa o desactiva el símbolo del campo de visión de nuestro CCD. La diferencia que tiene con el botón número 7 es que en este caso el campo de visión que vemos es el que nos ofrece la cámara que tenemos conectada en nuestro perfil de Ekos.

27. Este botón nos permite centrar el apuntado del telescopio con el punto de referencia que tenemos en el planetario, para que la posición del telescopio la podamos ver de forma más centrada.
28. Mediante este botón podemos abrir un panel de control de la montura, como la que vemos en la imagen 2.11. En este panel tenemos todo lo necesario agrupado, donde podemos buscar objetos y llevar el telescopio, aparcar la montura, sincronizarla con algún objeto, o moverlo de forma manual.
29. Mediante este botón bloqueamos el movimiento de la montura en el seguimiento, para que el objetivo aparezca en la misma zona de la imagen en todo momento.
30. Este botón mueve el telescopio al objeto que tenemos centrado en la posición que tenemos en el cielo del planetario.
31. Este botón sincroniza el telescopio con el objeto que tenemos centrado en la posición en el cielo del planetario.
32. Este símbolo representa la cúpula, y cuando tenemos alguno conectado se convierte en dos botones, uno para aparcar la cúpula y otra para hacer *unpark*.

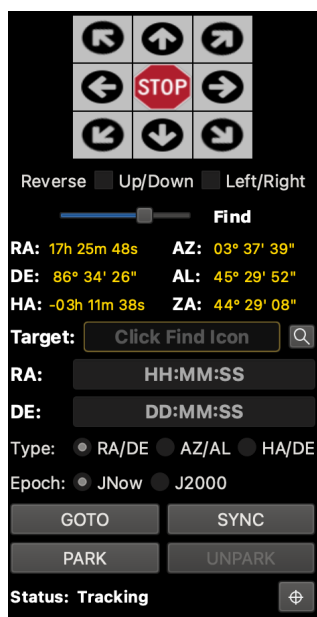


Imagen 2.11: Panel de control de la montura del telescopio.

Ahora que sabemos lo que nos ofrece KStars, y su funcionamiento inicial podemos pasar a automatizar el observatorio Aula EspaZio mediante este mismo software. De esta forma conseguiremos controlar nuestras observaciones y los instrumentos de observación desde un mismo programa en el ordenador del observatorio.

2.3.4. Automatización del observatorio

Para empezar debemos ejecutar el entorno *Ekos* pulsando el botón número 23, donde, como hemos visto antes, se nos abrirá una ventana como la de la imagen 2.10. Una vez

aquí, debemos centrarnos en las tres fases que identifica el entorno *Ekos*, que son las siguientes:

1. Seleccionar el perfil.
2. Iniciar y detener *Ekos*.
3. Conectar y desconectar dispositivos.

Por defecto tenemos un perfil creado por simuladores de montura (Mount Simulator) y CCDs (CCD Simulator), ya que para ejecutar *Ekos* es necesario activar como mínimo una montura y un CCD. El perfil “Simulators” nos permite realizar pruebas de control de *KStars*, y como su mismo nombre indica, hacer una simulación de observación, pero para automatizar nuestro observatorio debemos crear nuevos perfiles con nuestros dispositivos.

En el proceso de automatización, para usar siempre los mismo instrumentos de prueba hemos creado un perfil general con nombre *Aula Espazio Gela* para realizar todas las pruebas en ella. El proceso de automatización se lleva a cabo con los modelos de los instrumentos que hemos nombrado en la introducción de esta memoria.

La montura del telescopio del observatorio es una montura que está preparada para emular y funcionar con una conexión de montura tipo Meade LX200 Classics, aunque también nos da la posibilidad de emular una montura tipo Astrophysics, la forma más óptima y que mejor ha funcionado en las pruebas ha sido la de tipo Meade. Cabe destacar que *KStars* tiene la opción de usar una montura LX200 10micron, pero funciona mejor con el modelo clásico.

El CCD que hemos utilizado para probar la automatización del observatorio ha sido una SBIG STL-11000M. *Ekos* tiene soporte para los CCDs de Diffraction Limited, con nombre SBIG CCD (un controlador general) y SBIG ST-L. Debo añadir que los dos funcionan con el mismo controlador, por lo que en ambos casos el control es generalizado. Para esta cámara hemos utilizado el controlador general SBIG CCD. Con esos dos dispositivos ya podríamos lanzar *Ekos*, pero aún tenemos más instrumentos para añadir.

El observatorio está dentro de una cúpula que podemos conectar a *KStars-Ekos* mediante el controlador MaxDome II. También podemos añadir un sistema de enfoque, que en el caso de este observatorio se hace mediante un enfocador Optec TCF-S, y, por último, un dispositivo que informa de las condiciones atmosféricas, Vantage Vue, mediante el controlador Vantage.

Con todo esto creamos el perfil *Aula Espazio Gela* que podemos ver en la imagen 2.12. Si seleccionamos la opción de conectar automáticamente al iniciar *Ekos* los dispositivos seleccionados en el perfil se conectarán automáticamente, en cambio, si lo desactivamos y lanzamos *Ekos*, tendremos que conectar los dispositivos uno a uno o conectar todos desde la fase 3 de la imagen 2.10.

Una vez conectados todos los dispositivos debemos configurar el observatorio para que funcionen correctamente todos a la vez. En este punto cobra mucha importancia la esclavización de la cúpula. Al tener una cúpula en el observatorio, la apertura de esta debe

coincidir con el campo que estemos observando con el telescopio, por lo que la montura y la cúpula deben conectarse e intercambiar información a cerca de su posición. Esto se conoce como esclavización, ya que se esclaviza el movimiento de la cúpula según la posición y orientación de la montura.

Para esclavizar la cúpula existen parámetros que debemos tener en cuenta: Radio de la cúpula, anchura de la apertura, desviación norte/sur del centro de la cúpula y el corte de los dos ejes de rotación de la montura (Mount Pivot Point³ en ingles), desviación este/oeste, la altura del Mount Pivot Point según la cúpula y la distancia entre el corte de los dos ejes de rotación de la montura y el eje óptico del telescopio (OTA).

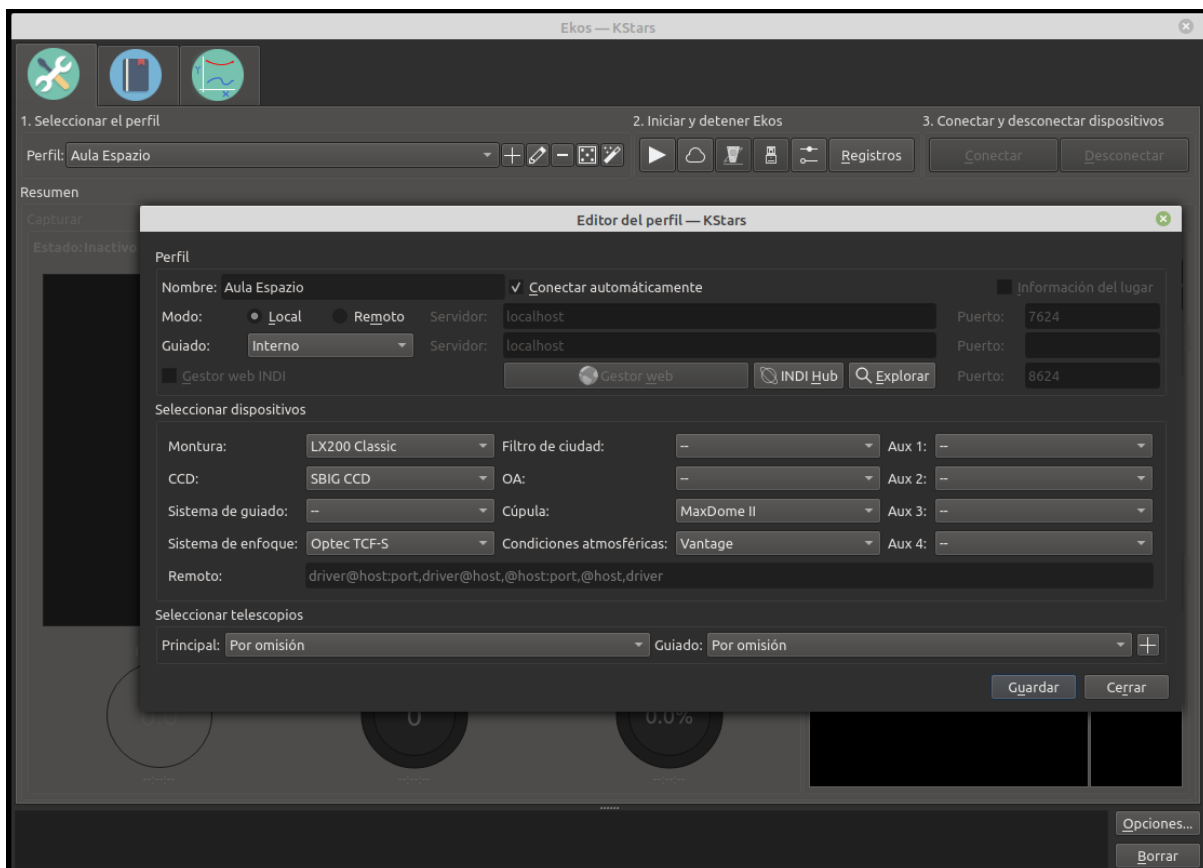


Imagen 2.12: Perfil *Aula Espazio Gela* en el entorno Ekos de KStars con todos los dispositivos conectados.

Mediante un sistema de cuerdas con los cuales obtenemos la posición del centro del observatorio, podemos calcular todos los parámetros. Para la altura, debemos encontrar el ecuador de la cúpula, y medir la altura (hacia arriba o hacia abajo) del corte de los ejes con referencia al plano ecuatorial. Tenemos los valores de los parámetros de esclavización medidos en la siguiente tabla 2.3:

³Intersección entre el eje de ascensión recta y el eje de declinación. Para las monturas germanas este punto está dentro de la misma montura.[36]

	Radio	Anchura	Norte/Sur	Este/Oeste	Altura	OTA
Parámetros (mm)	1750	1000	-50	140	10	700

Tabla 2.3: Parámetros de esclavización de la cúpula. El valor negativo del desplazamiento norte/sur indica que la montura está desplazada esa distancia hacia el sur, y en el desplazamiento este/oeste el valor positivo indica un desplazamiento hacia el este.

A pesar de tener estas medidas podemos ajustar la esclavización con un proceso de comprobación, donde llevamos la montura a situaciones límite donde la esclavización depende de un único parámetro. Este es el proceso de comprobación:[37]

1. Asegurarse de que el acimut de la cúpula y su movimiento son correctos y repetibles. En este punto debemos mover la cúpula hacia distintas posiciones para comprobar que la lectura del acimut es correcta. Para esta cúpula, se define una posición donde colocamos el origen ($A=0$) y a partir de esa posición aumenta en dirección de las agujas del reloj hasta los 360° . Debemos comprobar también que esos movimientos son repetibles, y que a un acimut concreto le toca una posición concreta, y esta no se modifica en un rango amplio.
2. Alinear la montura. Este punto no afecta a las pruebas que se realizan sin estar observando, o las que se hacen de forma manual.
3. Realizar una medida más sensible del diámetro de la cúpula.
4. Llevar la montura a la posición ángulo horario 6h y declinación 90° . Esta es la posición de alineamiento, mirando al polo con el eje del contrapeso hacia abajo. En esta posición, en la esclavización, no afectan los parámetros de desplazamiento norte/sur y OTA.
5. Ajustar el desplazamiento este/oeste hasta que el telescopio apunte por el centro de la apertura.
6. Mover la montura para que el eje del contrapeso esté horizontal y la OTA apunte hacia el sur. En esta posición los parámetros más críticos son el desplazamiento este/oeste y la distancia OTA. En el paso anterior hemos ajustado el desplazamiento este/oeste, por lo que en este caso solo debemos ajustar la distancia a OTA.
7. Repetir este proceso por el otro meridiano e iterarlo cuantas veces sea necesario para ajustar más la esclavización.
8. Apuntar el telescopio hacia el este (y después también hacia el oeste) de forma que el contrapeso quede hacia abajo. En esta posición debemos ajustar el desplazamiento norte/sur hasta que el telescopio apunte por el centro de la apertura.

De esta forma conseguimos que la cúpula y la montura funcionen de forma esclavizada, y que el telescopio pueda observar de forma óptima por la apertura de la cúpula. Entonces, con todo esto podemos decir que el observatorio ha sido automatizado y se puede controlar desde el software KStars.

Una vez automatizado el observatorio pasamos a crear distintos perfiles de observación, para poder combinar los distintos instrumentos que tenemos en el observatorio y realizar observaciones según el tipo de objeto observado, o el análisis que se quiera hacer. Los

perfiles que vamos a crear son los siguientes: un **modo imagen**, por ejemplo, para hacer fotografías de asteroides y del espacio profundo; un **modo planetario** para observar planetas del sistema solar; y, por último, un **modo espectroscopia** para realizar análisis de espectros. En la tabla 2.4 podemos ver los modos:

	Montura	Cámara		Enfocador	Cúpula	Filtro	Condiciones meteorológicas
		CCD	Sistema de guiado				
Imagen	LX200 Classic	SBIG STL-11000M	SBIG ST-7	Optec TCF-S	Sirius MaxDome	-	Vantage Vue
Planetario	LX200 Classic	DMK	-	Optec TCF-S	Sirius MaxDome	Atik EFW	Vantage Vue
Espectroscopia	LX200 Classic	SBIG ST-7	DMK	Optec TCF-S	Sirius MaxDome	-	Vantage Vue

Tabla 2.4: Combinaciones de instrumentos para crear distintos modos de observación. Cabe destacar que en el primer modo el controlador SBIG CCD corresponde a SBIG ST-7 y el controlador SBIG ST-L al SBIG STL-11000M.

Una vez tenemos todos los perfiles podemos empezar a observar, y para eso debemos lanzar Ekos y aprender de que forma se controla el observatorio desde el ordenador con el programa KStars.

2.4. Control

En esta sección vamos a explicar como se puede controlar el observatorio, sin dejar de usar el software KStars, que hemos configurado y automatizado en la sección anterior. Como sabemos, tenemos dos formas de controlar las observaciones, la primera es con un control local, esto es, estando presente en el observatorio y trabajando con el mismo ordenador, o de forma remota, trabajando desde otro ordenador.

2.4.1. Local

Para controlar el observatorio de forma local lo único que tenemos que hacer es lanzar Ekos de la misma forma que hemos visto antes, con el perfil que nos interese. Una vez hecho esto pasamos a tener un control total de los instrumentos conectados al software y es en este momento cuando se inician el protocolo INDI y el entorno Ekos.

El protocolo INDI es una herramienta en forma de librería que contiene y trabaja con todos los controladores de los instrumentos, y el entorno Ekos es una herramienta donde se crea una interfaz de usuario para usar el protocolo INDI de forma más intuitiva. Como hemos dicho antes, INDI funciona como enlace entre los instrumentos y las ordenes del usuario en el entorno Ekos.

En el control del observatorio, en muchos casos, tenemos la posibilidad de saltarnos el entorno Ekos y controlar mediante el protocolo INDI, que es más directo pero menos intuitivo. El panel de control de INDI nos ofrece muchas más opciones, por ejemplo, en el movimiento de la montura, de la cúpula y la configuración de la cámara. Esto no lo podemos hacer en todo momento, ya que a la hora de controlar la observación, la única ventana que nos ofrece un seguimiento de la misma es Ekos.

Una vez explicado la diferencia de los dos paneles de control que tenemos cuando lanzamos Ekos, vamos a ver la forma de controlar los instrumentos en cada panel. Los controles más avanzados son, para este caso, la montura, los CCDs y la cúpula, ya que ofrecen gran variedad de opciones.

Ekos

En este entorno trabajamos en la misma interfaz que vemos en la imagen 2.10, pero en el momento que se conectan los dispositivos se abren nuevas pestañas además de las tres que vemos arriba en la imagen. Estas nuevas pestañas son las que corresponden a la interfaz gráfica de los instrumentos que tenemos conectados, por lo que según el perfil y sus dispositivos, tendremos distintas pestañas disponibles. Como ejemplo de control de observatorio vamos a utilizar el perfil Aula Espazio Gela.

Con este perfil, las ventanas que se muestran están dedicadas al control de la montura, al CCD, al sistema de enfoque, a la cúpula y, por último, dos pestañas generales como el *Solver* integrado en KStars y un controlador de imágenes.

En la pestaña de la montura tenemos los datos de la apertura y la distancia focal del telescopio, y la del telescopio guía. Estos datos los podemos guardar y modificar para el caso de que se hagan observaciones con otro telescopio. Además, tenemos los datos de las coordenadas de la montura, tanto horizontales como ecuatoriales. Con lo que a control de la montura se refiere, podemos definir una nueva posición de aparcamiento y aparcar la montura, y definir los límites de movimiento. Y, por último, podemos abrir el panel de control manual que vemos en la imagen 2.11.

La pestaña que corresponde al CCD es una de las pantallas más importantes, ya que es el centro de la obtención de imágenes. En esta pestaña debemos definir las secuencias de obtención de imágenes, que se centra en el orden en los cuales queremos hacer las imágenes, de que tipo son y la configuración de la cámara para cada una de ellas. Esto se hace en “Cola de secuencias”, donde creamos una lista, con imágenes Light, flats, darks o bias, tiempo de exposición, cantidad de fotos, filtro,... Estas secuencias son muy importantes a la hora de realizar una observación, ya que Ekos necesita una secuencia para preparar una observación de cualquier astro.

En la pestaña correspondiente a la cúpula se puede controlar la posición de la apertura de la cúpula y su movimiento. También podemos activar y desactivar el modo esclavo y abrir o cerrar la apertura. Esta pestaña está compartida con el dispositivo atmosférico, y nos aporta datos meteorológicos en la ubicación del observatorio.

Por último, otra pestaña importante es la del solucionador astrométrico. Este solucionador funciona con una imagen obtenida al momento (Capturar e identificar) o con una imagen que se abra al momento, para resolverlo y mover la montura a esa posición (Cargar y mover). Este solucionador también nos ofrece un gráfico con los errores de apuntamiento de la observación, diferenciando la posición según los catálogos del objeto observado y la posición de la imagen.

Esto es lo que nos ofrece el entorno Ekos como interfaz gráfica para controlar los instrumentos del observatorio. Como sabemos, las órdenes que mandamos desde esta interfaz se conectan a los instrumentos mediante el protocolo INDI, por lo que ahora vamos a ver el control de los instrumentos directamente desde el panel de control de INDI.

Panel INDI

El panel de control de INDI es el que activamos con el botón 24 de la imagen 2.6. Los instrumentos que aparecen en este panel son aquellos que están seleccionados en el perfil que hayamos conectado, de la misma forma que ocurre con Ekos, según los instrumentos, las opciones de control que tenemos se modifican. Ahora también vamos a utilizar como ejemplo el perfil *Aula Espazio Gela*.

Desde el principio se puede ver que las opciones de configuración del control de los instrumentos es mucho mayor desde este panel, ya que en este es donde se configuran todos los detalles sobre los instrumentos y luego en la interfaz de Ekos se toma esto como información y se dejan los controles más sencillos y más directos. Cada instrumento tiene su panel independiente desglosado en distintas pestañas según la información u opciones de configuración que contienen.

En el caso de la montura tenemos las siguientes pestañas: Control principal, conexión, opciones, control del movimiento, gestor de lugares, guía, sistema de enfoque y catálogos. En las primeras tres pestañas encontramos los principales parámetros de configuración del movimiento de la montura. Para el caso de “Control principal” podemos configurar cómo seguir un objeto, mover o sincronizar, que forma de alineación utilizar y los límites del horizonte⁴ para el movimiento de la montura. Además, tenemos información de la posición de la montura en coordenadas ecuatoriales y podemos mover el telescopio a las coordenadas que le indiquemos. En las pestañas de “Conexión” encontramos las características de la conexión, como información de INDI y el puerto utilizado, y en ‘Opciones’ encontramos la información acerca del telescopio y la opción de guardar toda la configuración en la memoria y cargarla en otro momento. Esto es importante, porque si en algún momento cambiamos, por ejemplo, la posición de aparcado, debemos guardar la configuración para que se mantenga hasta volver a cambiarlo.

En pestaña de “Control del movimiento” podemos mover el telescopio de forma manual en dirección de los puntos cardinales (norte, sur, este y oeste) y configurar el índice de movimiento. En “Gestor de lugares” podemos guardar ciertos lugares de forma que sea más sencillo acudir a ellos y también podemos definir la posición de aparcamiento de la montura. En el sistema de enfoque entra en juego el enfocador que tenemos conectado. Y, por último, en “Catálogos” tenemos una serie de objetos de catálogos para observar.

En el caso del CCD tenemos las siguientes pestañas: Control principal, información general, opciones, preferencias de la imagen, guider head, información de la imagen, control del sistema de guía, WCS y rueda de filtros. En este panel la mayoría de los datos son información a cerca de la imagen que luego aparece en las cabeceras de las imágenes tipo

⁴Debe tenerse cuidado porque KStars tiene un error para la montura LX200 Classic, ya que los límites están invertidos. Por esta razón debemos configurar como límite máximo 0 y mínimo 90.

FITS, como la configuración de la cámara, con las preferencias de los fotogramas, la información a cerca del CCD (píxeles, tamaño de los píxeles...) y la temperatura de la cámara. Podemos activar el ventilador de la cámara y el refrigerador en “Control principal” para mantener o enfriar la temperatura de la cámara a una establecida por nosotros. Como con la montura, en “Opciones” podemos guardar la configuración que hayamos establecido, para que se mantenga para otra observación. En la pestaña “Guider Head” encontramos la información para la cabecera de la imagen, donde podemos ajustar el fotograma, tipo de fotograma y el binning. En la pestaña “WCS” podemos activar o desactivar el *World Coordinate System*. Para terminar, en la última pestaña encontramos una rueda de filtros, que estará activa para los CCDs que tengan una rueda de filtros integrada.

En el caso de la cúpula tenemos las siguientes pestañas: Control principal, conexión, opciones, ajustes automáticos y esclavización. En la pestaña “Control principal” encontramos las órdenes principales de movimiento que le podemos pedir a la cúpula, como abrir la apertura, girar a una posición concreta o ir a la posición *Home*. Después, en la pestaña “Conexión” tenemos que configurar la forma de conectarse con el dispositivo (puerto, velocidad,...). En la pestaña de “Opciones” es donde configuramos los parámetros del movimiento de la cúpula, donde lo más destacable es definir la posición origen de la cúpula. Cuando cambiamos el parámetro *Home Azimuth* cambiamos el valor dado a la posición de *Home* de la cúpula, pero no cambia la posición, solo se modifica el origen para que *Home* coincida con el nuevo valor establecido. En “Ajustes automáticos” podemos definir posiciones que nos interesen para guardarlas y mover la cúpula pulsando al botón correspondiente. Por último, tenemos la pestaña de esclavización, donde encontramos todos los parámetros que tenemos que introducir para una buena esclavización de la cúpula (de los cuales hablamos antes).

En el panel de las condiciones meteorológicas encontramos estas pestañas: Control principal, conexión, opciones, parámetros y gestor de lugares. En el panel correspondiente al “Control principal” podemos ver los parámetros que están activos para su análisis y ajustar el período de actualización del estado del tiempo. En “Conexión” configuramos la forma de conectarse al dispositivo, de la misma forma que en los demás instrumentos, y “Opciones” nos vale para guardar y cargar las configuraciones que hayamos llevado a cabo. En “Parámetros” es donde tenemos el valor medido de todas las variables analizadas, y su rango de peligrosidad. Este rango se ajusta para que cuando el valor medido salga de este rango suene una alarma. Y en la última pestaña debemos ajustar la ubicación del dispositivo de medición.

Y por último, tenemos el enfocador Optec, que por estar conectado nos ofrece las siguientes pestañas: Control principal, conexión, opciones, ajustes automáticos y operación. En la primera pestaña es donde tenemos todo lo que podemos hacer con el enfocador, como elegir la dirección del enfoque y los pasos. Las pestañas de “Conexión” y “Opciones” son las mismas que con los otros instrumentos. En “Ajustes automáticos” podemos guardar las configuraciones que nos interesen para ejecutarlas después. Y en la última pestaña podemos activar la telemetría y la potencia.

Con esto hemos visto como podemos controlar el observatorio mediante el panel INDI. Esta opción es más difícil de visualizar, ya que tenemos más opciones que en la interfaz más sencilla en Ekos, pero ofrece una forma más avanzada y ajustada para controlar el

observatorio.

2.4.2. Remoto - INDI Web Manager

Antes de empezar describiendo esta forma de controlar el observatorio, debemos destacar que no incluimos las conexiones de ssh o de escritorio remoto que han sido explicadas anteriormente. En este apartado queremos crear conexión remota desde un KStars en un ordenador al KStars del ordenador del observatorio.

Esta parte es indispensable si se quiere utilizar el software KStars en un ordenador con sistema operativo Windows, ya que el protocolo INDI no es soportado en este sistema operativo y, por eso, no se puede utilizar un ordenador Windows como local, y es necesario hacer uso de servidor web de INDI Manager para conectar los dispositivos. A pesar de esto, este tipo de control remoto también es útil con otros sistemas operativos, para poder conectarnos desde otra ubicación con KStars.

Lo primero que debemos hacer para poder utilizar KStars de forma remota es iniciar INDI Web Manager en el ordenador local ejecutando el comando `indi-web -v tal y como vimos al explicar como se instalaba el programa. Acto seguido debemos abrir el servidor en la web en la dirección 8624. Con esto ya tenemos activado el servidor web de INDI.`

Ahora, en el servidor debemos crear un perfil que incluya los dispositivos que están conectados al ordenador (por ejemplo el de la imagen 2.4), e iniciar el servidor pulsando “Start”. En este momento es cuando nuestro observatorio está en un servidor web en la cual nos podemos conectar desde un KStars remoto usando la dirección IP del observatorio.

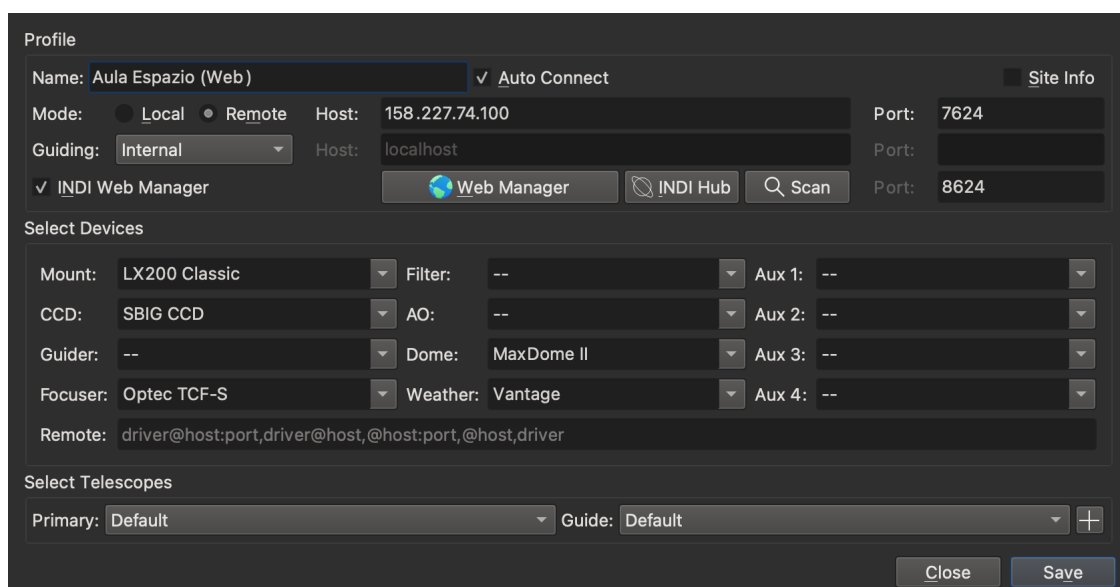


Imagen 2.13: Perfil de Ekos creado para una conexión remota a un servidor INDI en la dirección 158.227.74.100.

Debemos preparar el KStars remoto para conectarse a ese servidor que hemos creado.

Primero debemos crear un perfil en el administrador de dispositivos que funcione como cliente con el puerto que activamos en INDI Web Manager (7624 en la imagen 2.4) y la dirección IP. Después debemos abrir Ekos y crear un nuevo perfil (imagen 2.13), con modo remoto e INDI Web Manager activados. Debemos seleccionar los dispositivos del perfil y escribir la dirección IP de la conexión. Una vez hecho esto, debemos lanzar Ekos de la misma forma que si lo estuviéramos controlando de forma local. El control posterior del observatorio también es el mismo, con los paneles de INDI y el entorno Ekos.

2.5. Preparación de una observación

Una vez automatizado el observatorio y sabiendo como se puede controlar mediante KStars, podemos pasar a la siguiente fase, que es la de programar sesiones de observación. KStars tiene herramientas que nos ayudan a realizar estas programaciones, como crear listas de deseos y listas de observación, con herramientas como “What’s up Tonight”.

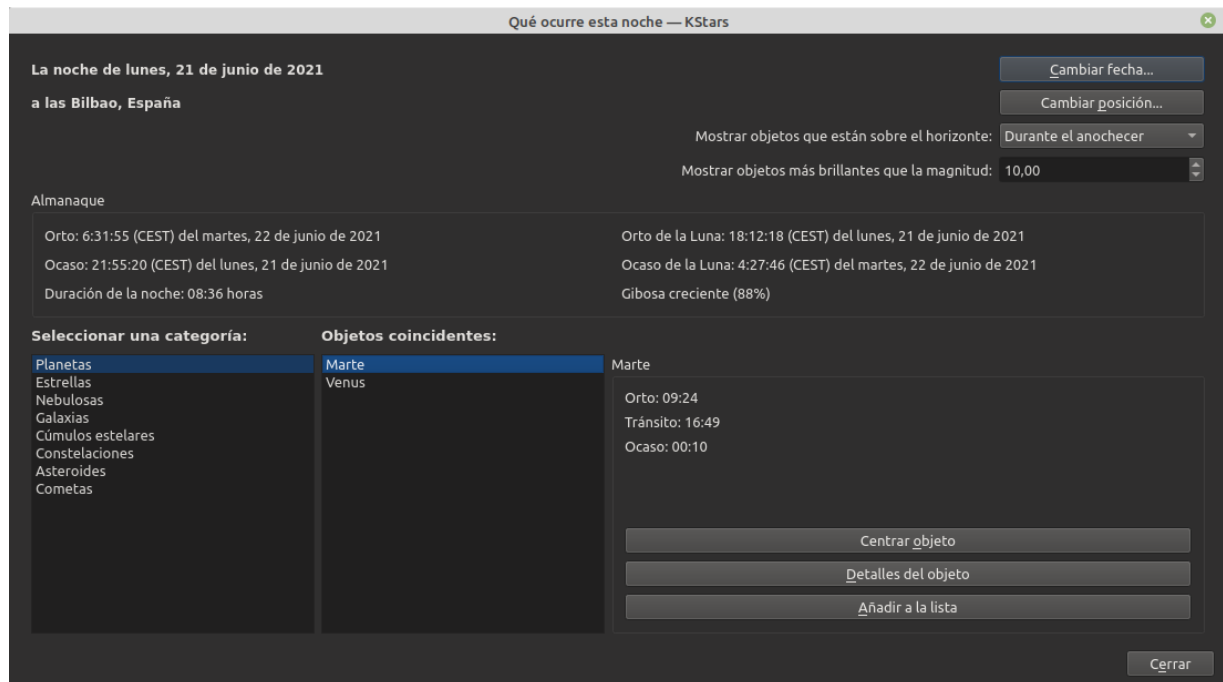


Imagen 2.14: Ventana de la herramienta proporcionada por KStars donde podemos encontrar distintos objetos astronómicos observables desde nuestra ubicación en la fecha actual. Esta imagen está tomada el 21 de junio de 2021, por lo que los objetos observables cuando estés leyendo esto, puede que sean diferentes.

En la imagen 2.14 podemos ver como se pueden ver los objetos observables mediante esta herramienta que estamos comentando. Contiene objetos como planetas, estrellas, nebulosas, asteroides... que identifica como categoría, y según la categoría seleccionada tenemos distintos objetos que pueden ser observados esta misma noche.

Esto va a ser importante porque a la hora de programar una observación, KStars identifica entre dos tipos de listas con distinta finalidad. La primera es una lista de deseos en la cual se introducen todos los objetos que quieras observar en un futuro, que es conocida

como “Lista de deseos”. La segunda es una lista donde los objetos que se incluyen formarán parte de la siguiente sesión de observación y tiene el nombre de “Plan de la sesión”.

2.5.1. Lista de deseos

KStars tiene tres opciones para incluir objetos en la lista de deseos. Por un lado, se puede realizar una búsqueda general con el nombre del objeto, y por otro existe un asistente de búsqueda que nos guía para que ajustemos ciertos parámetros y que el programa vaya filtrando los objetos que no cumplan nuestros parámetros. Al final, los objetos que hayan pasado todos los filtros se añadirán automáticamente a la lista. Y por último, tenemos la opción de la herramienta “What’s up Tonight”, la cual nos aporta objetos visibles en la actualidad, pero cambiando la fecha a una futura podemos encontrar otros objetos.

Una lista de deseos que hemos creado en KStars es la que podemos ver en la imagen 2.15. En esta imagen podemos ver que cada objeto tiene a su lado un gráfico de altitud vs tiempo para la fecha actual, por lo que podemos ver en cada objeto la altitud durante el día, para pasarla a la sesión de observación o descartarla de la siguiente sesión.

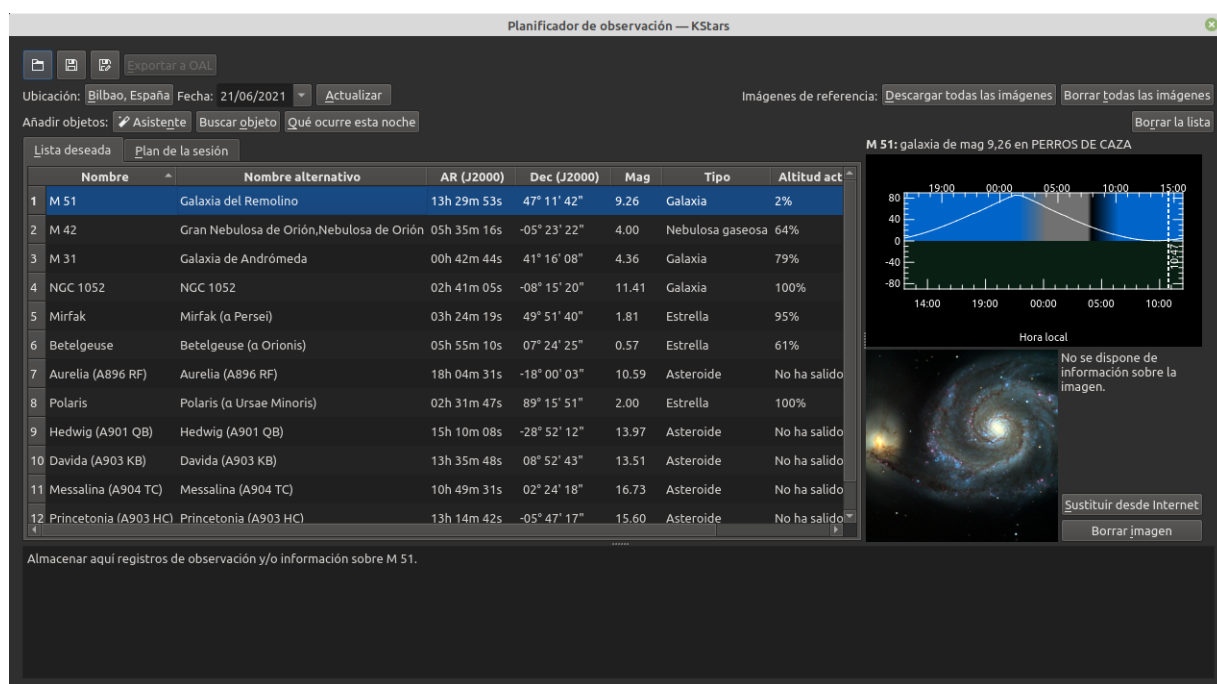


Imagen 2.15: Lista de objetos con interés de observación en algunas sesiones futuras.

Una vez todos los objetos interesantes están en la lista, se debe realizar un plan de la sesión con los objetos que sean observables el día de la observación.

2.5.2. Plan de la sesión

Para incluir objetos astronómicos en el plan de la sesión se pueden pasar directamente desde la lista de deseo con el menú adjunto que sale pulsando al botón derecho del ratón.

Se pueden pasar uno a uno o añadir todos los objetos observables esta misma noche. A pesar de esta opción, también podemos incluir objetos que no estén en la lista de deseos, haciendo uso del buscador de objetos por nombre o utilizando la herramienta “What’s up Tonight”.

2.5.3. Ejecución de la observación-Ekos

Una vez tenemos el plan de la sesión debemos ejecutarla. Una de las opciones es ir observando manualmente todos los objetos que estén en el plan de la sesión en el menú Observación (Ejecutar plan de observación). Esta herramienta nos ofrece un seguimiento del plan de la sesión donde podemos añadir detalles a cerca de la observación. Aún así, otra forma interesante es preparar el software KStars para que haga las observaciones de forma automática. Para esto tenemos que entrar en la herramienta Ekos.

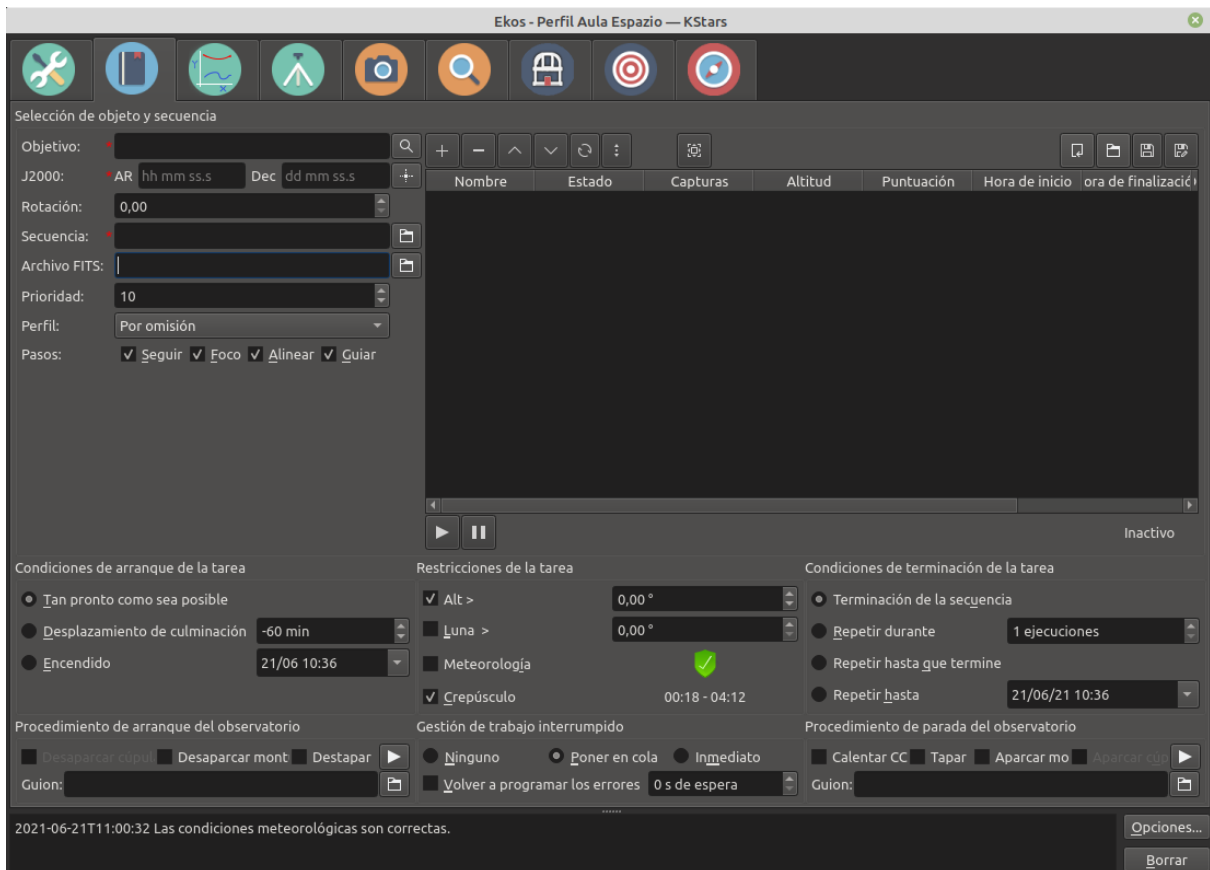


Imagen 2.16: Pestaña de selección de objetos que vamos a observar en la sesión.

En la imagen 2.10, debemos entrar en la segunda pestaña que corresponde, como hemos dicho antes, a los objetos que vamos a observar en la sesión y las selección de secuencias de observación (imagen 2.16). Las secuencias de observación son un tipo de archivo que contiene la información del tipo de imágenes que debe hacer la cámara, los parámetros principales de la imagen, como el tiempo de exposición, tipo de filtro, y en que orden debe realizarlas. En el próximo capítulo hablaremos más en profundidad de los distintos tipos de imágenes que se deben realizar en una secuencia de observación para el tratamiento posterior de la imagen, pero como ejemplo una secuencia podría contener una imagen tipo

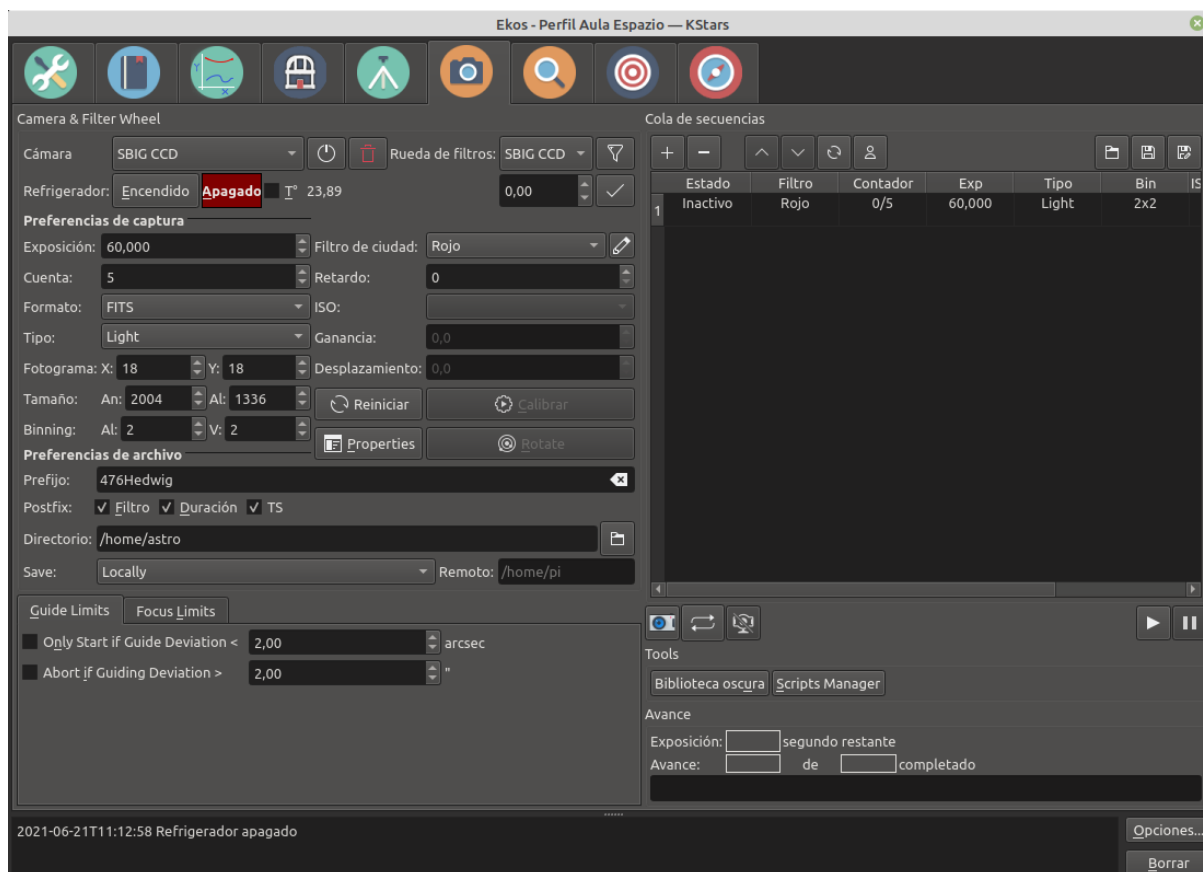


Imagen 2.17: Pestaña que corresponde al CCD en el entorno gráfico de la herramienta Ekos.

flats, luego light y por último dark, cada uno con las características correspondientes al tipo de imagen.

Para añadir un objeto a la lista podemos hacerlo desde las listas anteriormente creadas, o mediante una búsqueda al momento. Para validar la observación, Ekos necesita incluir al plan de observación de Ekos una cola de secuencias, además de las condiciones de arranque de la tarea, las restricciones de la tarea y las condiciones en las cuales la tarea se da por finalizada.

Para crear una secuencia de observación debemos ir a la pestaña de CCD en Ekos, el que vemos en la imagen 2.17 y completar los parámetros que tenemos ahí para hacer una secuencia. Cada secuencia que hagamos se guardará en la cola de secuencias, hasta que hayamos terminado con todo. Una vez terminado, para poder utilizar esta secuencia para otras observaciones debemos guardarla en el ordenador. De esta forma ya tenemos una secuencia creada para nuestra observación.

Después de haber creado la secuencia podemos añadir el objeto a la sesión, con sus correspondientes condiciones de observación. Podemos añadir a esta lista todos los objetos que queramos que el programa observe, y cuando llegue la hora que hemos indicado para iniciar empezará con la observación, siempre y cuando las condiciones de observación sean óptimas.

Capítulo 3

Análisis de datos astronómicos

En este capítulo asumimos que hemos ejecutado el plan de observación y hemos realizado las observaciones de los objetos astronómicos. En este momento empezamos con un proceso donde trabajamos con las imágenes obtenidas para poder extraer toda la información posible de ellas. Este proceso consta de procesar las imágenes para corregir todas las imperfecciones, astrometrizarlas para que contengan todos los parámetros para identificarlas, y, por último, hacer el análisis científico con ellas, ya sea haciendo fotometría, espectroscopia o otro tipo de tareas.

En las siguientes secciones vamos a explicar el trabajo que realizamos en el tratamiento de las imágenes y su posterior análisis.

3.1. Procesado

Las imágenes obtenidas en una noche de observación, sin tratamiento alguno, contienen ruido, bien por el fondo, o por los mismos instrumentos que utilizamos, por ejemplo por la temperatura. Estas imágenes también suelen tener viñeteos, manchas procedentes del sensor... Para arreglar este tipo de errores tomamos distintos tipos de imágenes que se conocen como los siguientes: Lights, Flats, Darks, Bias y Dark Flats. En el procesado de imágenes se usan cada una de estas (aunque principalmente se necesitan las imágenes lights, flats y darks) para hacer combinaciones y correcciones en la imagen astronómica.

Light

Este tipo de imágenes son los más importantes, ya que contienen toda la información astronómica. Las imágenes lights, también conocidas como “Ciencia”, serían las imágenes que hayamos obtenido del objeto observado. Todos los demás tipos de imágenes se utilizan para mejorar la calidad de estas. Esta calidad se mide mediante la proporción señal ruido. Cuando mayor sea esta proporción de mayor calidad será la imagen que obtenemos y los resultados obtenidos en el análisis científico.

Para aumentar la calidad de la imagen final se hace la cantidad más elevada posible de imágenes light en la observación para apilarlas en una única imagen, este proceso es conocido como *Stacking* de imágenes light. En un caso ideal, la proporción señal ruido

incrementa con el cuadrado del número de imágenes [38]. Esto implica la necesidad de usar una gran cantidad de imágenes para mejorar el resultado.

Este es el tipo de tratamiento que podemos hacer para mejorar una imagen de tipo light, sin ningún otro tipo de procesado, quitándole el ruido aleatorio de las imágenes originales.

Dark

Este tipo de imágenes son obtenidos con la cámara tapada, en oscuridad. Como hemos comentado antes, la temperatura de la cámara puede generar señales pequeñas que son detectadas por el sensor. Estas señales no llevan ninguna información y solo funciona como ruido térmico en la imagen obtenida. En las imágenes darks obtenemos estos efectos sin ninguna información más, y se restan a la imagen light para eliminar estos efectos térmicos en la imagen final.

Para obtener las imágenes de tipo dark se debe utilizar la misma cámara que se ha utilizado para obtener las imágenes astronómicas, con la misma configuración de temperatura, tiempo de exposición y ganancia electrónica si la hubiera. Las imágenes que se toman se juntan para prevenir efectos estadísticos, y entonces el dark que utilizamos para eliminar el ruido térmico es una media de todos los obtenidos.[38]

Flats

Este tipo de imágenes se utilizan para compensar la distribución inhomogénea del brillo en las imágenes producidas por el viñeteo de las lentes, y al mismo tiempo también sirven para eliminar las manchas que puedan haberse quedado en la lente y que producen manchas en la imagen obtenida.[38]

Para obtener este tipo de imágenes, la cámara debe estar homogéneamente iluminada. En el Observatorio esto se puede conseguir mediante una pantalla o, con más frecuencia, utilizando el cielo crepuscular con tiempos de exposición adecuados para evitar saturaciones.

En procesamiento de imágenes astronómicas estos tres anteriores son los que más importancia tienen, y los que principalmente forman parte del *Stacking* de una imagen, como vemos en la imagen 3.1. Apilando las imágenes lights, con el máster dark que obtenemos apilando todos los darks y con los flats eliminamos la mayoría del ruido y errores de detección.

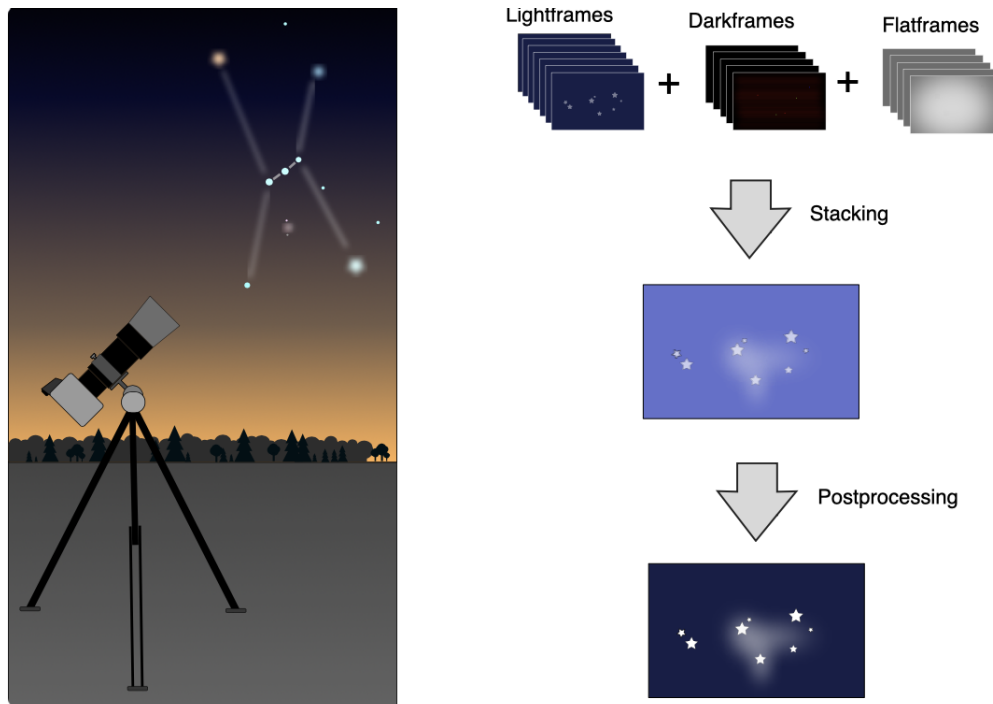


Imagen 3.1: Proceso de tratamiento de imágenes para obtener mayor calidad.[38]

Aún así, hay otros dos tipos de imágenes que se pueden tomar para mejorar más la calidad de la imagen resultante.

Bias

Este tipo de imágenes se usan para eliminar el ruido producido por los errores de lectura de la cámara. Las cámaras suelen tener un error de lectura cuando leen los píxeles de los sensores, y esto produce que en la imagen tengamos píxeles que no contienen la información correcta.

Para obtener estas imágenes es necesario hacerlo en completa oscuridad, para que la única información que tengamos sea producida por el sensor y la lectura de la cámara. La diferencia con los Darks es que estos deben ser tomados con un tiempo de exposición lo más corto posible (idealmente nulo), para que no exista ningún ruido térmico.[39]

Dark Flats

Este tipo de imágenes son útiles para los flats que se hacen con un tiempo de exposición relativamente corto, ya que el ruido térmico afecta en la lectura de estos.[40] Por lo tanto, se hacen imágenes darks para estos flats y de esta forma eliminar ese ruido térmico generado por el tiempo de exposición largo.

Apilando todas es cuando procesamos las imágenes y obtenemos una imagen final de mayor proporción señal-ruido, y por lo tanto, de mayor calidad.

3.1.1. Alternativas

En esta sección vamos a especificar las distintas opciones que tenemos a mano para llevar a cabo este proceso de tratamiento de imágenes desde el propio ordenador de control del observatorio. Vamos a trabajar con softwares de procesamiento gratuitos y que nos permita hacer la mayoría de procesamiento posible. El programa que vayamos a usar debe ser capaz de realizar al menos el proceso que vemos en la imagen 3.1, para poder apilar imágenes entre ellas.

En este proyecto hemos trabajado con dos tipos de software para hacer el procesamiento de las imágenes: AstroImageJ ([41]) y ASTAP (Astrometric STacking Program, [42]). Cabe destacar que existen muchas más opciones, como DeepSkyStacker ([43]), que cumple con las condiciones de procesamiento de imágenes que hemos comentado, pero a la hora de hacer análisis de imágenes los dos programas de antes nos aportan más información y más posibilidades que esta, como por ejemplo, a la hora de hacer fotometría, tal y como veremos en los siguientes apartados.

	Stacking	Velocidad	Gratuito	Análisis	Multi-plataforma
AstroImageJ	✓	✗	✓	✓	✓
ASTAP	✓	✓	✓	✓	✓
DeepSkyStacker	✓	✓	✓	✗	✗

Tabla 3.1: Distintas alternativas para el procesamiento de imágenes. Con el parámetro de “Velocidad” buscamos la posibilidad de procesar gran cantidad de imágenes a la vez, apilándolas al mismo tiempo de forma directa y sencilla. Y con el parámetro “Análisis” buscamos programas que nos puedan ofrecer más opciones de investigación después del apilado.

Como vemos en la tabla de comparaciones 3.1 el software mejor valorado para nuestro uso es ASTAP ya que nos ofrece, como veremos después un Stacking sencillo, intuitivo y veloz comparado con los demás. Los tres programas son gratuitos pero solo AstroImageJ y ASTAP tienen soporte en distintos sistemas operativos, habiendo sido probados en este proyecto en un Linux, windows y macOS. En cambio, DeepSkyStacker solo tiene soporte en windows.

AstroImageJ no es tan veloz como los otros dos, ya que el apilado se realiza imagen a imagen con las imágenes que tienes seleccionadas, pero el resultado es el mismo.

3.1.2. Software

En este apartado vamos a ver las características de los dos programas que hemos seleccionado para el tratamiento de imágenes astronómicas y después explicaremos el funcionamiento de cada uno para dar ejemplos en la siguiente sección.

ASTAP

ASTAP es un software libre de apilado y solucionador astrométrico para las imágenes del espacio, pero en este momento solo nos vamos a centrar en la forma en la cual po-

demostramos hacer tratamiento de imágenes. Este software también tiene un lector y editor de cabeceras de imágenes FITS. Vemos en la imagen 3.2 en que forma muestra el programa ASTAP una imagen que hemos abierto, la del asteroide Aurelia, una imagen obtenida en las observaciones realizadas por Danel Madariaga para su Trabajo Fin de Máster [2].

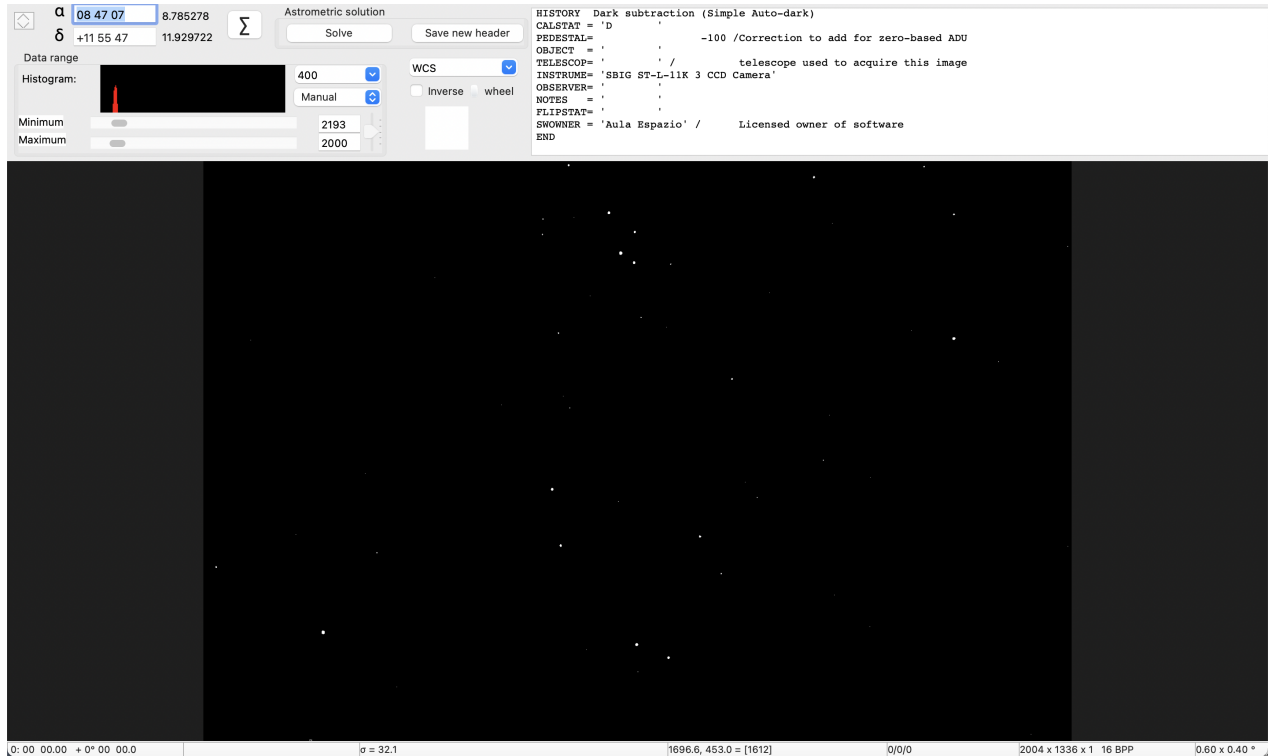


Imagen 3.2: Escritorio principal del software ASTAP donde tenemos una imagen abierta del asteroide 419Aurelia.

Para empezar con el proceso de tratamiento de la imagen debemos abrir la ventana principal de *Stack* de ASTAP, que se hace mediante el botón de sumatorio de la imagen 3.2. Después se nos abrirá una nueva ventana que podemos ver en la imagen 3.3 donde ya podemos hacer todo el análisis que queramos hacer.

En esta nueva ventana podemos elegir entre distintas pestañas que podemos seleccionar en la parte superior de la pantalla: Lights, Darks, Flats, Flat Darks, Results, Stack method, Alignment, Blink, Photometry, Inspector, Live stacking, Pixel math 1 y Pixel math 2. Para hacer el tratamiento de las imágenes únicamente nos van a interesar las primeras 6 pestañas.

En la pestaña de *Lights* debemos incluir las imágenes astronómicas (las de tipo light) que queramos tratar. Debemos añadir todas las imágenes del mismo campo de visión y al final “Analizar” las imágenes para leer las cabeceras e identificar las características de estas, del mismo modo que vemos en la imagen 3.3. De esta forma tenemos todas las imágenes que nos interesan ordenados por sus características principales y nos faltaría añadir las de corrección.

Para añadir las imágenes de corrección debemos atender a las siguientes tres pestañas (Darks, Flats y Flat Darks). Como hemos comentado antes, no es necesario añadir ningún Flat Dark para tratar las imágenes, pero sí las correcciones de Darks y Flats. Al añadir las imágenes también debemos analizarlas antes de ejecutar *Stack*, para que el software identifique con qué tipo de imagen está trabajando y que características tienen.

Una vez añadidas todas las imágenes y habiéndolas analizado, debemos elegir el método en el cual queremos que el software las apile. Esto se hace en la pestaña de *Stack method* donde podemos configurar los parámetros de apilado según el tipo de apilado que escojamos entre los siguientes: Average, Sigma clip average, Image stitching mode, Calibration & alignment only o Calibration only. “Image stitching mode” es un modo de apilar en el cual se combinan las imágenes para obtener una imagen panorámica o de alta resolución.

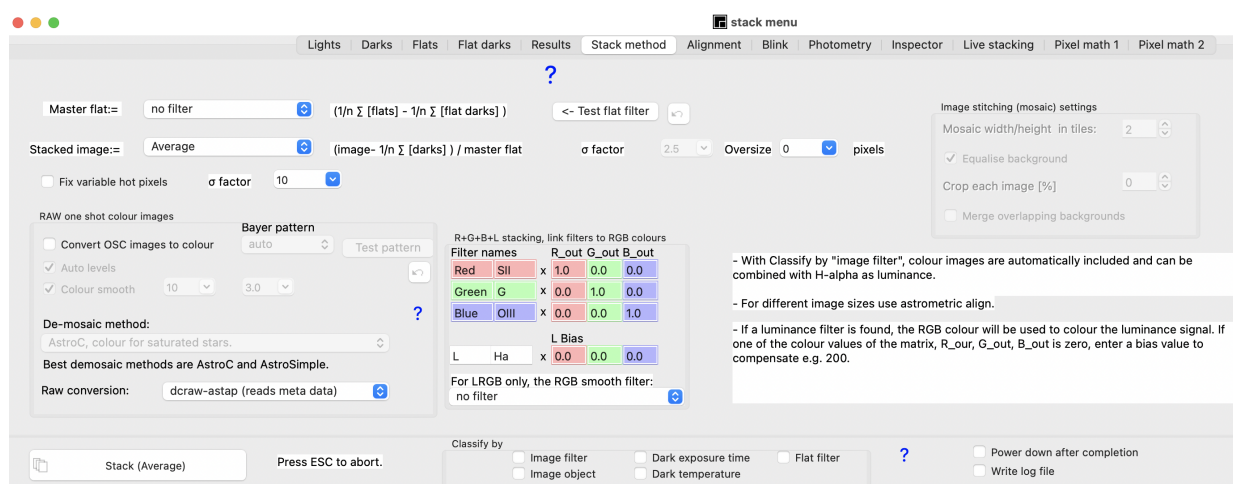


Imagen 3.4: Pestaña para configurar el apilado en el software ASTAP.

Además de esto también para el caso en el cual las imágenes que tengamos sean con filtros distintos, y queramos darle color a la imagen final, podemos editar el apilado para darle un color a cada imagen con un filtro concreto. Una vez configurado todo a nuestro gusto, debemos ejecutar el botón *Stack* inferior y veremos una línea de respuestas, como en la imagen 3.3, donde se nos informa lo que está haciendo y el final.

AstroImageJ

El programa AstroImageJ es un programa basado en las herramientas que ofrece ImageJ en el campo de tratamiento de imágenes pero dirigido al campo de imágenes astronómicas. Contiene la mayoría de ajustes de ImageJ, por lo que podemos hacer fotometría, y además está optimizado para trabajar con imágenes astronómicas y poder extraer ruido de ellas.

En la imagen 3.5 vemos la ventana en la que tenemos la herramienta para el procesamiento de datos del CCD, dentro del menú “Procesado”. En esta ventana debemos seleccionar las imágenes en cada parte correspondiente para que al ejecutar el software procese los datos de manera correcta.

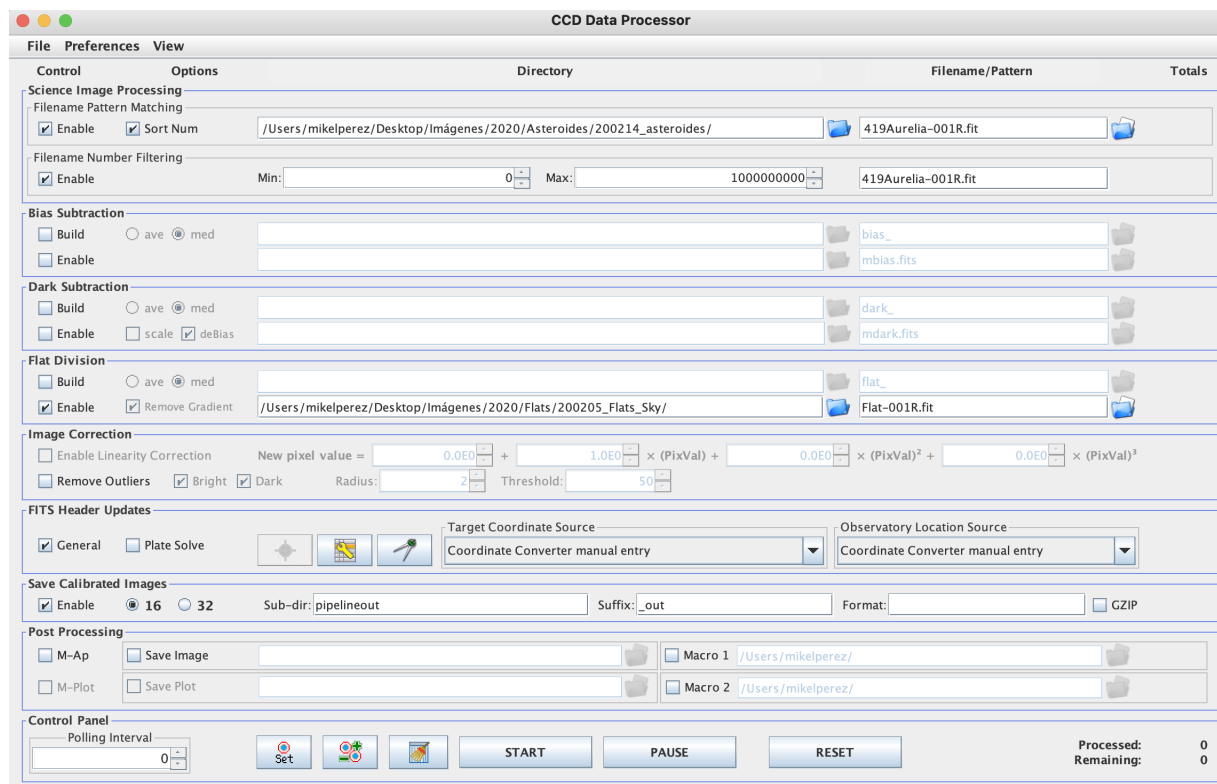


Imagen 3.5: Herramienta para extraer flats, darks y bias de la imagen original en AstroImageJ.

A la hora de seleccionar nuestras imágenes de sustracción tenemos dos opciones de tratamiento. La primera opción nos permite construir un máster bias, máster dark o un máster flat con un serie de archivos que carguemos al programa. La segunda opción que tenemos es la de permitir el procesado con una única imagen que carguemos al programa, y este sería el equivalente al máster flat, dark o bias anterior. Cabe destacar que cada uno funciona de forma independiente, esto es, podemos construir un máster flat, y al mismo tiempo, permitir el uso de un único archivo dark.

3.1.3. Ejemplo

En el apartado anterior hemos hablado sobre el software de tratamiento de imágenes AS-TAP, y en este apartado vamos a completar la explicación con un ejemplo con imágenes reales del observatorio, realizadas en una observación por Danel Madariaga en su Trabajo Fin de Máster ([2]). Vamos a trabajar con las imágenes del asteroide Aurelia (A896 RF) que tenemos en la lista de deseos (imagen 2.15).

Para el tratamiento de las imágenes de este asteroide vamos a utilizar las imágenes de tipo Flats de la misma fecha de observación. En cambio, no tenemos que realizar ningún tratamiento de tipo Dark, porque el software de la cámara ya realiza esta acción automáticamente. En la imagen 3.6 podemos ver las dos imágenes que vamos a utilizar para realizar el procesado de la imagen. Podemos observar que en ambas imágenes hay ruido de las manchas provenientes de la lente, además de la distribución inhomogénea del brillo que hemos comentado antes.

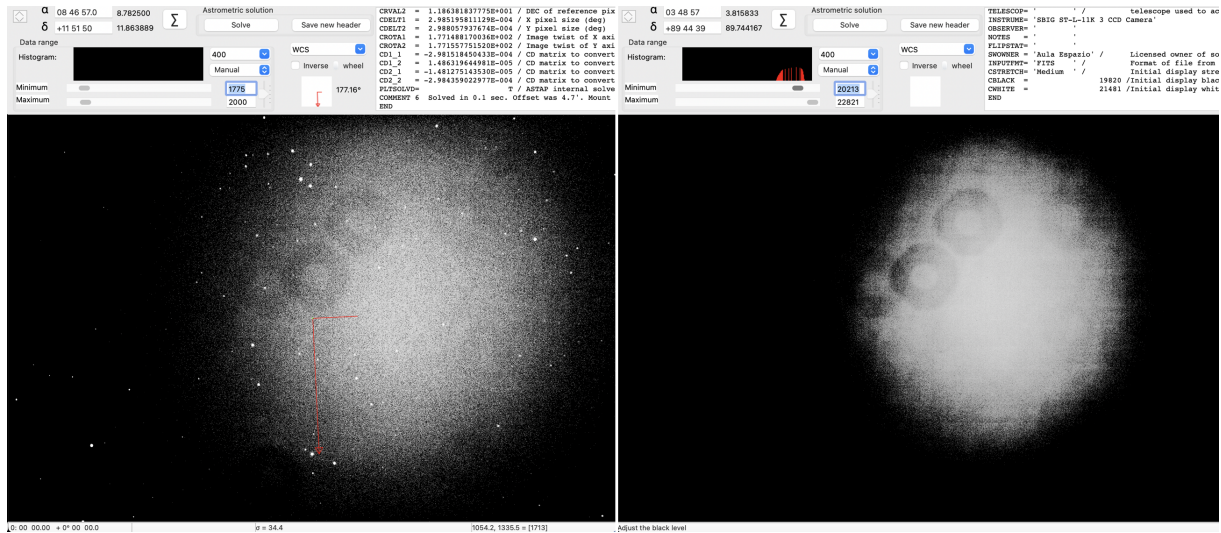


Imagen 3.6: Imagen del asteroide Aurelia sin tratar a la izquierda y el flat a la derecha.

Para solucionar estos problemas vamos a cargar todas las imágenes del asteroide con el mismo filtro en la ventana *Lights* de ASTAP y todas las imágenes tipo flats del mismo filtro (las imágenes astronómicas y los flats deben haber sido realizadas con el mismo filtro). Añadiendo todas las imágenes también realizamos un apilado automático, eliminando el ruido aleatorio. Para que el apilado sea preciso y no queden errores, es recomendable utilizar el *Solver* integrado de ASTAP con las imágenes de la lista (como vemos en la lista de la imagen 3.3) y guardar la solución en la cabecera antes de analizar las imágenes de la lista. Haciendo esto, las imágenes quedan astrometrizadas (en la próxima sección explicaremos otro programa para este proceso). Ejecutando el programa obtenemos la imagen corregida que vemos abajo (imagen 3.7).



Imagen 3.7: Imagen corregida del asteroide Aurelia mediante ASTAP y visualizada por el visor de FITS de KStars, usando la imagen y flat de la imagen 3.6.

3.1.4. Comparación

Como vemos en la imagen aportada como solución (el resultante de la substracción de los flats y el apilado) las manchas de la lente y la distribución irregular del brillo han sido extraídas, y con el apilado realizado el ruido aleatorio también. Por lo tanto, se puede empezar a analizar esta imagen del asteroide.



Imagen 3.8: Imagen corregida del asteroide Aurelia por Danel y visualizada por el visor de FITS de KStars.

Además, podemos comparar nuestra imagen solución con la imagen tratada para el TFM de Danel Madariaga, que podemos ver en la imagen 3.8. En la comparación observamos que las dos imágenes son similares entre ellas por lo que independientemente del método utilizado obtenemos imágenes correctamente tratadas.

3.2. Astrometría

Astrometrizar las imágenes obtenidas durante la observación es un proceso importante para su posterior análisis. Con este proceso obtenemos las posiciones de las estrellas que aparecen en la imagen astronómica. De esta manera podemos identificar las estrellas que forman parte de la imagen mediante su posición. Normalmente, los softwares que trabajan en astrometrizar una imagen suelen repasar una a una imágenes de sus bases de datos que cubren todo el cielo, hasta encontrar coincidencias con nuestra imagen.

3.2.1. Alternativas

Como hemos visto en el capítulo anterior KStars tiene un solver integrado, que astrometriza las imágenes obtenidas que funciona por defecto con Astrometry.net ([44]), ya que

astrometry.net está incluido en la librería INDI. Aún así, se puede configurar KStars para poder trabajar con aplicaciones externas como ASTAP, para el cual ya hemos visto el procedimiento para la astrometrización.

En este proyecto, en lo que respecta a la astrometría, hemos utilizado astrometry.net, ya que funciona también en la terminal de Linux. Este software crea líneas de unión entre estrellas para crear figuras geométricas reconocibles en las imágenes de su base de datos y compara estas figuras en ellas para poder encontrar coincidencias. Además, astrometry.net devuelve gran cantidad de información, por ejemplo, acerca de la posición de los objetos, dimensiones de la imagen, y las estrellas y las formas geométricas detectadas.

Aún así, vemos que ASTAP también es una opción viable para la astrometrización de las imágenes, donde cargando la imagen y pulsando “Solve” en la imagen 3.2 astrometriza la imagen y guarda los datos en la cabecera.

	Solver	Por defecto en KStars	Gratuito	Multiuso
Astrometry.net	✓	✓	✓	✗
ASTAP	✓	✗	✓	✓

Tabla 3.2: Distintas alternativas para la astrometrización de las imágenes. Mediante el parámetro “Multiuso” queremos indicar los programas analizados que podemos utilizar para más tareas en el análisis de datos astronómicos.

Además de las opciones expuestas aquí (tabla 3.2), existen muchas otras alternativas más, pero en este trabajo nos hemos centrado en astrometry.net por haber sido usado anteriormente y ASTAP, por ser un programa completo que usamos también en el tratamiento de imágenes.

3.2.2. Software

El software de astrometrización Astrometry.net debe ser instalado de forma independiente de KStars. Una vez instalado Ekos utiliza esta herramienta para realizar unos apuntados muy precisos mediante el reconocimiento del campo de visión en catálogos internos que también deben ser descargados. [45]

Para instalar este software debemos abrir la terminal del ordenador y ejecutar la siguiente línea de comandos:

```
sudo apt-get install astrometry.net
```

Ejecutando esto descargamos el programa que necesitamos para astrometrizar las imágenes, pero no las imágenes de los catálogos que utiliza el programa para las comparaciones. Para descargar los catálogos correctos se debe tener en cuenta el campo de visión (Field of View o FOV medido en arco-minutos) de nuestra cámara. Para una correcta astrometrización, la condición principal en [45] es que debemos cubrir del 100% al 10% de nuestro FOV. Para el caso de la cámara del observatorio, el campo de visión es de unos 30arcmin por lo que debemos descargar todos los ficheros desde los 3arcmin hasta 30arcmin en la

imagen 3.9.

Index Filename	FOV (arcminutes)	Debian Package
index-4219.fits	1400 - 2000	astrometry-data-4208-4219
index-4218.fits	1000 - 1400	
index-4217.fits	680 - 1000	
index-4216.fits	480 - 680	
index-4215.fits	340 - 480	
index-4214.fits	240 - 340	
index-4213.fits	170 - 240	
index-4212.fits	120 - 170	
index-4211.fits	85 - 120	
index-4210.fits	60 - 85	
index-4209.fits	42 - 60	astrometry-data-4207
index-4208.fits	30 - 42	
index-4207-*.fits	22 - 30	astrometry-data-4207
index-4206-*.fits	16 - 22	astrometry-data-4206
index-4205-*.fits	11 - 16	astrometry-data-4205
index-4204-*.fits	8 - 11	astrometry-data-4204
index-4203-*.fits	5.6 - 8.0	astrometry-data-4203
index-4202-*.fits	4.0 - 5.6	astrometry-data-4202
index-4201-*.fits	2.8 - 4.0	astrometry-data-4201-1 astrometry-data-4201-2 astrometry-data-4201-3 astrometry-data-4201-4
index-4200-*.fits	2.0 - 2.8	astrometry-data-4200-1 astrometry-data-4200-2 astrometry-data-4200-3 astrometry-data-4200-4

Imagen 3.9: Los ficheros que contienen los catálogos para astrometry.net. [45]

Después de descargar todos los archivos debemos desempaquetarlos y guardarlos en el directorio `/usr/share/astrometry`:

```
sudo dpkg -i astrometry-data-*.deb
```

De esta forma ya tenemos `astrometry.net` preparado para resolver las imágenes que carguemos en el programa y astrometrizarlos. El proceso para resolver cualquier imagen es el mismo, y es sencillo, únicamente tenemos que escribir en la terminal una línea de comandos que contenga la información de todo lo que queramos que haga el programa.

```
solve-field [options] [<image1><image2>...] [<xyls-file1><xyls-file2>...]
```

Esta es la forma general de la línea de órdenes que tenemos que escribir para resolver una imagen. En “opciones” se pueden añadir gran cantidad de parámetros para ajustar las órdenes al programa y los datos que nos devuelve como solución. Todas las opciones que podamos utilizar aparecen en `solve-field -help`. Acto seguido tenemos que escribir el nombre de la imagen que queremos astrometrizar y, por último, el nombre de los ficheros de los catálogos de comparación que queremos que el programa repase. Aún así, en el caso de que no pongamos ninguna imagen de referencia, el programa repasará toda su base de datos hasta encontrar coincidencias.

3.2.3. Ejemplo

En el apartado anterior hemos hablado del software de astrometrización Astrometry.net, y ahora, en este apartado vamos a ver un ejemplo de la forma en la cual funciona el software con las imágenes que queramos resolver. Para esto vamos a utilizar las imágenes obtenidas en el Trabajo Fin de Máster de Danel Madariaga [2]. Vamos a trabajar con las imágenes del asteroide Aurelia (A896 RF) que tenemos en la lista de deseos (imagen 2.15).

Se puede realizar esta astrometrización con imágenes que ya hayan sido tratadas, una vez apiladas, o astrometrizar todas las imágenes del mismo objeto para que luego el apilado tenga más información y de esta forma sea más preciso. Este último sería un apilado astrométrico, y es el método de apilado más preciso y recomendable para su posterior análisis. Por esta razón, vamos a utilizar las imágenes obtenidas, y sin apilar, del asteroide para el ejemplo de astrometrización.

Si la imagen para analizar es 419Aurelia-001R.fit la forma más sencilla de astrometrizar una imagen es mediante el siguiente comando:

```
solve-field 419Aurelia-001R.fit
```

De esta forma el software compara esta imagen con todas las imágenes de su base de datos hasta encontrar coincidencias. Como resultado obtenemos en el mismo directorio de la imagen la imagen astrometrizada, con otra serie de resultados comentados antes. También podemos restringir los datos de los resultados haciendo uso de opciones que nos proporciona el mismo programa. Esta sería otra forma de realizar la astrometrización:

```
solve-field -OpN 419Aurelia-001Rsolved.fits 419Aurelia-001R.fit
```

donde la opción “O” permite resolver una imagen previamente resuelta (Overwrite), “p” no crea ningún tipo de gráficos con las soluciones, y “N” nos permite escribir el nombre de la imagen astrometrizada. A partir de este punto, existen más opciones que se pueden utilizar según los intereses del usuario.

3.2.4. Comparación

En este apartado vamos a comparar las imágenes astrometrizadas mediante el nuevo sistema de astrometrización (ASTAP y astrometry.net) y las imágenes ya astrometrizadas del Trabajo Fin de Máster de Danel [2]. En este, las medidas de las coordenadas celestes de los astros se obtienen mediante el programa *PinPoint*. Para comparar los resultados de la astrometrización de las imágenes vamos a utilizar el visor de imágenes FITS de KStars.

Para la comparación vamos a utilizar el asteroide Aurelia, marcado en la imagen 3.10, y además vamos a escoger una estrella de la imagen y guardar la posición aportada por DS9 (tabla 3.3), para comparar también con la posición de los catálogos, como por ejemplo, el catálogo SIMBAD ([46]). Vamos a repetir este proceso con tres imágenes, que son la misma imagen pero astrometrizada con distintos programas.

	Ascensión Recta	Declinación	Mag B	Mag V	Mag G
BD+12 1903	08:46:55.7793	+11:43:38.4637	11.46	10.92	10.7165

Tabla 3.3: Datos de la estrella seleccionada como referencia desde la base de datos de SIMBAD.[47]

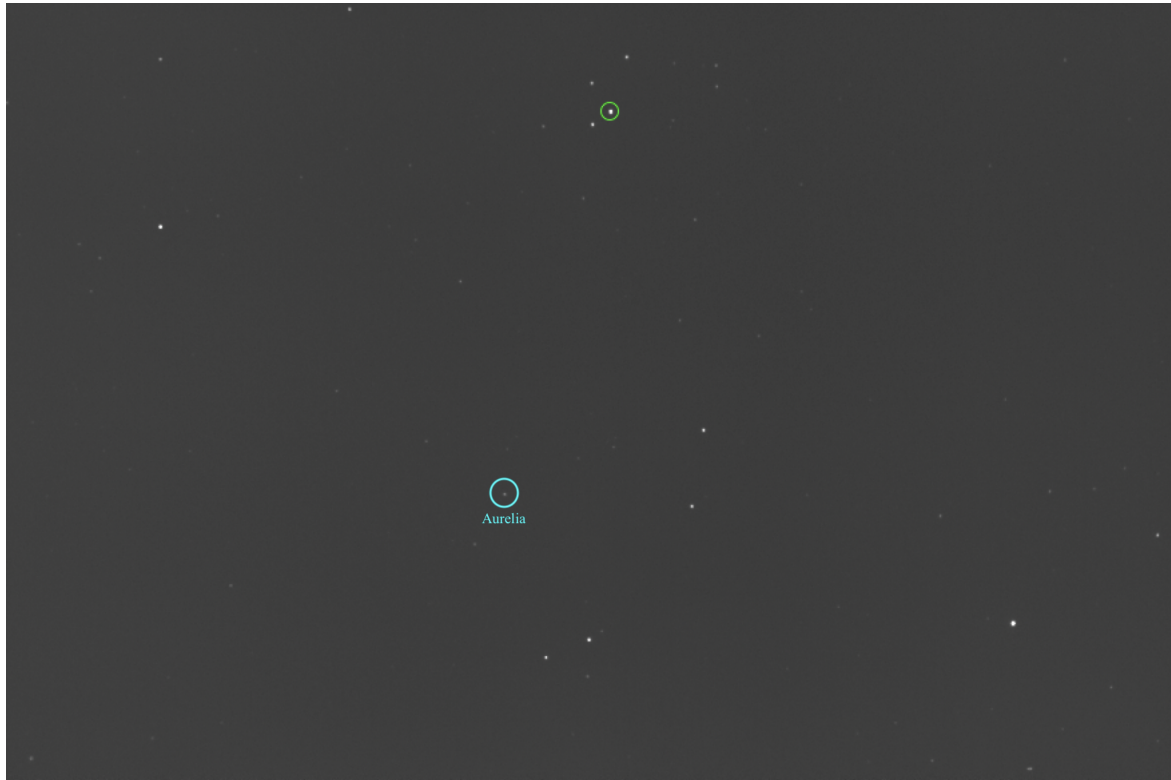


Imagen 3.10: Asteroide Aurelia y la estrella BD+12 1903 identificada en SIMBAD que vamos a utilizar como referencia para la comparación.

	BD+12 1903		Aurelia	
	Ascensión Recta	Declinación	Ascensión Recta	Declinación
PinPoint	8:46:56	+11:43:39	8:47:06.73	+11:55:30.7
Astrometry.net	8:46:56	+11:43:38	8:47:07	+11:55:31
ASTAP	8:46:56	+11:43:39	8:47:07	+11:55:30

Tabla 3.4: Comparación de las posiciones de Aurelia y la estrella BD+12 1903 mediante distintos programas de astrometrización. Ascensión recta en h:m:s y la declinación en g:m:s. Todas las medidas se han efectuado en el programa KStars, exceptuando las del asteroide Aurelia para PinPoint, ya que los hemos cogido del TFM [2].

Vemos en la tabla 3.4 que las soluciones son compatibles entre los resultados de los distintos programas, y que además, son correctos, ya que en la tabla 3.3 tenemos las coordenadas de la estrella en el catálogo SIMBAD.

3.3. Fotometría

Se pueden hacer distintos tipos de análisis científicos con las imágenes astronómicas, y una de ellas es analizar el brillo que llega a la Tierra de los objetos de la imagen, esto es, hacer fotometría con las imágenes. Para esto necesitamos programas que permitan seleccionar las estrellas de forma individual para analizar el brillo en la imagen de los objetos sobre la imagen.

3.3.1. Alternativas

Existen gran cantidad de opciones para realizar el análisis fotométrico de las imágenes astronómicas, pero las más interesantes que hemos estudiado para este trabajo han sido las siguientes: ASTAP, AstroImageJ, SExtractor, Aperture Photometry Tool y DS9. En este apartado vamos a explicar las características de cada uno de estos en este campo.

Para empezar, vamos a ver el programa ASTAP, del cual estamos hablando desde el principio de este capítulo. Este software sería una gran opción ya que en un único programa se podrían realizar de manera continuada el tratamiento de imágenes, la astrometrización y el análisis fotométrico. El único problema con este software es que en el sistema operativo Linux la base de datos G17 que utiliza para la fotometría, de momento, no funciona correctamente.

AstroImageJ es un programa optimizado para hacer fotometría diferencial y trazar curvas de luz de forma muy precisa. En este programa también podemos, de forma sencilla, seleccionar objetos con aperturas circulares y medir el flujo que se recibe dentro de la misma apertura, donde mediante la cuenta de los píxeles se puede hacer fotometría. Además, al seleccionar un objeto en la imagen para el análisis mediante aperturas, encontramos dos tipos de aperturas, uno para medir el brillo del objeto, y el segundo, en forma de anillo, para extraer el fondo. [48]

Después tenemos el programa SExtractor (Source-Extractor, [49]) que es un software parecido a astrometry.net, por su funcionamiento en la ventana de la terminal de Linux. Este programa funciona de forma automática con parámetros ajustados por el usuario, y donde se crea una tabla con todos los parámetros a analizar que ha seleccionado el usuario. Es un programa muy configurable que nos permite hacer fotometría con aperturas variables, y distintos tipos de métodos (4 tipos de fotometría).

Aperture Photometry Tool (APT, [50]) es una herramienta de fotometría dirigida a astrónomos y estudiantes que desean experimentar un análisis fotométrico manual de imágenes astronómicas. En este software también se trabaja con aperturas variables según los ajustes del usuario. APT está dirigido al análisis de una pequeña cantidad de imágenes, y entonces no es viable realizar un análisis masivo de imágenes astronómicas, como se podría hacer en SExtractor, por ejemplo.[51]

Por último, vamos a hablar del programa DS9 ([52]). En este programa se pueden definir regiones de diferente tamaño al rededor de los objetos seleccionados donde el software realiza cuentas de los píxeles para calcular el flujo recibido dentro de la región. Aún así,

en este programa (al menos para este trabajo) nos interesa más la opción de encontrar las estrellas en las imágenes según el catálogo elegido. Mediante esta herramienta observamos las magnitudes de las estrellas en el catálogo SIMBAD (uno de los más usados durante el máster) y los comparamos con las soluciones de los programas anteriores.

En la tabla 3.5 podemos ver una comparación de estos programas de los que estamos hablando.

	Aperturas	Automático	Análisis masivo	Gratuito	Multiuso
ASTAP	✓	✓	✓	✓	✓
AstroImageJ	✓	✗	✗	✓	✓
SExtractor	✓	✓	✓	✓	✗
APT	✓	✗	✗	✓	✗
DS9	✓	✗	✓	✓	✗

Tabla 3.5: Distintas alternativas para el análisis fotométrico de las imágenes. Mediante el parámetro “Automático” indicamos si el software realiza el análisis de forma automática o, de lo contrario, debemos ir seleccionando los objetos de forma manual.

3.3.2. Software

En este apartado vamos a explicar de forma breve el funcionamiento de estos programas de fotometría, para después ver algún ejemplo de las soluciones. El primer programa que vamos a trabajar es ASTAP, que es el programa que llevamos usando también hasta ahora. Hemos comentado que en este software tenemos una pestaña íntegramente dedicada a la fotometría, como podemos ver en la imagen 3.3. Tenemos que cargar las imágenes en esta pestaña, se recomienda hacerlo tras haberlas calibrado antes, por lo que sería recomendable añadirlas desde la pestaña de resultados. Una vez ahí, debemos ejecutarlo con “>” y seleccionar tres objetos en la imagen (Var, Check y 3). Después de esto, lo ejecutamos otra vez y nos devuelve las magnitudes de estos tres objetos en todas las imágenes cargadas.

En AstroImageJ se trabaja con las cuentas de los píxeles. Debemos abrir la imagen que queramos analizar y seleccionar la herramienta de *Aperture Photometry Tool* para poder seleccionar objetos de la imagen y colocar la apertura sobre ellas. Al momento de colocar la apertura se abre una tabla donde va guardando los datos y las cuentas de los objetos seleccionados. AstroImageJ también tiene la opción de hacer fotometría diferencial con multi-aperturas (*Multi-Aperture Differential Photometry*). Esta herramienta mide el flujo de una estrella objetivo en función de una o más estrellas de referencia, que, cada una, se realiza mediante fotometría de apertura única.[48]

Aperture Photometry Tool es similar a una versión más sencilla de AstroImageJ, en la imagen 3.11 podemos ver su interfaz gráfica. El funcionamiento de este programa es simple, pero tiene muchas opciones de configuración en “More Settings” que podemos ajustar como el modelo de extracción del fondo, información de la imagen, y un parámetro crucial para la fotometría, *Magnitude Zero Point*. Este parámetro se define para objetos que aportan una cuenta por segundo a la imagen, y se usan como magnitudes de referencia para el cálculo de las magnitudes de los demás objetos de la imagen ([53]). Para tener en cuenta este parámetro se añade a la magnitud aparente conocida el término $2,5 \log DN$

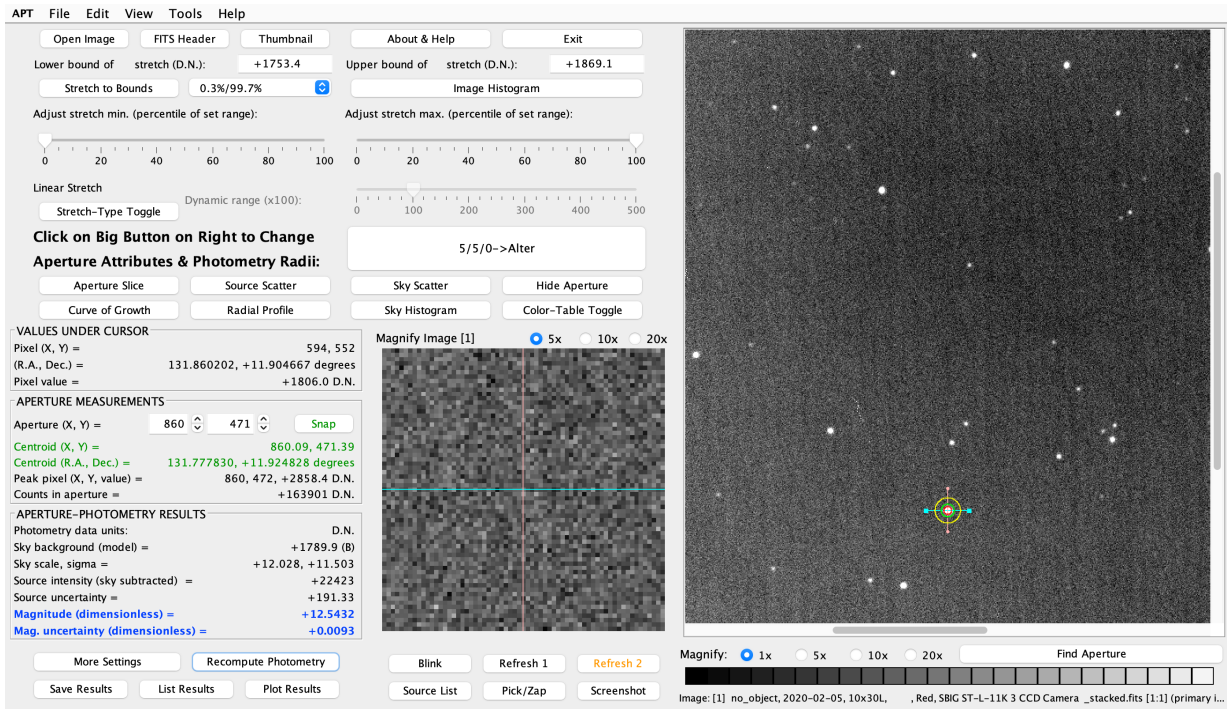


Imagen 3.11: Pantalla de Aperture Photometry Tool con la imagen del asteroide 419Aurelia abierta.

donde DN son las cuentas de la estrella del cual conocemos la magnitud aparente.

Y, por último, tenemos el programa SExtractor, que se ejecuta desde la terminal. Para el análisis de las imágenes mediante SExtractor debemos tener en cuenta los siguientes dos ficheros: “default.param” y “default.sex”. En el primer archivo podemos encontrar todos los parámetros que podemos medir en la imagen y en el segundo archivo tenemos los parámetros que se pueden ajustar, esto es, es como un archivo de configuración de la fotometría (aquí encontramos el parámetro *Magnitude Zero Point* por ejemplo). Para ejecutar el programa tenemos que utilizar la siguiente línea de comandos:[54]

```
source-extractor Image -c configuration_file [-Parameter1 Value1
-Parameter2 Value2 ...]
```

donde en `configuration_file` se debe añadir el archivo que contenga la configuración del análisis (por defecto “default.sex”). Para activar los parámetros que queramos analizar debemos activarlos dentro del archivo de los parámetros, y una vez ejecutado obtendremos un archivo nuevo con una tabla de los parámetros analizados.

Para hacer fotometría también podemos utilizar el programa DS9, el cual, como AstroImageJ nos aporta el número de cuentas del brillo medido dentro de una región definida anteriormente. En este caso, podemos seleccionar tantos objetos que queramos y luego medir el flujo uno a uno. Además, como hemos dicho antes, DS9 puede identificar las estrellas de los catálogos.

3.3.3. Ejemplo

En este apartado vamos a ver algún ejemplo en el cual medimos el flujo recibido en la imagen que estemos analizando. Para esto, vamos a seguir con la imagen que estamos usando como ejemplo, del asteroide 419Aurelia, y mediremos el flujo y la magnitud de la estrella BD+12 1903 que hemos elegido antes y del asteroide que tenemos en la imagen.

En el programa ASTAP vamos a seguir el proceso explicado en el apartado anterior, y vamos a medir la magnitud aparente del asteroide y de la estrella seleccionada. Para eso vamos a realizar dos mediciones, en la primera nuestra muestra será la estrella BD+12 1903 y en la segunda el asteroide Aurelia. En las estrellas de muestra Check y 3 vamos a elegir dos objetos cualquiera. Con esto, estos son los valores que obtenemos: un valor medio de 12.9 para Aurelia y un valor medio de 11.1 para la estrella BD+12 1903.

En AstroImageJ vamos a utilizar la estrella BD+12 1903 como referencia para poder medir la magnitud aparente desde el número de cuentas del software. Con una apertura constante centramos la apertura en los objetos que nos interesan, con un radio interior para la fuente de 10 y un radio interior de 25 y exterior de 80 para el fondo. Con esto, veremos en una tabla la información que nos aporta el programa. Para este proyecto, principalmente nos va a interesar la columna de “Source-sky” donde ya se le ha restado de forma automática el fondo. Vemos que para la estrella BD+12 1903 la medida nos da $DN_{referencia} = 132700,319$ y para Aurelia $DN_{objeto} = 24057,557$. Para calcular la magnitud debemos hacer lo siguiente:

$$m_{objeto} = m_{referencia} - 2,5 \cdot \log \frac{DN_{objeto}}{DN_{referencia}} \quad (3.1)$$

donde conocemos la magnitud de referencia por la tabla 3.3. De esta forma podemos calcular la magnitud aparente de nuestro objetivo que vemos en la siguiente tabla 3.6:

	Mag B	Mag V	Mag G
Aurelia	13.31	12.77	12.56

Tabla 3.6: Magnitud aparente del asteroide Aurelia calculado usando el programa AstroImageJ.

En SExtractor debemos ajustar los parámetros como el *Magnitude Zero Point*. Para esto vamos a utilizar las cuentas de la estrella para usarla como referencia, ya que conocemos su magnitud aparente. Este parámetro se define mediante la siguiente ecuación:

$$m_{zero} = m_{referencia} + 2,5 \log DN_{referencia} \quad (3.2)$$

Para este caso, con el dato de la tabla 3.7, obtenemos que $m_{zero} = 23,51$, y debemos sustituir este valor en el archivo “default.sex”. Después debemos activar los parámetros que queremos analizar en el archivo “default.param”. Vamos a activar la ascensión recta y la declinación para poder identificar los objetos, y el flujo y la magnitud aparente para hacer fotometría. Ahora podemos ejecutar la línea de comandos que hemos comentado

antes y obtener un archivo con las medidas.

En *Aperture Photometry Tool* debemos calcular el *Magnitude Zero Point* de la misma forma que en SExtractor, pero con el número de cuentas que se miden en este mismo software (también en la tabla 3.7). Obtenemos un valor de $m_{zero} = 23,43$. Después de esto, seleccionamos el modelo B para la extracción de la media del fondo para que el software lo ejecute de forma automática. Al final, lo único que se debe hacer es localizar el asteroide y colocar la apertura en esa posición.

Ya hemos realizado el cálculo fotométrico con los programas con los cuales hemos estado trabajando. Ahora vamos a comparar estos resultados con la solución obtenida en el TFM de Danel Madariaga [2].

3.3.4. Comparación

En este apartado vamos a comparar los resultados de la fotometría para saber si los resultados obtenidos son correctos. Antes de nada, vamos a centrarnos en la estrella que hemos utilizado de referencia desde el principio (BD+12 1903), y vamos a comparar su magnitud aparente obtenida mediante ASTAP con la magnitud aparente del catálogo de SIMBAD. La magnitud obtenida es de 11,1 y, la magnitud del catálogo lo tenemos en la tabla 3.3.

En AstroImageJ hemos usado la estrella como referencia para calcular la magnitud del asteroide, pero también podemos comparar las cuentas ($DN_{referencia}$) con las cuentas de [2]. También podemos medir y comparar el flujo recibido mediante el software SExtractor y APT, en los cuales se usa la estrella de referencia para calcular el parámetro *Magnitude Zero Point*.

	Danel Madariaga	AstroImageJ	SExtractor	APT
DN	124670	132700.319	131710.1	121923

Tabla 3.7: Cuentas del brillo de la estrella dentro de la apertura.

Vemos en esta tabla 3.7 que las cuentas son similares, de mismo orden de magnitud, con una diferencia, posiblemente por el tamaño de la apertura. Después de esto, vamos a centrarnos en el asteroide Aurelia, para el cual obtenemos las magnitudes mediante las cuentas en AstroImageJ y directamente en ASTAP, SExtractor y APT. En la tabla 3.8 vemos las soluciones obtenidas en este trabajo y en [2].

	ASTAP	AstroImageJ	SExtractor	APT	Danel Madariaga
Magnitud	12.9	12.56	12.58	12.54	12.56

Tabla 3.8: Resultados de las magnitudes aparentes del asteroide Aurelia con distintos programas y las soluciones obtenidas por Danel para la banda G.[2]

Podemos ver que las soluciones obtenidas en ASTAP, las obtenidas en AstroImageJ, en SExtractor y en APT son equivalentes a las obtenidas por Danel mediante un programa

de Mathematica. Hemos utilizado los valores de referencia en la banda G, ya que es la cual se trabaja en el TFM de Danel Madariaga. En el caso de AstroImageJ la solución es más precisa, ya que el cambio de número de cuentas a magnitud aparente se hace de forma manual, con un dato de magnitud de los catálogos.

3.4. Otras tareas

En un observatorio se pueden realizar más experimentos de los que hemos explicado en este trabajo. Hay instrumentación para realizar muchas más investigaciones como por ejemplo en el Trabajo Fin de Máster de Gemma de Miguel Martínez en el cual instaló un espectrógrafo en el observatorio [10], en el TFM de Aitor Beldarrain, en el cual hizo espectroscopia [11] o en el TFM de Mikel Cobas en el cual se analizaron tránsitos de exoplanetas mediante fotometría [9].

Para estas investigaciones también sería recomendable otro tipo de programas, como podrían ser XSpec (X-Ray Spectral [55]) o ISIS (Interactive Spectral Interpretation System [56]) ambos con soporte en Linux. Por ejemplo, con ASTAP podemos analizar imágenes en busca de tránsitos mediante fotometría, porque las magnitudes medidas se pueden graficar en función del tiempo (el momento de cada imagen) y observar el tránsito. Aún así, en este trabajo no vamos a profundizar en este campo como sí hemos hecho en los anteriores.

Capítulo 4

Conclusiones

En la primera parte de este trabajo nos hemos dedicado a actualizar el sistema de control del observatorio *Aula Espazio*, y con ello, hemos automatizado todo el observatorio con un nuevo software astronómico para poder controlar las observaciones desde el programa; y en la segunda parte, hemos preparado un grupo de programas para poder realizar el tratamiento y análisis de las imágenes post-observación. Con todo esto podemos sacar algunas conclusiones.

Por un lado, hemos visto que era recomendable una actualización del observatorio, ya que el sistema anterior estaba en funcionamiento desde su apertura, y con el avance tecnológico, el sistema se estaba quedando obsoleto. Y por otro lado, hemos visto el funcionamiento de un programa de control astronómico muy completo (KStars) preparado para trabajar en Linux. Aún así, como hemos visto durante el trabajo, existen otras posibilidades para el control, pero la más completa parece ser la seleccionada.

También, para el análisis de las imágenes existen muchos tipos de programas útiles y repositorios donde poder encontrarlos, pero por factores expuestos en el trabajo hemos seleccionado los más interesantes para el observatorio. Hemos visto, por ejemplo, que el programa ASTAP nos permite tener un único programa para todo el proceso de análisis de datos astronómicos, y que por esta razón, el análisis es continuo y más sencillo. Aún así, hemos visto otros programas que están más centrados en una única fase del análisis y que por esta razón nos pueden dar más opciones de configuración. Con todo esto, también debemos recordar que hay más programas de los cuales no hemos hablado pero que pueden ser interesantes en el futuro. Además, este sistema de código libre y abierto permite realizar desarrollos personalizados con herramientas relativamente sencillas como Python que son más difíciles o imposibles con otras opciones de sistema operativo y software.

Durante el proceso de realización del trabajo hemos encontrado una serie de problemas que hemos ido solucionando. Uno de ellos es con el primer sistema operativo instalado en el ordenador. La distribución preparada para instalar también había quedado anticuada (Distro Astro) e instalamos Debian Astro. Con esta distribución tuvimos problemas importantes con los puertos serie, ya que no detectaba ninguna actividad con los instrumentos conectados en esos puertos. Además de eso tuvimos problemas con los repositorios de descarga de aplicaciones y con las dependencias necesarias para cualquier actividad que se quería realizar. Por esta razón, se decanto por instalar la distribución actual, Linux Mint, con el cual no ha habido ningún tipo de problema.

El siguiente problema surgió con el control de la montura, ya que, al conectar la montura con KStars y activar la opción en la cual KStars actualiza la montura, esta dejaba de funcionar, por un problema con los límites del horizonte. El problema es que para este tipo de montura (por lo menos) el ajuste de los límites del horizonte están invertidos, por lo cual, al ajustar como límite mínimo 0° y máximo 90° KStars lo entiende invertido, y de esa forma se lo reporta a la montura que bloquea su movimiento. La solución es invertir previamente los límites de forma manual.

Con el control de la cúpula surgió también un problema con la esclavización. El movimiento de la cúpula en función del movimiento de la montura no era el correcto. Como hemos comentado al hablar de la esclavización, se realizó el proceso de ajuste de la esclavización en repetidas ocasiones, pero a pesar de una mejoría en el movimiento, en algunos puntos del cielo no funciona de forma correcta.

Después de la automatización del observatorio el siguiente paso ideal hubiera sido realizar unas observaciones de prueba del nuevo modo de control mediante el nuevo programa instalado, pero por razones meteorológicas y de localización no ha podido ser posible. En esta situación ideal hubiéramos realizado nuevas imágenes de asteroides para el análisis posterior, pero a falta de observación, y por esa razón, de imágenes, se realizó el segundo bloque de este trabajo con imágenes de trabajos anteriores a este.

Con todo esto, para finalizar, concluimos con que este trabajo puede ser útil como guía de inicio para cualquiera que vaya a utilizar por primera vez el observatorio. Además, de ahora en adelante se abre una gran ventana de posibilidades de nuevos trabajos para años posteriores, en los cuales se puede realizar ciencia con el proceso y los pasos seguidos en este trabajo.

Bibliografía

- [1] G. de Ciencias Planetarias, *Aula Espazio Gela*, <http://www.ehu.eus/aula-espazio/>, Accedido en julio de 2021.
- [2] D. M. Zubimendi, “Fotometría y astrometría de asteroides desde el Observatorio Aula Espazio Gela,” Trabajo Fin de Máster, Universidad del País Vasco, 2020.
- [3] P. Instruments, *Optical Design*, <https://planewave.com/optical-design/>, Accedido en julio de 2021.
- [4] *A Corrected Dall-Kirkham telescope*, <http://atm.udjat.nl/telescopes/cdk/index.html>, Accedido en agosto de 2021.
- [5] Astroimagen, *STL-11000M*, <https://astroimagen.wordpress.com/productos/sbig/productos-descatalogados-sbig/sbig-serie-stl/stl-11000m/>, Accedido en julio de 2021.
- [6] —, *ST-7XME*, <https://astroimagen.wordpress.com/productos/sbig/productos-descatalogados-sbig/sbig-camaras-con-ccd-de-guiado-2-ccd/st-7xme/>, Accedido en julio de 2021.
- [7] Astroshop.eu, *The Imaging Source DMK 41AU02.AS Monochrome Camera*, <https://www.astroshop.eu/astronomical-cameras/the-imaging-source-dmk-41au02-as-monochrome-camera/p,11772>, Accedido en agosto de 2021.
- [8] I. M. Alonso, “Fotometría planetaria desde el Observatorio Aula Espazio Gela,” Trabajo Fin de Máster, Universidad del País Vasco, sep. de 2011.
- [9] M. C. Salsidua, “Tránsitos de planetas extrasolares desde el Observatorio Astronómico Aula Espazio,” Trabajo Fin de Máster, Universidad del País Vasco, sep. de 2015.
- [10] G. de Miguel Martínez, “Instalación y validación científica del espectrógrafo del Observatorio Astronómico Aula Espazio Gela,” Trabajo Fin de Máster, Universidad del País Vasco.
- [11] A. B. R. de Azua, “Espectroscopía estelar y planetaria desde el Observatorio Astronómico Aula Espazio Gela,” Trabajo Fin de Máster, Universidad del País Vasco, 2017.
- [12] Linux, *Linux Mint 20.1 Cinnamon*, <https://linuxmint.com>, Accedido en Mayo de 2021.
- [13] D. C., *¿Cómo funciona el SSH?* <https://www.hostinger.es/tutoriales/ques-ssh>, Accedido en Julio de 2021.
- [14] L. M. Forums, *what happened to Desktop Sharing in Mint 19 (Tara)*, <https://forums.linuxmint.com/viewtopic.php?t=272337>, Accedido en julio de 2021, jul. de 2018.

- [15] D. King, *Vinagre*, <https://wiki.gnome.org/Apps/Vinagre>, Accedido en agosto de 2021.
- [16] —, *Vino*, <https://wiki.gnome.org/Projects/Vino>, Accedido en agosto de 2021.
- [17] A. Gatta, G. Panozzo, A. Nordhøy, M. F. Vescovi y D. Defaud, *Remmina*, <https://remmina.org>, Accedido en agosto de 2021.
- [18] P. Weiser, A. Mähler y O. Liebe, *AnyDesk*, <https://anydesk.com/es>, Accedido en agosto de 2021.
- [19] *TeamViewer*, <https://www.teamviewer.com/es/>, Accedido en agosto de 2021.
- [20] *SupRemo*, <https://www.supremocontrol.com/es/>, Accedido en agosto de 2021.
- [21] G. Chrome, *Escritorio remoto de Chrome*, <https://remotedesktop.google.com/?hl=es-419&pli=1>, Accedido en agosto de 2021.
- [22] D. Limited, *MaxIm DL*, <https://diffractionlimited.com/maxim-dl/>, Accedido en julio de 2021.
- [23] S. B. (Isbeorn), *NIGHTTIME IMAGING 'N' ASTRONOMY*, <https://nighttime-imaging.eu>, Accedido en julio de 2021.
- [24] J. Mutlaq y A. S. (KDEdu), *KStars*, <https://edu.kde.org/kstars/>, Accedido en junio de 2021.
- [25] *Cartes Du Ciel*, <https://www.ap-i.net/skychart/es/start>, Accedido en julio de 2021.
- [26] Bisque, *The Sky*, <https://www.bisque.com/product/theskyx-pro/>, Accedido en julio de 2021.
- [27] J. Mutlaq, *INDI Stable Builds*, <https://launchpad.net/~mutlaqja/+archive/ubuntu/ppa>, Accedido en abril de 2021.
- [28] INDI, *Open Astronomy Instrumentation*, <https://indilib.org>, Accedido en Julio de 2021.
- [29] J. Mutlaq, *INDI Web Manager*, <https://indilib.org/support/tutorials/162-indi-web-manager.html>, Accedido en mayo de 2021.
- [30] —, *INDI Web Manager*, <https://github.com/knro/indiwebmanager>, Accedido en junio de 2021.
- [31] N.-J. P. Laboratory, *Horizons*, <https://ssd.jpl.nasa.gov/?ephemerides>, Accedido en julio de 2021.
- [32] —, *Horizons*, <https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi>, Accedido en julio de 2021.
- [33] KStars, *Ephemerides*, <https://github.com/KDE/kstars/blob/master/README.ephemerides>, Accedido en junio de 2021.
- [34] J. Harris, J. Mutlaq, A. Simha, J. Bowlin, H. Evermann, T. Kabelmann, P. de Vicente, C. Niehaus y M. Holloman, *The KStars Handbook*, KDE, <http://docs.kde.org/>, ene. de 2018.
- [35] I. Library, *Ekos*, <https://www.indilib.org/about/ekos.html>, Accedido en agosto de 2021.

- [36] D. Limited, *Dome Tab*, https://cdn.diffractionlimited.com/help/maximdl/Dome_Tab.htm, Accedido en junio de 2021.
- [37] INDI, *Domes*, <https://indilib.org/domes.html>, Accedido en julio de 2021.
- [38] Beltoforion.de, *Image Stacking*, <https://beltoforion.de/en/astrophotography/stacking.php>, Accedido en agosto de 2021.
- [39] AstroBackyard, *How to Take Bias Frames for Astrophotography*, <https://astrobackyard.com/bias-frames-astrophotography/>, Accedido en agosto de 2021.
- [40] NightSkyPix, *Calibration Frames*, <https://nightskypix.com/calibration-frames/>, Accedido en julio de 2021.
- [41] *AstroImageJ (AIJ)-ImageJ for Astronomy*, <https://www.astro.louisville.edu/software/astroimagej/>, Accedido en agosto de 2021.
- [42] *ASTAP, Astrometric Stacking Program*, <https://www.hnsky.org/astap.htm>, Accedido en agosto de 2021.
- [43] *DeepSkyStacker*, <http://deepskystacker.free.fr/spanish/index.html>, Accedido en agosto de 2021.
- [44] *Astrometry.net*, <https://astrometry.net>, Accedido en agosto de 2021.
- [45] INDI, *Alignment Module*, <https://indilib.org/about/ekos/alignment-module.html>, Accedido en julio de 2021.
- [46] *SIMBAD Astronomical Database-CDS (Strasbourg)*, <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>, Accedido en agosto de 2021.
- [47] SIMBAD, *BD+12 1903*, <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-id?Ident=BD%2B12+1903&NbIdent=1&Radius=2&Radius.unit=arcmin&submit=submit+id>, Accedido en agosto de 2021.
- [48] K. A. Collins, J. F. Kielkopf, K. G. Stassun y F. V. Hessman, “ASTROIMAGEJ: IMAGE PROCESSING AND PHOTOMETRIC EXTRACTION FOR ULTRA-PRECISE ASTRONOMICAL LIGHT CURVES,” *The Astronomical Journal*, vol. 153, n.º 2, pág. 77, ene. de 2017. DOI: [10.3847/1538-3881/153/2/77](https://doi.org/10.3847/1538-3881/153/2/77). dirección: <https://doi.org/10.3847/1538-3881/153/2/77>.
- [49] *SExtractor*, <https://www.astromatic.net/software/sextractor/>, Accedido en agosto de 2021.
- [50] *Aperture Photometry Tool*, <https://www.aperturephotometry.org>, Accedido en agosto de 2021.
- [51] R. R. Laher, V. Gorjian, L. M. Rebull, F. J. Masci, J. W. Fowler, G. Helou, S. R. Kulkarni y N. M. Law, “Aperture Photometry Tool,” *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, vol. 124, n.º 917, págs. 737-763, jul. de 2012. DOI: [10.1086/666883](https://doi.org/10.1086/666883). dirección: <https://doi.org/10.1086/666883>.
- [52] *SAOImageDS9*, <https://sites.google.com/cfa.harvard.edu/saoimageds9>, Accedido en agosto de 2021.
- [53] Wikipedia, *Zero Point (photometry)*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Zero_Point_\(photometry\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Zero_Point_(photometry)), Accedido en agosto de 2021.
- [54] *SExtractor*, <https://sextractor.readthedocs.io/en/latest/Using.html>, Accedido en julio de 2021.

- [55] NASA, *Xspec*, <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/xanadu/xspec/>, Accedido en agosto de 2021.
- [56] *ISIS Home Page*, <https://space.mit.edu/cxc/isis/>, Accedido en agosto de 2021.

Anexo A

Guía rápida para el control del observatorio desde otro ordenador

Tenemos dos opciones para controlar el observatorio de forma remota: Sin hacer uso del servidor INDI Web Manager o haciendo uso de este. Vamos a ver cada opción de la forma más breve posible.

A.1. Sin INDI Web Manager

Para conectarnos a otro ordenador de forma remota podemos utilizar dos métodos diferentes:

A.1.1. Secure Shell

Se puede crear una conexión *Secure Shell* (ssh) desde la terminal del ordenador (en caso de disponer de un ordenador windows haciendo uso de servicios como PuTTY). Podemos crear conexiones con interfaz gráfica o sin ella, pero para observar con el T50 necesitaríamos tener un entorno gráfico para abrir los programas del ordenador del observatorio. Por todo esto, la línea de comandos debe ser la siguiente:

```
ssh -X -Y astro@u108443.bi.ehu.es
```

De esta forma, tras escribir la contraseña, ya estaríamos conectados al ordenador del observatorio.

A.1.2. Escritorio remoto

Se puede crear un escritorio remoto en nuestro ordenador. Para esto debemos seguir los siguientes pasos:

1. Descargar el programa dconf.

2. Deshabilitar la encriptación en `org/gnome/desktop/remote-access`.
3. Habilitar compartir pantalla con la siguiente línea de comando en la terminal:
`system --user start vino-server`
4. Escribir la dirección IP en el programa cliente de nuestro ordenador.

También se pueden usar programas que se instalan en ambos ordenadores para que se conecten entre ellos. Estos funcionan con códigos internos que encontramos en el mismo programa como “Puesto de trabajo”.

A.2. Con INDI Web Manager

Si hacemos uso del servidor INDI Web Manager debemos seguir estos pasos:

1. Ejecutar el servidor con `indi-web -v` y abrirlo en “localhost:8624”.
2. Seleccionar el perfil y los instrumentos adecuados.
3. Activar el servidor.
4. Abrir el programa KStars de nuestro ordenador.
5. Crear y activar un perfil cliente en el administrador de equipamiento.
6. En el perfil que deseemos conectar seleccionar la opción “Remoto”.
7. Escribir la dirección IP del observatorio.
8. Comenzar.

Ahora ya estaremos conectados al servidor que hemos iniciado en el observatorio. Cabe destacar que los tres primeros pasos los debemos realizar localmente en el observatorio o de forma remota con las opciones anteriores (Sin INDI Web Manager).