

Un telescopio de 10.000.000.000 dólares en tu casa

Alberto Bañón Serrano. Octubre 2021

| | |
|---|-----------|
| 1. Introducción..... | 3 |
| 2. El telescopio espacial Hubble..... | 5 |
| 2.1 Instrumentos..... | 5 |
| 2.1.1 Cámaras..... | 6 |
| 2.1.2 Espectrógrafos..... | 6 |
| 2.1.3 Filtros..... | 7 |
| 2.2 Descargar archivos FITS..... | 8 |
| 3. Aplicación informática Explora FITS..... | 12 |
| 3.1 Ventana principal..... | 16 |
| 3.1. 1 Abrir un fichero FITS..... | 16 |
| 3.1. 2 Las cabeceras de la HDU..... | 17 |
| 3.1. 3 Tablas..... | 17 |
| 3.1. 4 Normalizar..... | 18 |
| 3.1. 5 Datos no disponibles..... | 19 |
| 3.1. 6 Raíz, resolución y orientación..... | 19 |
| 3.1. 7 Idioma..... | 20 |
| 3.1. 8 El histograma..... | 20 |
| 3.1. 9 Exportar datos..... | 21 |
| 3.1.10 Relojes..... | 22 |
| 3.2 Ventana donde se dibuja la imagen..... | 22 |
| 3.2.1 Geometría..... | 23 |
| 3.2.2 Espectros..... | 24 |
| 3.2.3 Volver a la ventana principal..... | 24 |
| 3.2.4 Catálogos..... | 27 |
| 3.2.4.1 HyperLEDA..... | 27 |
| 3.2.4.1 Smithsonian Astrophysical Observatory Star Catalog..... | 28 |
| 3.2.4.5 Ficha del catálogo..... | 30 |
| 3.2.4 Marcar cimas..... | 25 |
| 3.2.5 Escalar imágenes..... | 32 |
| 4. Descargar archivos FITS (segunda parte)..... | 36 |
| 5. Funciones auxiliares..... | 45 |
| 5.1 Índices..... | 45 |
| 5.2 Sumar..... | 45 |
| 5.3 Restar..... | 46 |
| 6. Espectros..... | 47 |
| 7. Agradecimientos..... | 57 |
| 8. Repositorio..... | 57 |

1. Introducción.

Los telescopios son esos instrumentos que nos permiten explorar el cielo mucho más allá de lo que nuestros ojos pueden ver. Son raras las personas que teniendo la posibilidad de mirar a través de uno de ellos no lo hagan y son muchos los que se compran el suyo propio. También existe la posibilidad de alquilar estos instrumentos, como aficionado o de forma profesional, pero como uno puede imaginar, los grandes telescopios están reservados a proyectos de investigación profesional y aun así son de difícil acceso. Pero internet ha hecho que sea fácil acceder a las observaciones realizadas en cualquier telescopio de importancia, no podemos elegir a donde mirar pero podemos ver exactamente lo mismo que ven los que si manejan el telescopio. Esto también es así para el telescopio por excelencia: el telescopio espacial Hubble (HST) y próximamente lo será para el James Webb (JWST), que tras 10 años de retaso parece que finalmente será lanzado al espacio a finales de este año 2021. En el caso del Hubble, las observaciones se hacen públicas un año después de haberse realizado y estar a disposición de los investigadores que las solicitaron, pero con el James Webb parece que no habrá ese periodo de espera y todo el mundo podrá disponer de ellas inmediatamente, es como tener un telescopio de 3 mil millones de dólares en casa (HST), y pronto otro de 10 mil millones de dólares (JWST).

Las observaciones de un telescopio se concretan en una serie de datos (fotografías y espectros) que se registran en los correspondientes ficheros que los interesados podemos descargar de internet. Los ficheros se construyen siguiendo un estricto formato para que cualquiera pueda extraer la información que contienen.

FITS es el formato estándar usado en astronomía, soportado por la NASA y la Unión Internacional de Astronomía. Aunque su nombre corresponde a las siglas Flexible Image Transport System no es un formato gráfico, habitualmente contiene datos que se pueden mostrar como imágenes pero no necesariamente. Es normal que contenga los datos capturados por las cámaras fotográficas de los telescopios o de sus espectrógrafos y se exige que sean los datos originales con todas sus imperfecciones. Para representar los datos contenidos en un FITS suele ser necesario realizar algunas tareas previas.

En el tratamiento de imágenes el elemento esencial es el píxel, una imagen es una matriz de píxeles y cada píxel representa el color de un punto de la imagen o más precisamente la intensidad de luz en ese punto. En una imagen en blanco y negro la intensidad de la luz es un número que varía entre 0 (no hay intensidad de luz negativa) y un valor máximo. Para imágenes en color la intensidad de la luz se expresa mediante tres cifras que son la intensidad de cada uno de los tres colores básico (rojo, verde y azul) variando esas cifras entre 0 y un valor máximo. Puede haber una cuarta cifra que es el grado de transparencia de la imagen y algunas variantes sobre colores básicos y otras cuestiones que no interesan en este documento. En cuanto al valor máximo, está relacionado con la cantidad de memoria que se dedica a cada píxel, si se dedica un byte (8 bits) el valor máximo es 255 (2^8), si dos bytes, el máximo es 65.536 (2^{16}), es raro utilizar más memoria para un píxel porque 65.536 tonos para un color es muchísimo más de lo que el ojo puede distinguir.

Los datos de una observación astronómica son lecturas de unos componentes electrónicos llamados cédulas fotoeléctricas (CCD -dispositivo de carga acoplada-) que se encargan de transformar la energía lumínica (fotones) en energía eléctrica, estas medidas, como las de cualquier dispositivo electrónico, tienen un “ruido” que varía, por ejemplo con la temperatura y pueden ser incluso negativas. Respecto al valor máximo de las lecturas, este depende del brillo de los objetos observados, del tiempo de exposición y otros factores. Los ficheros FITS registran estos datos tal cual y si queremos representarlos como una imagen tendremos, como mínimo, que eliminar los valores negativos y normalizarlos para que sus valores queden comprendidos entre 0 y 255 (o entre 0 y 65.536), también será frecuente establecer una cota máxima a partir de la cual se otorga el valor máximo a todos los datos que la superen, si no se hace, los puntos más brillantes hacen que aquellos que no los son tanto aparezcan tan oscuros que no se vean.

He mencionado que el fichero FITS recoge las lecturas de los CCD tal cual, pero no es cierto, a estas lecturas se aplican una serie de correcciones en el propio telescopio para tener en cuenta las características físicas de sus instrumentos, esta es una tarea muy importante que forma parte del “arte” de los astrónomos, pero que hoy en día está totalmente automatizada mediante aplicaciones informáticas y los ficheros FITS suelen informar de los procesos aplicados a los datos finalmente incluidos en los mismos para que nos hagamos una idea de la calidad de estos.

En esta situación, para ejercer de astrónomos podemos prescindir del telescopio pero no de una aplicación informática capaz de explorar los ficheros FITS, mostrarnos su contenido e incluso realizar algún tratamiento de sus datos.

Pero antes de hablar de la aplicación informática hay que ver cómo conseguir los ficheros FITS, lo cual nos lleva a dar un paso más atrás, tenemos que saber qué es lo que registra un telescopio, aquí lo vamos a hacer para el telescopio espacial Hubble (HTS).

2. El telescopio espacial Hubble (HST).

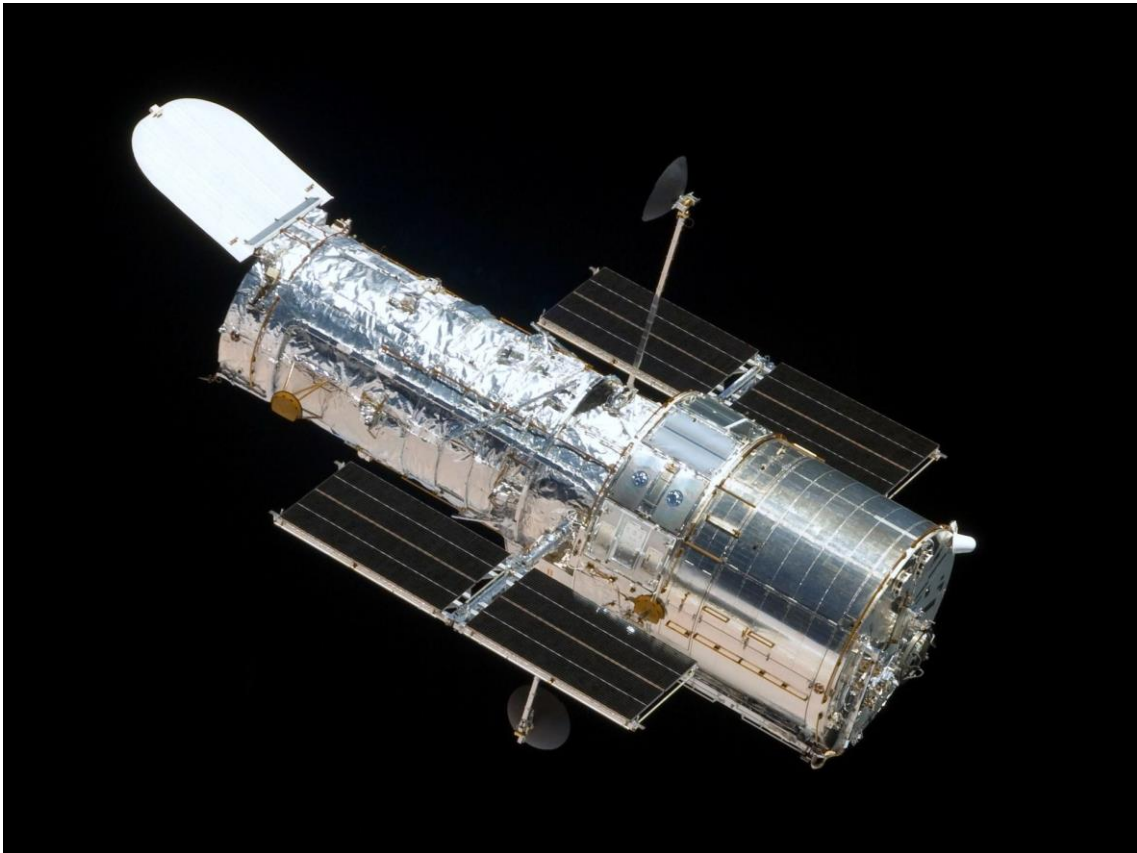


Figura 1. El telescopio espacial Hubble.

2.1 Instrumentos.

Aunque a bordo del Hubble se encuentran unos instrumentos de tecnología extraordinariamente complicada y precisa, los conceptos en los que se basan se conocen hace siglos: cámaras fotográficas y espectrómetros para registrar la luz que recibe un espejo de 2,4 metros de diámetro. Además de los paneles solares y baterías para generar y almacenar la energía eléctrica que precisa para los motores que permiten guiarlo, entre otras cosas.

En los ficheros FITS que la NASA/ESA ponen a nuestra disposición se especifica el instrumento que capto los datos por lo que es muy útil saber cuáles son (o han sido, porque algunos se han sustituido en alguna de las cinco misiones de mantenimiento que se han realizado o están inactivos por avería), los acrónimos de los instrumentos nos darán una primera idea del contenido de los ficheros. Para más detalles recomiendo la página web de la Agencia Europea del Espacio (ESA):

https://esahubble.org/about/general/fact_sheet/

2.1.1 Cámaras.

WPF (WF/PC para el modo planetario). Cámara planetaria y de gran angular (Wide Field and Planetary Camera). Fue la cámara original del telescopio y funcionaba en el espectro visible, como gran angular (WF) su campo de visión era de 156x156 arcseg y como planetaria (PC) 66x66 arcseg con un tamaño de píxel de 0,043 arcseg.

WPF2 (WPF2/PC para el modo planetario). Sustituyó a la WPF original en el año 1990 y fue el instrumento más utilizado durante más de una década. Tomó las imágenes más espectaculares que han trascendido a la opinión pública.

FOC. Cámara de objetos débiles (Faint Object Camera). Funciona en el espectro visible y ultravioleta. Su resolución era siete veces superior a la WPF2.

WPF3. Sustituyó a la WPF2 en 2009. Funciona en el espectro visible, ultravioleta e infrarrojo.

ACS. La cámara avanzada para sondeos (por su capacidad de mapear grandes áreas del cielo con gran detalle -Advanced Camera for Surveys-) sustituyó a la FOC. Cámara gran angular diseñada para el espectro visible, aunque también funciona en ultravioleta e infrarrojo cercano y tiene capacidad para realizar espectros. Multiplica por diez la potencia del telescopio. Tiene tres canales, el WFC (Wide Field Channel), HRC (High-Resolution Channel) y SBC (Solar Blind Channel). Se pueden ver como ACS/WFC, ACS/HRC y ACS/SBC. De estos, la mayoría de los datos que puede encontrar en el ACS provienen del WFC. El HRC y el SBC tienen usos más específicos, y el HRC está desactivado por avería.

2.1.2 Espectrógrafos.

NICMOS. Es una cámara fotográfica y de observaciones espectroscópicas de objetivos astronómicos en longitudes de onda del infrarrojo cercano (Near Infrared Camera and Multi-Object Spectrometer).

COS. Espectrógrafo de Orígenes Cósmicos (Cosmic Origins Spectrograph). Mide niveles extremadamente débiles de luz ultravioleta que emana de fuentes cósmicas distantes, como los cuásares en galaxias remotas.

STIS. Espectrógrafo de Imágenes del Telescopio Espacial (Space Telescope Imaging Spectrograph). Es un espectrógrafo versátil y de "todo propósito" que maneja bien los objetos brillantes.

FGS. Son tres interferómetros (Fine Guidance Sensors). Ayudan al telescopio a mantener un objetivo estable pero también sirven para medir las posiciones relativas y el brillo de las estrellas, así como el diámetro angular de objetos celestes.

Existen redundancias entre WFC3, ACS, STIS y COS como modo de protección ante la degradación con el tiempo que sufrirán estos instrumentos.

A la hora de elegir entre instrumentos la tabla 1 nos puede servir como una primera referencia.

| Instrument | Wavelength coverage (nm) | Pixel size (arcsec) | Field of View (arcsec) |
|---------------|--------------------------|---------------------|------------------------|
| WFC3 UVIS | 200 – 1000 | 0.04 | 162 × 162 |
| ACS WFC | 370 – 1100 | 0.05 | 202 × 202 |
| ACS SBC | 115 – 170 | 0.032 | 34 × 31 |
| STIS FUV-MAMA | 115 – 170 | 0.024 | 25 × 25 |
| STIS NUV-MAMA | 165 – 310 | 0.024 | 25 × 25 |
| STIS CCD | 250 – 1100 | 0.05 | 52 × 52 |
| WFC3 IR | 800 – 1700 | 0.13 | 136 × 123 |

Tabla 1. Comparación de algunos factores importantes de los instrumentos del HTS

Existe una extensa y detallada documentación de los instrumentos, por ejemplo a partir de esta dirección:

<https://hst-docs.stsci.edu/wfc3ihb/chapter-1-introduction-to-wfc3>

Podemos saberlo toso sobre la WPF3.

2.1.3 Filtros.

Los instrumentos se combinan con determinados filtros para realizar las observaciones. Los filtros se interponen entre el camino de la luz y el instrumento y acotan el rango de longitudes de onda que se observarán. Los filtros los encontraremos bajo las siglas: FnnnX, donde F se refiere a filtro, nnn es la longitud de onda y X puede ser: N, M, W, o X indicando que es un filtro estrecho, medio, ancho o extremadamente ancho respectivamente.

En la dirección:

<https://hst-docs.stsci.edu/wfc3ihb/appendix-a-wfc3-filter-throughputs>

Podemos ver con detalle los 60 filtros que se pueden poner a la WPF3.

Como ejemplo, en la figura 1 podemos ver el % de luz que deja pasar el filtro F606W según la longitud de onda

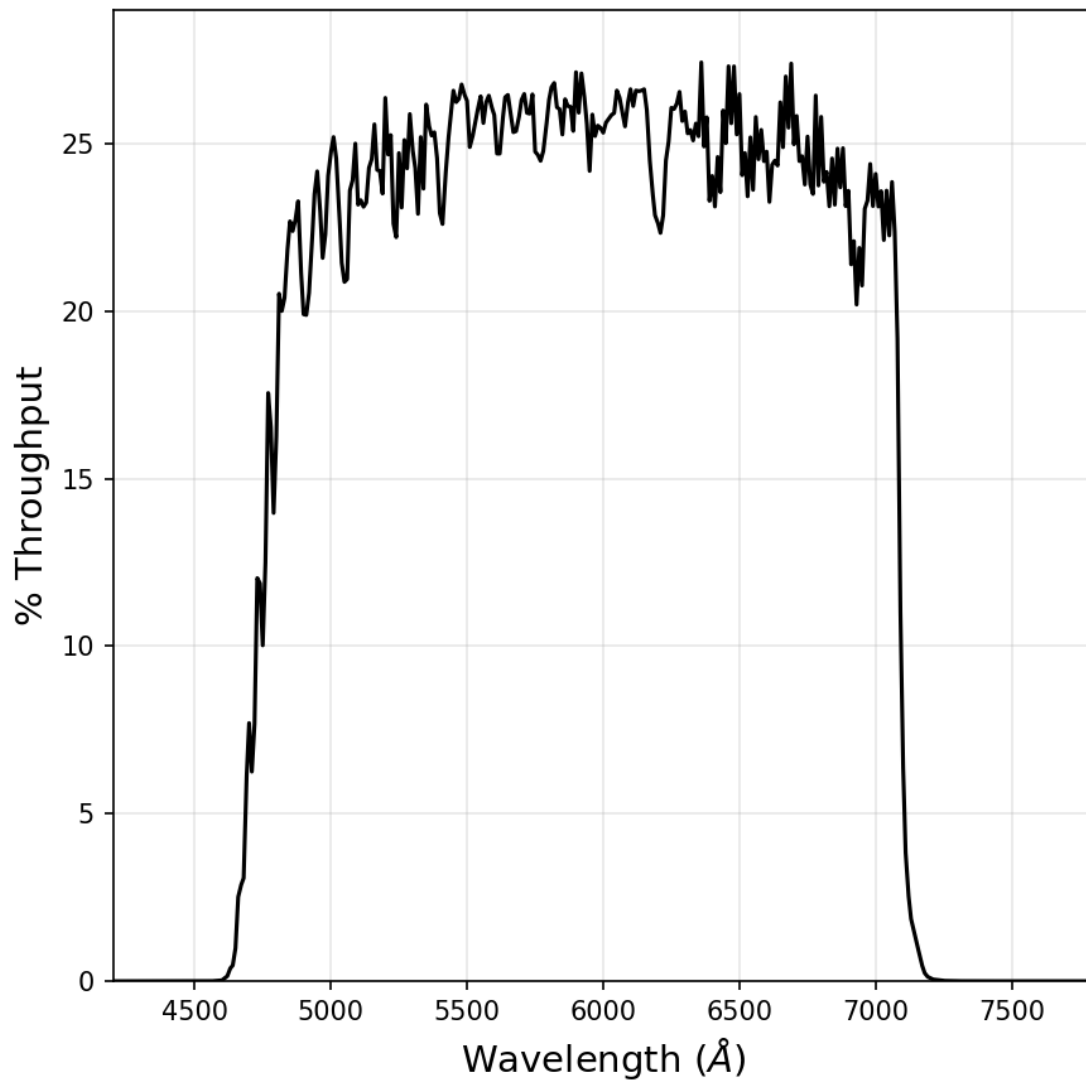


Figura 1. Filtro F606W.

2.2 Descargar archivos FITS.

Una vez que tenemos una idea de los instrumentos del HTS, vamos a ver cómo obtener los ficheros FITS que contienen sus medidas. La página web de la NASA donde descargar las observaciones del HTS está en la siguiente dirección:

<https://hla.stsci.edu/hlview.html>

Y tiene el siguiente aspecto (figura 2):



Hubble Legacy Archive

[Search](#) [Reset](#) [advanced search](#)
Examples: M101, 14 03 12.6 +54 20 56.7 r=0.2d, more...
Requires Firefox, Safari, IE, or compatible browser

[Inventory](#)[Images](#)[Footprints](#)[Cart, 0 kB](#)[Grism Spectra \(ST-ECF\)](#)[Help Center](#)

[HOME](#) [HELP CENTER](#) [CONTACT US](#) [ACKNOWLEDGMENT](#)

Figura 2. Descarga de ficheros FITS

Las complicaciones surgen cuando se hace la primera búsqueda. Si, tal como nos sugiere en Examples, escribimos M101 y pulsamos el botón Search, aparece una página (figura 3), que es la primera de 92 páginas y en la que vemos sólo una parte de todas las columnas que se pueden ver mediante los botones situados a la derecha de la cabecera. La descripción de las columnas está en la tabla 2:



Hubble Legacy Archive

M101
Examples: M101, 14 03 12.6 +54 20 56.7 r=0.2d, more...
Requires Firefox, Safari, IE, or compatible browser

[Inventory](#) [Images](#) [Footprints](#) [Cart, 0 kB](#) [Grism Spectra \(ST-ECF\)](#) [Help Center](#)

M101 RA = 210.802270 Dec = 54.348950 r = 0.240000 [14:03:12.545 +54:20:56.22]

Results 1-20 of 1831

Show 20 results per page

Previous 1 2 3 4 5 6 7 8 9 ... 92 Next

Click column heading to sort list - Click rows to select [Add selection to cart](#)

Show selected rows: [First](#) [Mixed](#) [Only](#) [Not](#) [Select all](#) [Reset selection](#)

Text boxes under columns select matching rows [Apply Filter](#) [Clear Filter](#)

| Display | PlotCat | Retrieve | RA | DEC | Level | Target | Detector | Aperture | Spectral_Elt | NExposures | ExpTime | StartTime | Dataset | PropID | VisitNum | PI_Name | DAOCat | SEXCat | « | » |
|---------|---------|----------------------|------------------------|-----|-------|-----------|----------|----------|-----------------------|------------|---------|---------------------|---|--------|--------------------|---------|--------|--------|---|---|
| Display | | FITS | 14 04 10.32 54 19 07.0 | 5 | | APPP | WFPC2 | | F606W | | 0 | 1900-01-01 00:00:00 | hlsp_appp_hst_wfpc2_sfd-pu4k2ho01_f606w_v2_sci | | sfd-pu4k2ho01 | | | | | |
| Display | | FITS | 14 03 24.72 54 17 02.8 | 5 | | APPP | WFPC2 | | F606W | | 0 | 1900-01-01 00:00:00 | hlsp_appp_hst_wfpc2_sfd-pu4woae01_f606w_v2_sci | | sfd-pu4woae01 | | | | | |
| Display | | FITS | 14 03 23.04 54 21 13.0 | 5 | | NGC5457-1 | ACS/WFC | WFC | F814W | 4 | 720 | 2002-11-15 23:23:24 | hlsp_hlstarclusters_hst_acs-wfc_ngc5457-f1-9490-01_F814W_v1_sci | 9490 | ngc5457-f1-9490-01 | Kuntz | | | | |
| Display | | FITS | 14 03 02.4 54 20 21.5 | 5 | | NGC5457-7 | ACS/WFC | WFC | F814W | 4 | 720 | 2002-11-13 17:58:18 | hlsp_hlstarclusters_hst_acs-wfc_ngc5457-f2-9490-02_F814W_v1_sci | 9490 | ngc5457-f2-9490-02 | Kuntz | | | | |
| Display | | FITS | 14 03 07.2 54 21 52.2 | 5 | | NGC5457-6 | ACS/WFC | WFC | F435W | 18 | 3780 | 2002-11-13 17:20:47 | hlsp_legus_hst_acs_ngc5457-c_f435w_v1_drc | 9490 | ngc5457-c | | | | | |
| Display | | FITS | 14 03 07.2 54 21 52.2 | 5 | | NGC5457-1 | ACS/WFC | WFC | F555W | 18 | 3240 | 2002-11-13 17:41:07 | hlsp_legus_hst_acs_ngc5457-c_f555w_v1_drc | 9490 | ngc5457-c | | | | | |
| Display | | FITS | 14 03 07.2 54 21 52.2 | 5 | | NGC5457-7 | ACS/WFC | WFC | F814W | 18 | 3240 | 2002-11-13 17:58:18 | hlsp_legus_hst_acs_ngc5457-c_f814w_v1_drc | 9490 | ngc5457-c | | | | | |
| Display | | FITS | 14 03 07.2 54 21 52.2 | 4 | | NGC5457-7 | ACS/WFC | WFC | F814W/F555W/ F435W | 54 | 10260 | 2002-11-13 17:20:47 | hlsp_legus_hst_acs_ngc5457-c_f814w_f555w_f435w_v1_drc | 9490 | ngc5457-c | | | | | |
| Display | | FITS | 14 02 57.6 54 23 40.2 | 5 | | NGC5457-2 | ACS/WFC | WFC | F435W | 10 | 1980 | 2002-11-15 10:21:36 | hlsp_legus_hst_acs_ngc5457-nw1_f435w_v1_drc | 9492 | ngc5457-nw1 | | | | | |
| Display | | FITS | 14 02 57.6 54 23 40.2 | 5 | | NGC5457-6 | ACS/WFC | WFC | F555W | 10 | 1800 | 2002-11-15 10:41:56 | hlsp_legus_hst_acs_ngc5457-nw1_f555w_v1_drc | 9490 | ngc5457-nw1 | | | | | |
| Display | | FITS | 14 02 57.6 54 23 40.2 | 5 | | NGC5457-2 | ACS/WFC | WFC | F814W | 10 | 1800 | 2002-11-15 10:59:07 | hlsp_legus_hst_acs_ngc5457-nw1_f814w_v1_drc | 9492 | ngc5457-nw1 | | | | | |
| Display | | FITS | 14 02 57.6 54 23 40.2 | 4 | | NGC5457-2 | ACS/WFC | WFC | F814W/F555W/ F435W | 30 | 5580 | 2002-11-15 10:21:36 | hlsp_legus_hst_acs_ngc5457-nw1_f814w_f555w_f435w_v1_drc | | ngc5457-nw1 | | | | | |
| Display | | FITS | 14 02 42.72 54 26 01.3 | 5 | | NGC5457-5 | ACS/WFC | WFC | F435W | 24 | 4320 | 2003-01-14 05:19:59 | hlsp_legus_hst_acs_ngc5457-nw2_f435w_v1_drc | 9492 | ngc5457-nw2 | | | | | |
| Display | | FITS | 14 02 42.72 54 26 01.3 | 5 | | NGC5457-5 | ACS/WFC | WFC | F555W | 24 | 4320 | 2003-01-14 05:29:03 | hlsp_legus_hst_acs_ngc5457-nw2_f555w_v1_drc | 9492 | ngc5457-nw2 | | | | | |
| Display | | FITS | 14 02 42.72 54 26 01.3 | 5 | | NGC5457-5 | ACS/WFC | WFC | F814W | 24 | 4320 | 2003-01-14 05:37:58 | hlsp_legus_hst_acs_ngc5457-nw2_f814w_v1_drc | 9492 | ngc5457-nw2 | | | | | |
| Display | | FITS | 14 02 42.72 54 26 01.3 | 4 | | NGC5457-5 | ACS/WFC | WFC | F814W/F555W/ F435W | 72 | 12960 | 2003-01-14 05:19:59 | hlsp_legus_hst_acs_ngc5457-nw2_f814w_f555w_f435w_v1_drc | 9492 | ngc5457-nw2 | | | | | |
| Display | | FITS | 14 02 43.68 54 26 07.4 | 5 | | NGC5457-5 | ACS/WFC | WFC | F435W | 18 | 3240 | 2003-01-15 06:56:50 | hlsp_legus_hst_acs_ngc5457-nw3_f435w_v1_drc | 9492 | ngc5457-nw3 | | | | | |
| Display | | FITS | 14 02 43.68 54 26 07.4 | 5 | | NGC5457-5 | ACS/WFC | WFC | F555W | 18 | 3240 | 2003-01-15 07:05:54 | hlsp_legus_hst_acs_ngc5457-nw3_f555w_v1_drc | 9492 | ngc5457-nw3 | | | | | |
| Display | | FITS | 14 02 43.68 54 26 07.4 | 5 | | NGC5457-5 | ACS/WFC | WFC | F814W | 18 | 3240 | 2003-01-15 07:14:50 | hlsp_legus_hst_acs_ngc5457-nw3_f814w_v1_drc | 9492 | ngc5457-nw3 | | | | | |
| Display | | FITS | 14 02 43.68 54 26 07.4 | 4 | | NGC5457-5 | ACS/WFC | WFC | F814W/F555W/ F435W | 54 | 9720 | 2003-01-15 06:56:50 | hlsp_legus_hst_acs_ngc5457-nw3_f814w_f555w_f435w_v1_drc | 9492 | ngc5457-nw3 | | | | | |

Results 1-20 of 1831

Show 20 results per page

Previous 1 2 3 4 5 6 7 8 9 ... 92 Next

Figura 3. Primera página de resultados para la búsqueda de M101

Columns

[Show all columns](#) [Restore original column order](#)

| Name | Unit | Datatype | Description |
|---|---------|-----------|--|
| URL | | char[*] | Link to data |
| RA | deg | double | RA (J2000) |
| DEC | deg | double | Dec (J2000) |
| Level | | int | Processing level: 1=exposure 2=combined 3=mosaic 4=color 5=HLSP |
| Target | | char[*] | Proposal target name |
| Detector | | char[*] | Detector |
| Aperture | | char[*] | Instrument aperture or slit |
| Spectral_Elt | | char[*] | Filter or spectral element name |
| NExposures | | int | Number of exposures combined in this image |
| ExpTime | s | double | Total exposure time |
| StartTime | | char[*] | Start time of first exposure |
| Columns below are hidden - Drag to change | | | |
| Dataset | | char[*] | Name of image: HST_propid_visit_detector_spectraelt_exposure |
| PropID | | char[*] | HST proposal number (or "multi" for combined images) |
| VisitNum | | char[*] | Visit number within proposal |
| PI_Name | | char[*] | PI last name |
| DAOCat | | char[*] | Processing status for DAOphot catalog |
| SEXCat | | char[*] | Processing status for SExtractor catalog |
| Mode | | char[*] | Data collection mode |
| DBCreationDate | | char[*] | Date when this dataset was added to database |
| Source | | char[*] | Source for this dataset (one of HLA, ECF, CADDC, DADS, HLSP, HSTCACHE) |
| Wavelength | 0.1nm | double | Characteristic wavelength for bandpass |
| Format | | char[*] | Format of image |
| ReleaseDate | | char[*] | Date when these data are made public (GMT) |
| NReleaseDate | | long | Date when these data are made public (seconds since 1970) |
| Title | | char[*] | Summary title |
| naxis | | int[*] | Image size (pixels) |
| scale | deg/pix | double[*] | Pixel scale |
| naxes | | int | WCS info |
| crpix | pix | double[*] | WCS info |
| crval | deg | double[*] | WCS info |
| cd_matrix | deg/pix | double[*] | WCS info |
| filename | | char[*] | Filename (comma-separated list for color) |
| regionSTCS | | char[*] | STC/S footprint region description |

Tabla 2. Descripción de las columnas de la tabla de resultados.

La complicación es seleccionar el fichero, o ficheros que nos interesan. Al menos, podemos ver que para la primera fila, en la octava columna, figura que el instrumento (detector) es el WPF2 y que por tanto se trata de una fotografía, la observación se hizo con el filtro F606W, cuyo efecto sobre la luz recibida la hemos visto en la figura 1. Los datos como ascensión recta, declinación, número de exposiciones, etc. nos ayudan a entender lo que hay en el fichero pero no a imaginar cómo se ve, para avanzar

necesitaremos la aplicación informática, es el momento de empezar con ella y luego volveremos a retomar la descarga de ficheros FITS

3. Aplicación informática Explora FITS.

Esta parte del documento describe una aplicación que he escrito para explorar los ficheros FITS, es una aplicación para el sistema operativo Windows con el obvio nombre: Explora FITS.

Para entender mejor el funcionamiento de Explora FITS hay que comentar algunos aspectos básicos del formato FITS.

Un fichero FITS contiene uno o varios bloques (unidades), que se denominan HDU (Header and Data Unit). Todas las HDU van precedidas por una cabecera donde se especifican los valores de multitud de parámetros y se pueden incluir comentarios y a continuación puede ir una matriz de datos, esta matriz puede ser una tabla o una imagen.

El trabajo de la aplicación es detectar cuantas unidades hay presentes en el fichero y para cada una de ellas mostrar la cabecera, parámetros y la imagen o tabla que la acompaña.

En el caso de las tablas se visualizan las columnas de datos para una serie de filas, con una excepción: algunos archivos de espectros, como los que se pueden obtener del SDSS (The Sloan Digital Sky Survey) en [Data Release 16 | SDSS](#), contienen los datos de los espectros como tablas dentro del archivo FITS, estas tablas contienen decenas de miles de columnas (incluso centenares de miles) que la aplicación no puede mostrar en una tabla. Formalmente las tablas contienen un número pequeño de columnas, pero algunas de las columnas están formadas por decenas de miles de datos. La aplicación muestra en esas columnas, el primer y último dato y el número de datos intermedios que no se muestran. Cuando se exportan estas tablas si se incluyen todos los datos obteniéndose ficheros de gran tamaño que, por ejemplo, no pueden tratarse en una hoja de cálculo porque superan las capacidades de estas aplicaciones. El fichero que contiene los espectros de alta calidad de la SDSS contiene 8.646 espectros, cada espectro es una fila de la tabla y cada fila tiene una longitud de 127.872 bytes, el archivo FITS ocupa 1,02 Gb y si exportamos la tabla el fichero resultante ocupa 2,23Gb. En el apartado 6 se tratan los espectros codificados de esta forma en el archivo FITS.

Con las matrices de datos, si se quieren visualizar como imágenes hay que normalizarlas para convertir los datos en píxeles de una imagen, como se mencionó anteriormente. El formato FITS admite matrices de hasta 999 dimensiones, pero Explora FITS sólo trata imágenes de dos dimensiones (fotografías) y aunque contempla bloques de datos de tres dimensiones, considerará que son tantas imágenes de dos dimensiones como indica la tercera dimensión. Las dos dimensiones astronómicas por excelencia son la ascensión recta (AR) y la declinación (DEC), por lo que en lo sucesivo usaré AR como sinónimo de dimensión X y DEC en lugar de eje Y.

Para las imágenes fotográficas, es muy importante especificar la zona del firmamento a la que corresponden, y para las imágenes de espectros el rango de longitudes de onda que representan, en general, el rango de variación del valor de las coordenadas X, Y (que casi siempre son la ascensión recta -AR- y la declinación -DEC-).

El formato FITS define estos rangos de variación de las coordenadas mediante una serie de parámetros en las cabeceras de la HDU y permite hacerlo de varias formas. En todos los casos la cabecera debe incluir un elemento de referencia que es un punto de la imagen (píxel x, píxel y), o más apropiadamente los dos índices de un elemento de la matriz de datos. Además, debe incluir los valores reales de las coordenadas (AR y DEC) de ese punto de referencia. La forma más sencilla de completar la información es incluir otro par de valores que son cuanto varía la coordenada X al desplazarnos un punto a la derecha o izquierda del punto de referencia y lo mismo para la coordenada Y. Con estas tres parejas de valores podemos calcular las coordenadas de cualquier punto de la imagen (de cualquier elemento de la matriz de datos), otra forma más precisa y por tanto la preferida es incluir una matriz 2x2 (CD) que permite convertir el vector de píxeles (inc px, inc py), respecto del punto de referencia, en variaciones de coordenadas (inc AR, inc DEC) respecto a las coordenadas del punto de referencia.

$$\begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline \text{inc_AR} & & \text{CD11} & \text{CD12} & & \text{inc_px} \\ \hline \text{inc_DEC} & = & \text{CD21} & \text{CD22} & \times & \text{inc_py} \\ \hline \end{array}$$

Ecuación 1. Cálculo de la distancia, en coordenadas, al punto de referencia a partir de la distancia en píxeles

La matriz inversa de CD permite realizar la transformación de coordenadas en píxeles.

Llegados hasta aquí, es el momento de arrancar la aplicación. La aplicación está formada por un conjunto de ficheros (capítulo 6 de este documento) que habremos descargado del repositorio:

<https://github.com/labotecta/Explora-FITS>

Situamos estos ficheros en cualquier carpeta del ordenador, incluso en una memoria USB, porque no necesita instalación, lo que si precisa es que nuestro PC tenga instaladas unas librerías de Microsoft, lo cual no es un problema porque si ejecutamos la aplicación y no están, nos pedirá que las instalemos y nos facilitará la forma de hacerlo.

El archivo ejecutable es el ExploraFits.exe y al abrirlo mostrará dos ventanas en pantalla (figura 4). Una de ellas ocupará toda la pantalla y la otra más pequeña, se sitúa en primer plano, abajo a la derecha.

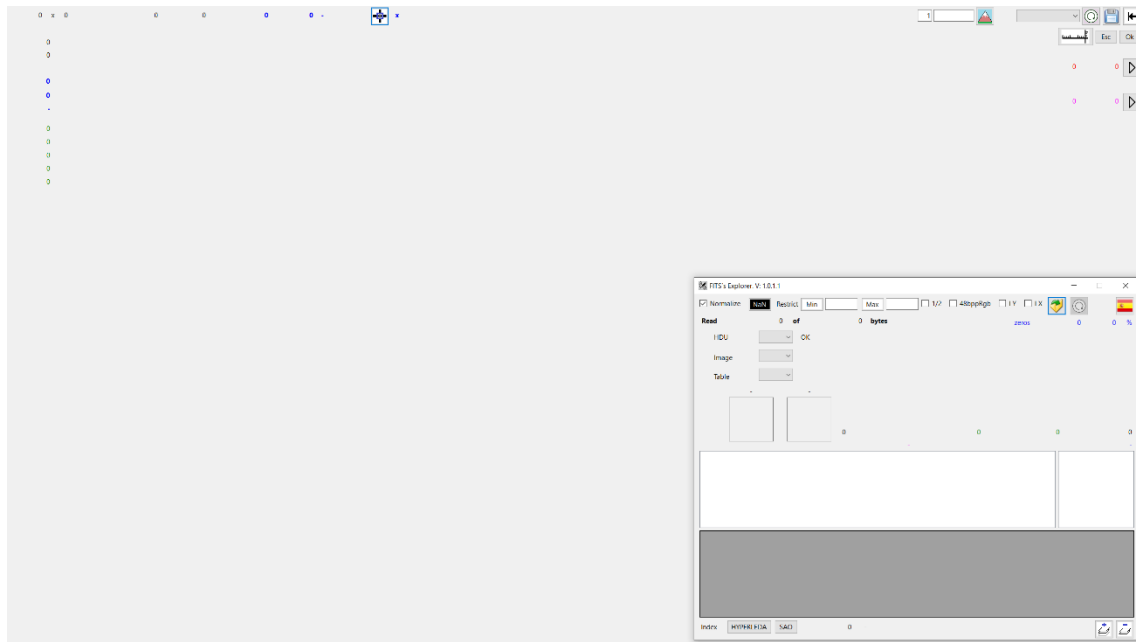


Figura 4. Ventanas de la aplicación Explora FITS

En la ventana grande se mostrarán las imágenes y se realizarán algunas acciones sobre las mismas, en especial la superposición de objetos celestiales contenidos en catálogos.

La ventana pequeña (figura 5) es donde iniciar las operaciones, como seleccionar el fichero FITS a procesar y donde se mostrarán las cabeceras y tablas contenidas en él.

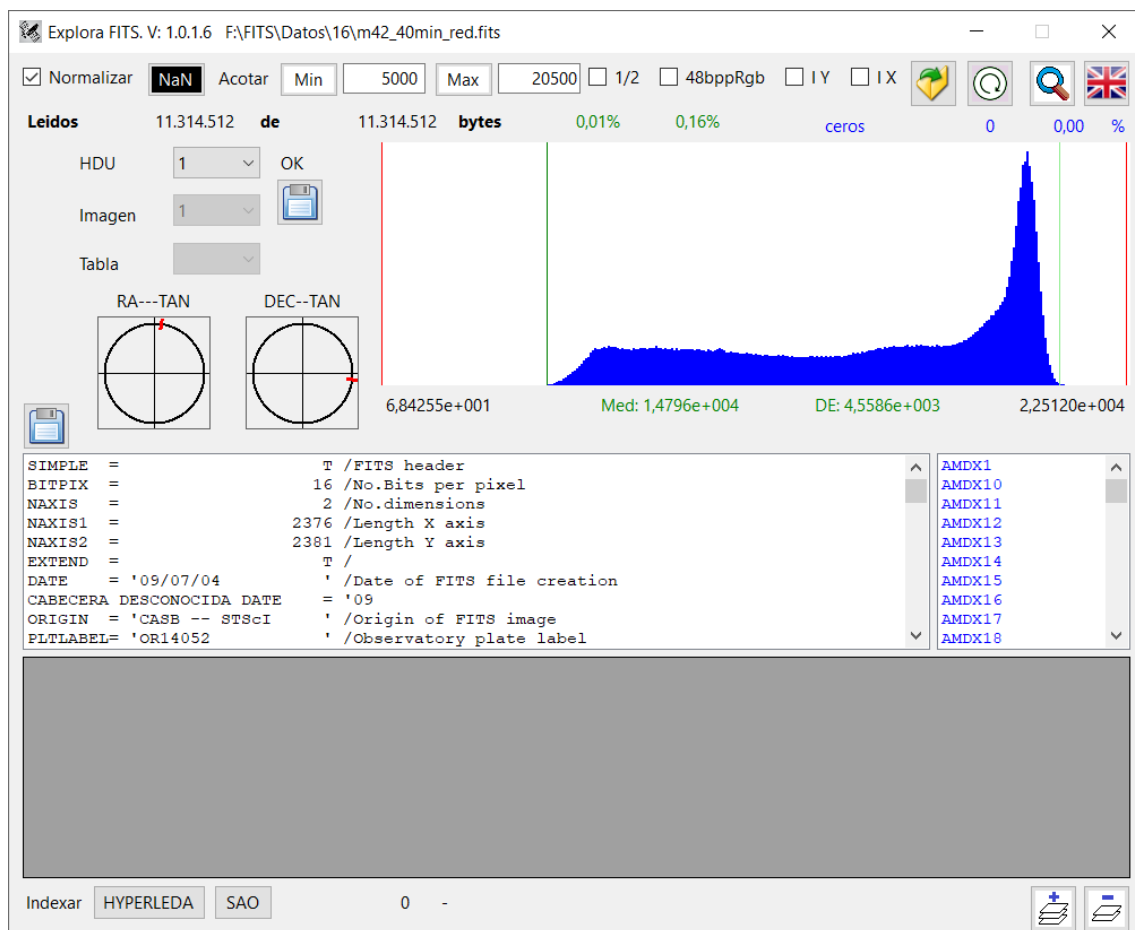


Figura 5. Ventana principal de la aplicación

3.1 Ventana principal.

En la figura 6 se han marcado 6 zonas en la ventana principal:

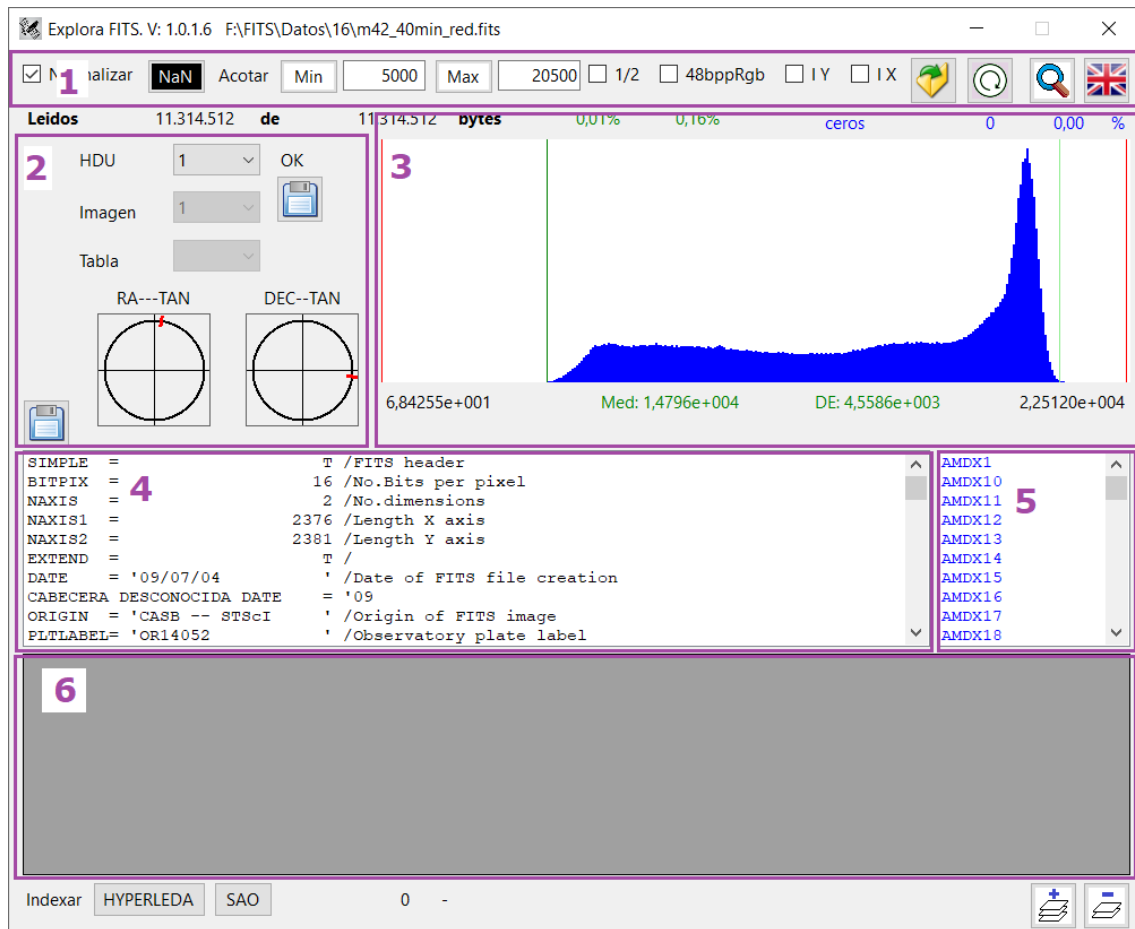


Figura 6. Zonas de la ventana principal de la aplicación.

1. Lectura del fichero FITS y parámetros básicos para la visualización de las imágenes
2. Número de bloques HDU y contenido de estos. Permite seleccionar la HDU con la que trabajar.
3. Histograma que muestra la frecuencia de aparición de los valores en la matriz de datos. Útil para normalizar las imágenes.
4. Cabeceras incluidas en cada HDU
5. Lista ordenada alfabéticamente de todos los parámetros incluidos en la cabecera de la HDU, al hacer clic sobre ellos se muestra su valor.
6. Tabla contenida en la HDU, si es que incluye una.

La parte inferior es una zona más que veremos al final.



Lo primero es abrir un fichero FITS mediante este botón. La aplicación lo analizará y creará una lista con las HDU que contenga, es la primera lista desplegable de la zona 2, la que tiene el rótulo HDU a su izquierda, en la figura 7 se muestra un caso con 5 HDUs

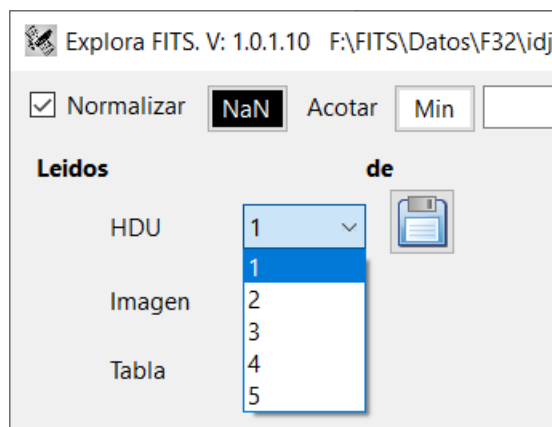


Figura 7. Lista desplegable con las HDU del fichero FITS.

A la derecha aparece el botón para exportar todos los datos del archivo FITS en forma de ficheros CSV: un fichero para cada una de las cabeceras de las HDUs y otros tantos para los datos o tablas contenidas en las mismas.

Esta aplicación sólo admite ficheros FITS de hasta 2 Gbytes, si se intenta abrir uno de mayor tamaño, recibiremos un mensaje informándonos de ello y dándonos la posibilidad de que extraigamos a CSV el contenido del archivo, tal como haría el botón comentado en el párrafo anterior.

Una vez seleccionado un fichero FITS se mostrarán, las cabeceras de la HDU (zona 4) y la lista de parámetros (zona 5) figura 8.

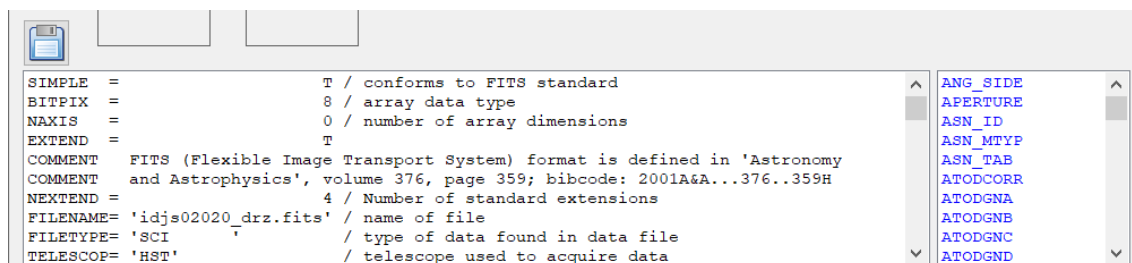


Figura 8. Cabeceras y parámetros de la HDU.



El botón en la parte superior izquierda de la lista de cabeceras permite escribir estas cabeceras en un fichero de texto.

Si la HDU contiene una tabla se verá en la zona 6 (figura 9)

| ROOTNAME | EXTNAME | EXTVER | A_0_2 | A_0_3 | A_0_4 | A_1_1 |
|-----------|---------|--------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| idjs02hwq | SCI | 1 | 9,46198776524919E-08 | 1,90387041960406E-11 | -1,6373003756199E-14 | -2,9709966754903E-06 |
| idjs02hwq | SCI | 2 | -1,064800921188E-08 | 2,36026897013524E-12 | 5,07730159533929E-15 | -2,9211535091318E-06 |
| idjs02hyq | SCI | 1 | 9,46198776524919E-08 | 1,90387041960406E-11 | -1,6373003756199E-14 | -2,9709966754903E-06 |
| idjs02hyq | SCI | 2 | -1,064800921188E-08 | 2,36026897013524E-12 | 5,07730159533929E-15 | -2,9211535091318E-06 |
| idjs02i0q | SCI | 1 | 9,46198776524919E-08 | 1,90387041960406E-11 | -1,6373003756199E-14 | -2,9709966754903E-06 |

Figura 9. Tabla de la HDU.

Cuando se hace doble clic con el ratón en una celda de la tabla, se copia el contenido de esta celda al portapapeles, excepto si es una celda que contiene más de cinco valores. Como ya se comentó, cuando una columna contiene varias sub-columnas sólo se visualiza el primer dato, el último dato y el número de datos intermedios, en este caso se solicita un fichero en el que se copiará el contenido de todas las sub-columnas de la celda, no sólo lo que se visualiza. Los datos se copian en vertical, un dato en cada línea del fichero de salida.



Cuando hay una tabla en la zona 2 se muestra, a la derecha de la lista desplegable Tabla, el botón que permite escribir la tabla en un fichero de texto (figura 10).

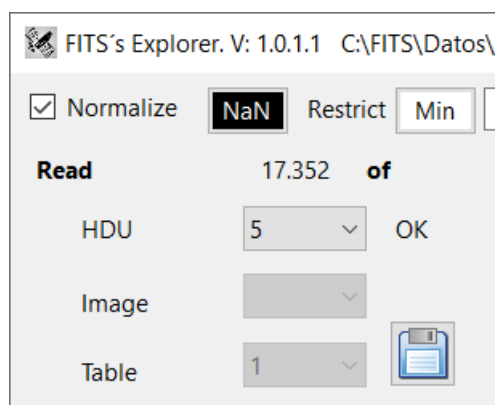
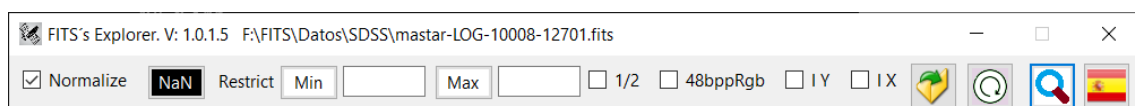


Figura 10. Las tablas se pueden escribir en un fichero de texto.

Si la HDU tiene una imagen se dibujará en la ventana de fondo junto a los datos relevantes de posición en el firmamento. La imagen se dibuja de acuerdo con las especificaciones de la zona 1.



☒ Normalize

Si se marca este selector, los datos se normalizan entre 0 y 255 para convertirlos en píxeles, teniendo en cuenta los valores de las casillas a la derecha de los botones Min y Max



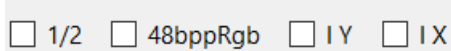
Estos valores son las cotas que queremos imponer a los datos a efectos visuales: todos los datos con valor inferior o igual al mínimo especificado se consideran cero y todos los valores mayores o igual que el máximo se consideran iguales a 255, el resto de los valores se normalizan entre el mínimo y el máximo. Los botones Min y Max permiten visualizar en la imagen los datos que hemos hecho cero por ser inferiores al mínimo y los que se consideran 255 por ser mayores que el máximo. Cuando se pulsa el botón Min pasa a tener el fondo rojo y si se pulsa el Max adquiere fondo azul, esto indica que cuando se dibuje la imagen los pixeles considerados cero se pintarán en rojo y los

convertidos en 255 se pintarán en azul. Si se vuelve a pulsar uno de estos botones pasará a su estado normal, fondo blanco, con lo cual los datos convertidos se mostrarán conforme al valor al que se los ha convertido: los cero en negro y los 255 en blanco.

El valor que se especifique para las cotas mínima y máxima tiene una enorme trascendencia en cómo se dibuja la imagen y para ayudarnos a ver los mejores valores se dispone del histograma de la zona 3 que se comenta un poco después.



Color de los píxeles correspondientes a datos no disponibles. Las lecturas de los instrumentos no siempre proporcionan valores para todos los datos de la matriz de datos, la zona observada no tiene por qué ser exactamente rectangular, hay huecos entre los CCD de las cámaras porque es imposible que las juntas encajen al 100%, es una composición de imágenes y por otros motivos. Un dato no disponible no es lo mismo que un dato cero y cuando dibujemos la imagen podemos pintarlo de color blanco, negro o marrón a nuestra elección, al pulsar el botón NaN cambia su fondo entre esos tres colores.



Si se marca el selector 1/2, en lugar de dibujar los datos se dibuja la raíz cuadrada de los mismos, esto atenúa significativamente las diferencias de valor entre ellos haciendo que se vean puntos que de otra forma quedarían oscurecidos por el gran contraste con los más brillantes. El botón IY gira la imagen sobre el eje Y y el botón IX hace lo propio sobre el eje X. Si se marca el selector 48bppRgb la imagen se dibujará con píxeles de 16 bits, en realidad de 13 bits, que no están acotados entre 0 y 255 sino entre 0 y 8.192 lo que amplía considerablemente los tonos de la imagen. Desaconsejo utilizarla porque ralentiza las operaciones de forma drástica y su aporte visual no es apreciable.



Quando se modifica alguno de los parámetros antes comentados, no se redibuja automáticamente la imagen (para imágenes grandes es un proceso lento) y una vez hechos todos los cambios que se consideren necesarios hay que pulsar este botón.



Con este botón se abre una nueva ventana para realizar búsquedas en los catálogos que incluye la aplicación (figura 11) para obtener información adicional sobre los objetos que estemos tratando.

Buscar

AR

288,11817

grados

DEC

51,447989

grados

Margen

10

arcosegundos

Hyperleda

▼

Buscar

| n | Nombre/Número | AR | DEC |
|---|--------------------|---------|--------|
| 0 | PGC2394431 2394431 | 288,186 | 51,457 |
| 1 | PGC2396241 2396241 | 288,267 | 51,569 |
| 2 | PGC2396419 2396419 | 288,270 | 51,580 |



Figura 11. Ventana para realizar búsquedas en los catálogos.

Si se hace doble clic con el ratón sobre una fila de la tabla de resultados de la búsqueda se mostrará una ficha con los datos del objeto correspondiente (figuras 26 y 27).

Si queremos realizar una búsqueda cuando tenemos una tabla en la página principal que contenga dos columnas con los datos de ascensión recta y declinación (figura 12), se pueden marcar las casillas de estos datos que se copiarán a la ventana de búsqueda.

| PLATE | IFUDESIGN | MJD | IFURA | IFUDEC | OBJRA | OBJDEC | PSFMAG | MNGTARG2 | HELIO |
|-------|-----------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------------------|----------|---------|
| 10008 | 12701 | 57936 | 288,11817 | 51,447989 | 288,11817 | 51,447989 | -999 13,388 12,751 12,358 -999 | 1280 | -134,02 |
| 10008 | 12701 | 57938 | 288,11817 | 51,447989 | 288,11817 | 51,447989 | -999 13,388 12,751 12,358 -999 | 1280 | -134,02 |

Figura 12. Copiar datos de la tabla de la ventana principal al formulario de búsqueda.

 o  Cambian el idioma de la aplicación.

Además de dibujarse la imagen, la zona 3 muestra un histograma que nos informa de la distribución de los valores dentro de la matriz de datos de la HDU que sirve para dibujar la imagen (figura 14).



Figura 14. Histograma de la distribución de los valores de la matriz de datos.

El histograma de la figura 12 nos indica varias cosas:

- El valor especificado como cota mínima afecta al 0,00% de los datos distintos de cero (color verde).

- El valor especificado como cota máxima afecta al 0,15% de los datos distintos de cero (color verde).
- La matriz de datos contine 99.149 ceros que son el 9,46% de todos los datos (en azul arriba a la derecha)
- El valor máximo es 8,3698e+001
- La media de los valores es 1,2123e+000
- La desviación estándar de los datos es 9,6508e-001
- El valor en el origen de accisas, 2,5441e-001 no es el valor mínimo de los datos, es la anchura de una barra del histograma, el valor mínimo de accisas del histograma siempre es 0.
- Abajo, en color morado se muestra el valor 1,98433e+001 que corresponde a la línea vertical del mismo color, el número 1 es el número de datos que tienen ese valor (están dentro del histograma de esa posición) y el 99,99 es el porcentaje de datos con un valor menor o igual al de la línea vertical. La línea vertical se marca cuando se hace clic con el ratón sobre un lugar del histograma.



De forma similar a las tablas, cuando hay una imagen se muestra el botón de salvar a disco en la zona 2, a la derecha de la lista desplegable de imágenes (figura 15).

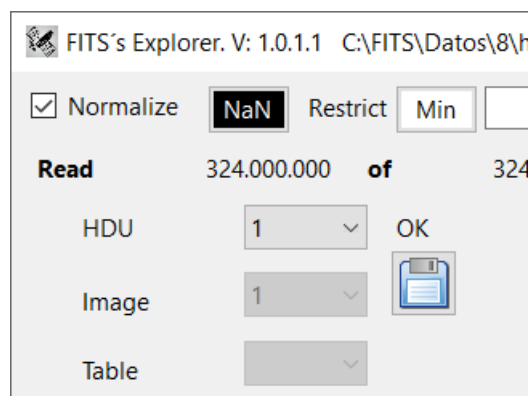


Figura 15. Exportar datos de la imagen.

Con esta opción se exporta (guarda) un fichero binario con la matriz de datos en el mismo formato (byte, int16, int32, float o double) que en el fichero FITS, sólo se guardan los datos precedidos de tres números int32 que son el tipo de datos y las dos dimensiones de la matriz y seis números en doble precisión con los siguientes datos:

- Píxeles x, y del punto de referencia (CRPIX1, CRPIX2)
- Valor de las coordenadas X, Y del punto de referencia (CRVAL1, CRVAL2)
- Variación de las coordenadas x, y al desplazarse un píxel respecto del punto de referencia (CDELT1, CDELT2).

Los ficheros exportados como BIN, se pueden leer y la aplicación crea un fichero FITS con las cabeceras imprescindibles.



Convertir la imagen en una vista de espectro. Este botón sólo se muestra con matrices de datos de una sola dimensión que podrían corresponder al registro de un espectro. Se verá con más detalle en el epígrafe 6. Espectros.

Para terminar con el panel principal, hay que decir que los relojes de la figura 16 muestran de una forma rápida las coordenadas angulares de la imagen visualizada.

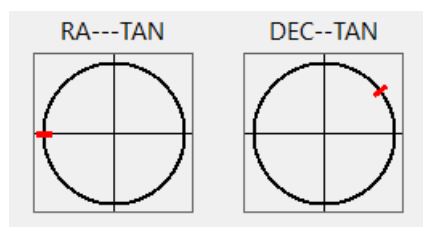
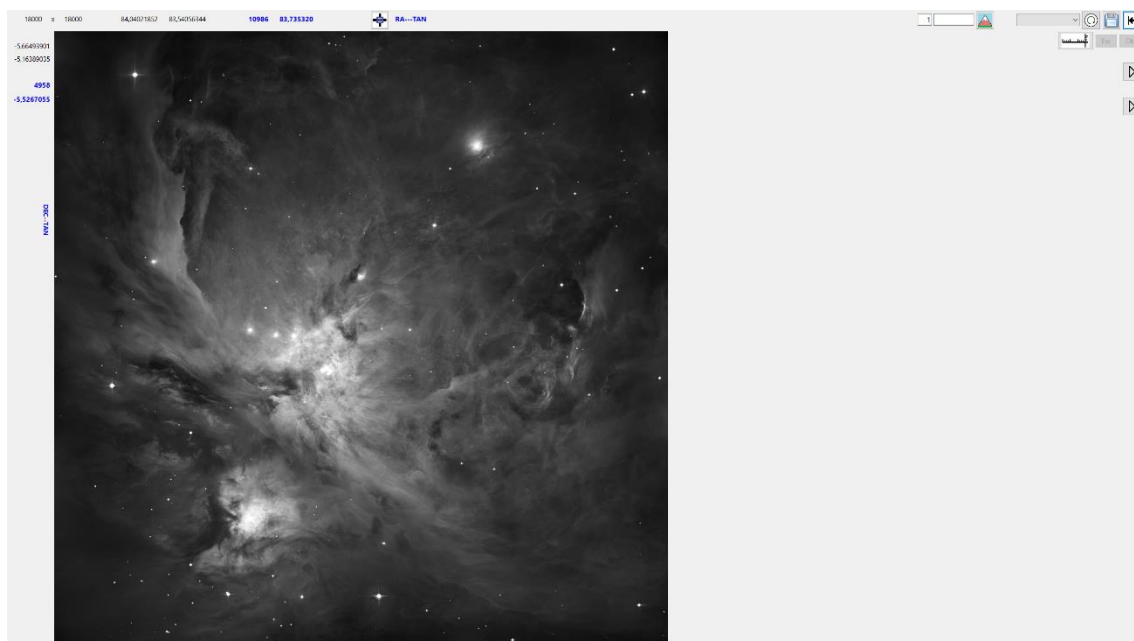


Figura 16. Coordenadas angulares de la imagen

3.2 Ventana donde se dibuja la imagen.

Ahora vamos a describir la ventana donde se dibuja la imagen (figura 17).



17. Ventana donde se dibuja la imagen

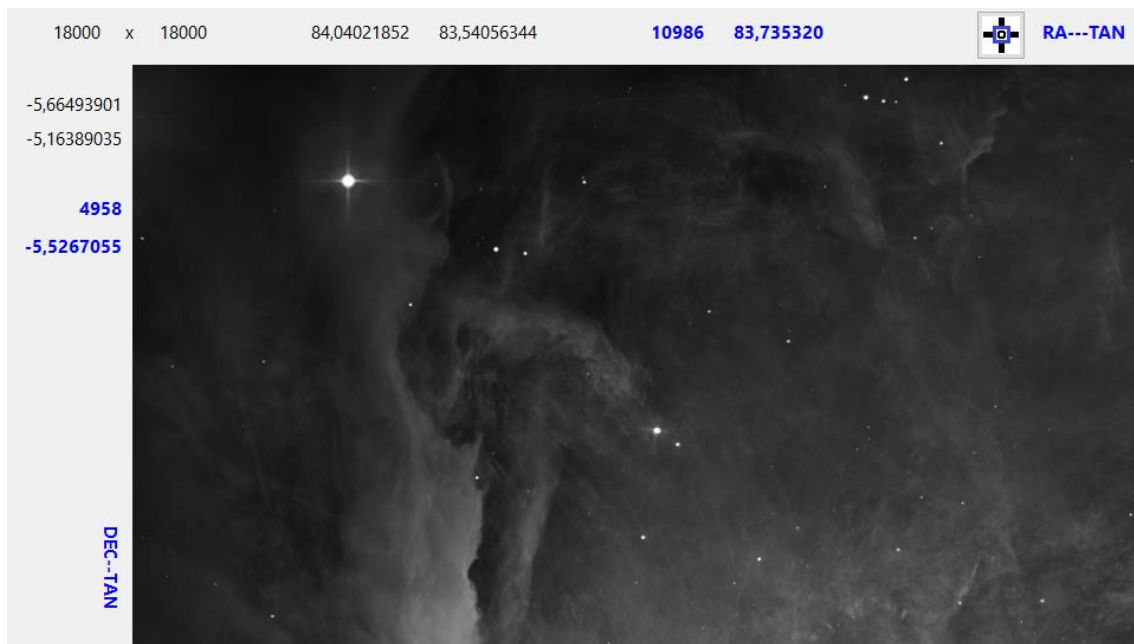


Figura 18. Coordenadas de la imagen

En el vértice superior izquierdo se muestran las dimensiones en píxeles de la imagen, que en la figura 16 son 18000x18000.

En la parte superior, a la derecha de las dimensiones, se ve el rango de variación de la coordenada X, habitualmente la ascensión recta, en la figura 18 varía entre 84,04021852 (valor en la esquina izquierda de la imagen) y 83,54056344 (valor en la esquina derecha de la imagen).

A continuación, en azul, la posición X del punto de referencia en píxeles y valor de la coordenada. En la figura 16: 10.896 y 83,735320.



Sigue el botón que dibuja un cuadrado azul sobre la imagen marcando el punto de referencia.

Por último, en horizontal, el rótulo del eje X especificado en el fichero FITS: RA---TAN (ascensión recta proyectada sobre el plano TANGente).

En vertical, debajo de las dimensiones de la imagen, el rango de variación de la coordenada Y. En la figura 18 -5,66493901 y -5,16389035.

En azul, la posición Y del punto de referencia en píxeles y valor de la coordenada, En la figura 16: 4958 y -5,5267055.

A continuación el rótulo del eje Y especificado en el fichero FITS: DEC---TAN (declinación proyectada en el plan TANGente).

Cuando se hace clic con el ratón sobre un punto de la imagen, se muestra en verde en la parte izquierda la posición en píxeles y valores de las coordenadas de ese punto, así como el valor correspondiente de la matriz de datos (figura 19).

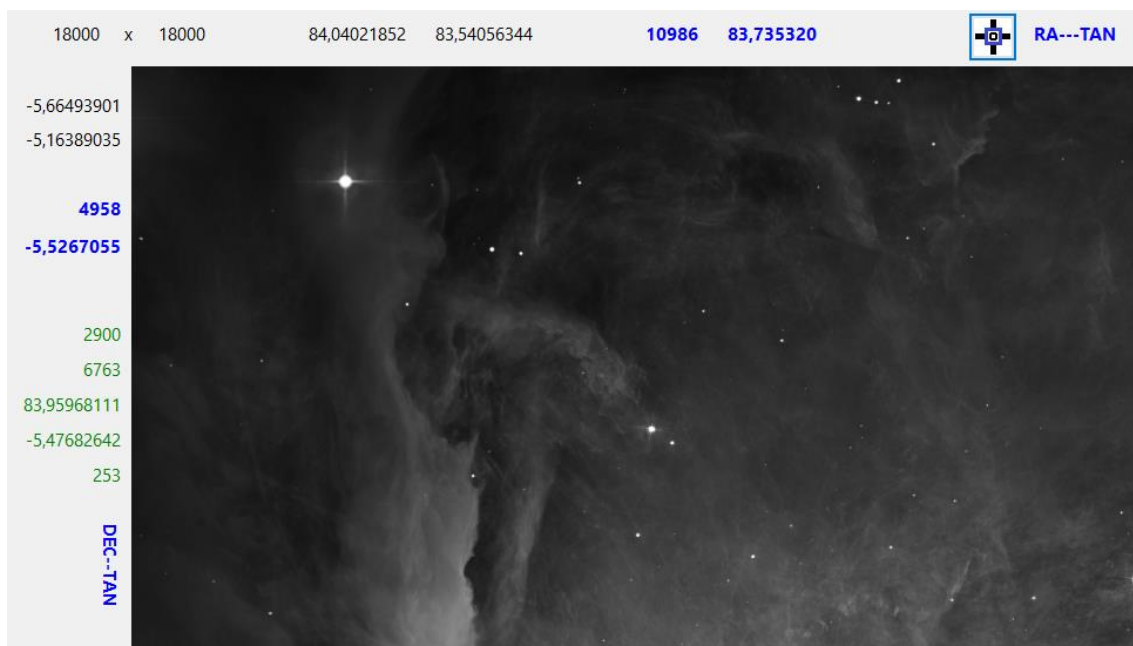


Figura 19. Datos de un punto de la imagen

Espectros. Las imágenes de espectros tienen una dimensión muy reducida en el eje Y, a veces de un solo píxel, cuando la aplicación detecta una imagen así de reducida la alarga en el eje Y para mejorar la visualización. La figura 20 muestra un espectro que tiene dimensión 1 en el eje y. Siempre que es posible, visualizar los espectros en la forma que se describe en el epígrafe 6. Espectros tiene algunas ventajas.



20. Imagen de un espectro alargada en el eje Y.

La figura 21 muestra la parte superior derecha de la ventana donde se dibuja la imagen.

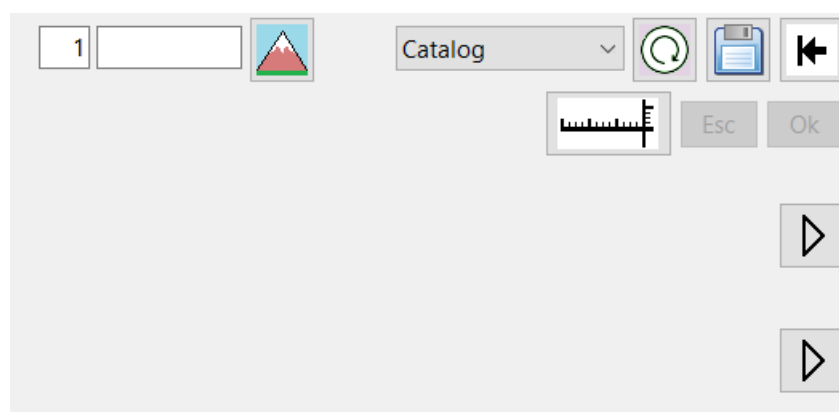


Figura 21. Herramientas del panel donde se dibuja la imagen.

← Este botón permite traer al primer plano a la ventana principal que puede estar oculta tras la ventana donde se dibuja la imagen.



Permite guardar en disco la imagen visualizada, con independencia de la resolución de la pantalla del PC donde se está ejecutando la aplicación, la imagen se guarda con las dimensiones originales del fichero FITS, en la figura 16 se muestra una imagen de aproximadamente 1000x100 píxeles que es lo máximo que permite la resolución del PC con el que se ha visualizado, pero al salvarla lo hará con los 18000x18000 píxeles de la imagen original.



Redibuja la imagen. La aplicación realiza superposiciones de elementos gráficos sobre la imagen, como la marca del punto de referencia y otros que veremos más adelante, que se pueden eliminar redibujando la imagen.

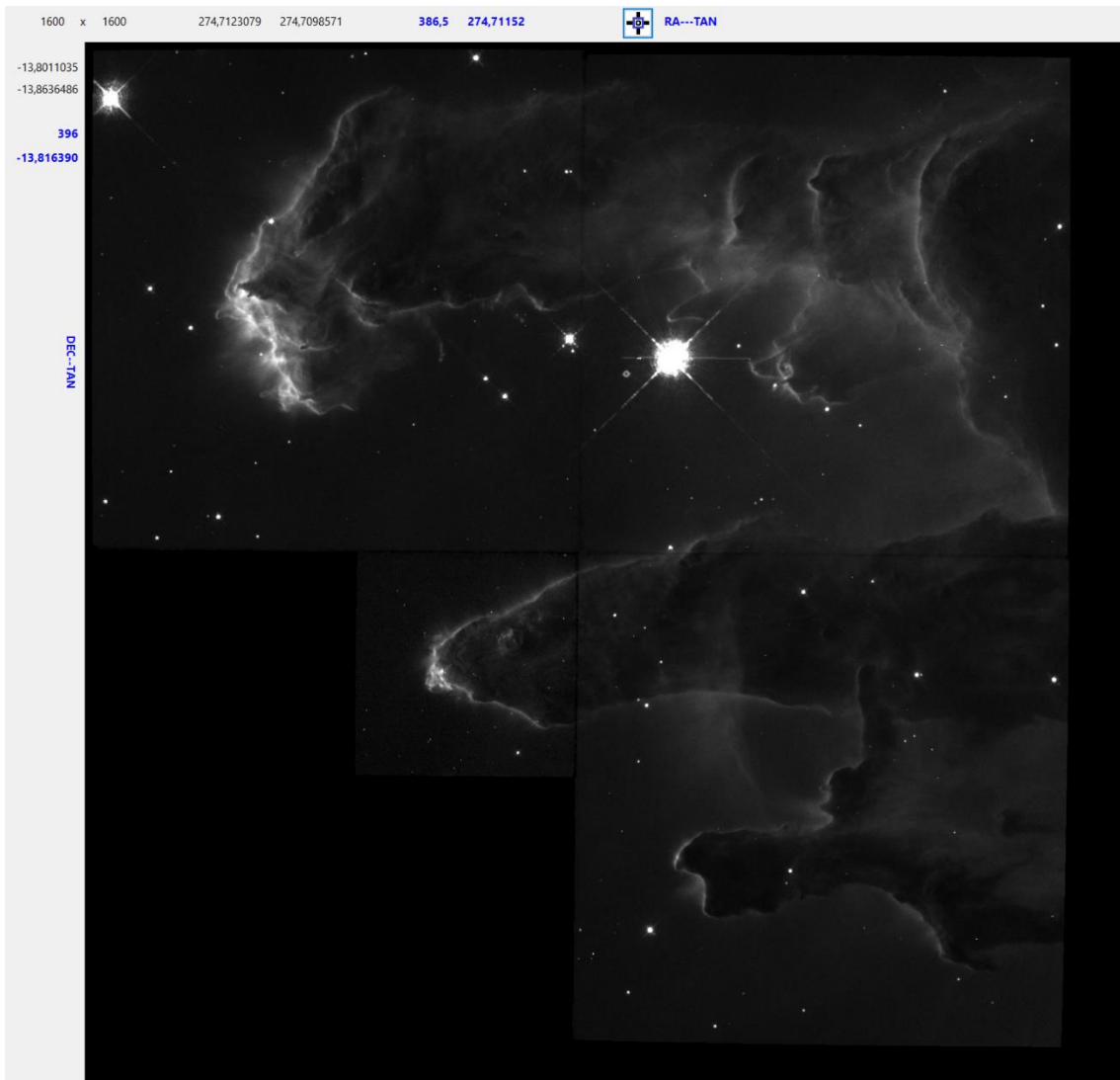


La aplicación puede crear una lista de puntos luminosos, o cimas de brillo. Buscará en la imagen los píxeles con un determinado brillo como mínimo que están rodeados por píxeles con un brillo inferior. Entendiendo por brillo al valor del correspondiente elemento de la matriz de datos. Este valor umbral se especifica en la casilla inmediatamente a la izquierda de este botón. A la izquierda de la casilla para el valor umbral, existe otra casilla en la que se puede especificar que la aplicación en lugar de trabajar con píxeles individuales lo haga con cuadrados de varios píxeles de lado, un valor de 3 corresponde a cuadrados de 3 píxeles de lado. La aplicación trabaja con la matriz de datos original y no con la imagen visualizada que estará adaptada a la resolución de la pantalla. Las “cimas” encontradas se mostrarán como cuadrados rojos en los lugares correspondientes de la imagen.

Basta que uno los píxeles que rodean a uno dado tenga un brillo superior al él para que se le descarte como una cima. Si ninguno es superior pero hay alguno, o varios, del mismo brillo se incrementa el radio de la circunferencia de búsqueda hasta que se descarte al píxel por aparecer uno con más brillo o se etiquete como cima porque todos tienen brillo inferior.

Al marcar las cimas sobre la imagen aparecerán cuadrados de distintas dimensiones indicando el radio hasta el que ha sido necesario ir. La lista de marcas se puede escribir en un fichero, por medio del botón que se mostrará a la derecha del botón que estamos comentando.

En la figura 20 se muestran las 220 marcas encontradas por la aplicación para una imagen de los pilares de la creación. Ninguno de los objetos marcados figura en el catálogo de HyperLEDA ni en el Smithsonian Astrophysical Observatory Star Catalog.



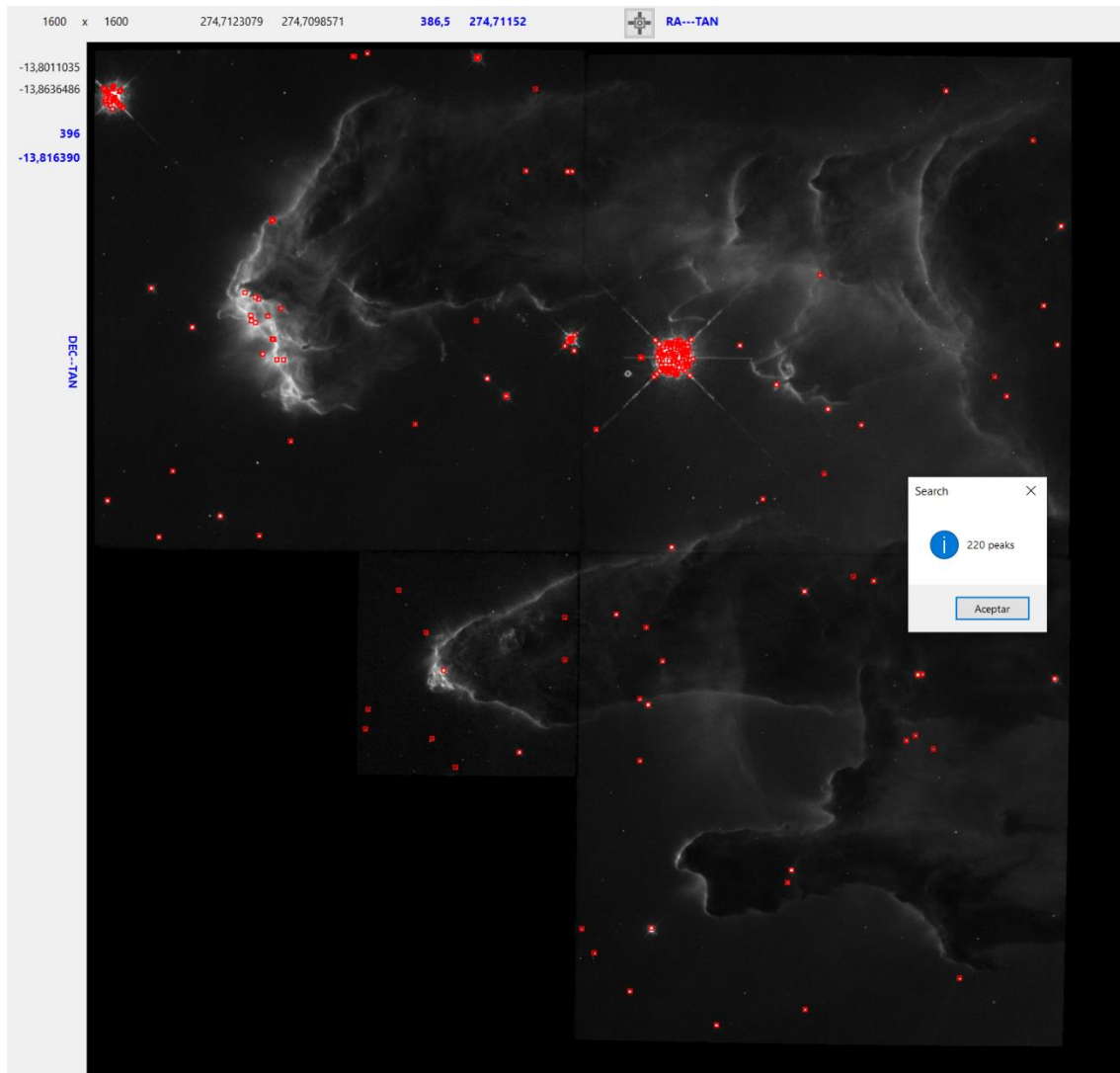
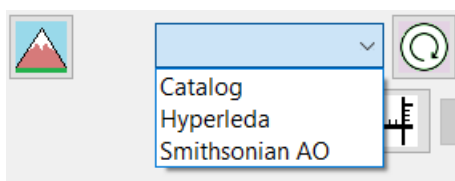


Figura 22. “Cimas” encontradas en la imagen de los pilares de la creación.



Catálogos. En esta lista desplegable se pueden seleccionar dos catálogos:

- HyperLEDA.
- Smithsonian AO

Base de datos HyperLEDA sobre la física de las galaxias.

<http://leda.univ-lyon1.fr>

HyperLEDA es una base de datos y una colección de herramientas para estudiar la física de las galaxias y la cosmología. El proyecto, iniciado en 1983, se mantiene actualmente

por una colaboración entre el Observatorio de Lyon (Francia) y el Observatorio Astrofísico Especial (Rusia).

El principio detrás de HyperLEDA es recopilar mediciones publicadas en la literatura y las encuestas modernas, y combinarlas en una descripción homogénea única de los objetos astronómicos. Esto permite al investigador comparar objetos ubicados a distancias muy diferentes. Este enfoque es una continuación de la famosa serie de catálogos bright galaxy (RC1, RC2, RC3) de Vaucouleurs y compañeros de trabajo. El resultado de la homogeneización es el catálogo Leda.

HyperLEDA no solo es utilizado por investigadores, sino también por amantes del cielo o astrónomos aficionados interesados en aprender más sobre galaxias, por estudiantes y por profesores. HyperLEDA se desarrolla en el marco del Observatorio Virtual, una iniciativa destinada a facilitar el intercambio y el uso de los datos a escala global. Todos los datos y el software están disponibles públicamente en código abierto para fines no comerciales.

Contiene datos de más de cinco millones y medio de objetos celestiales.

Smithsonian Astrophysical Observatory Star Catalog (1990)

<https://cdsarc.cds.unistra.fr/viz-bin/cat/I/131A>

Este catálogo se basa en una versión binaria original del Catálogo de Estrellas del Observatorio Astrofísico Smithsonian (SAO, SAO Staff 1966). El catálogo contiene el número SAO; la ascensión y declinación J2000; movimiento propio anual y su desviación estándar, magnitudes fotográficas y visuales; tipo espectral; referencias a fuentes; el identificador Durchmusterung (DM) si la estrella aparece en el Bonner DM (BD), Cordoba DM (CD) o Cape Photographic DM (CP); identificación de componentes; El número Henry Draper (Extensión) (HD o HDE).

Contiene datos de 259.000 estrellas.

Cuando se selecciona uno de los catálogos se marcan sobre la imagen los objetos contenidos en él, cuyas coordenadas están dentro del rango de las coordenadas de la imagen (figuras 23 y 24).

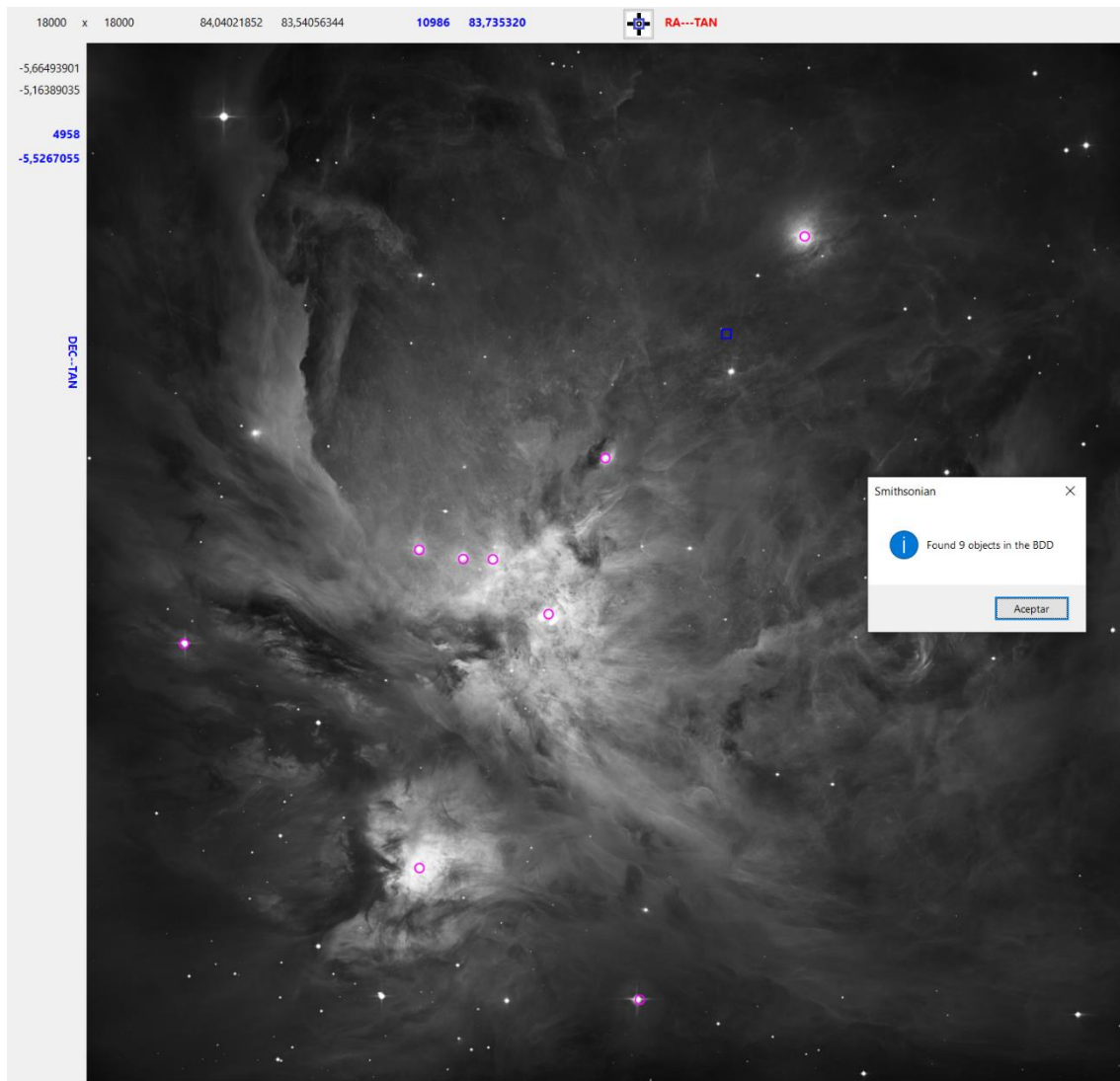


Figura 23. Objetos del catálogo del Smithsonian Astrophysical Observatory.

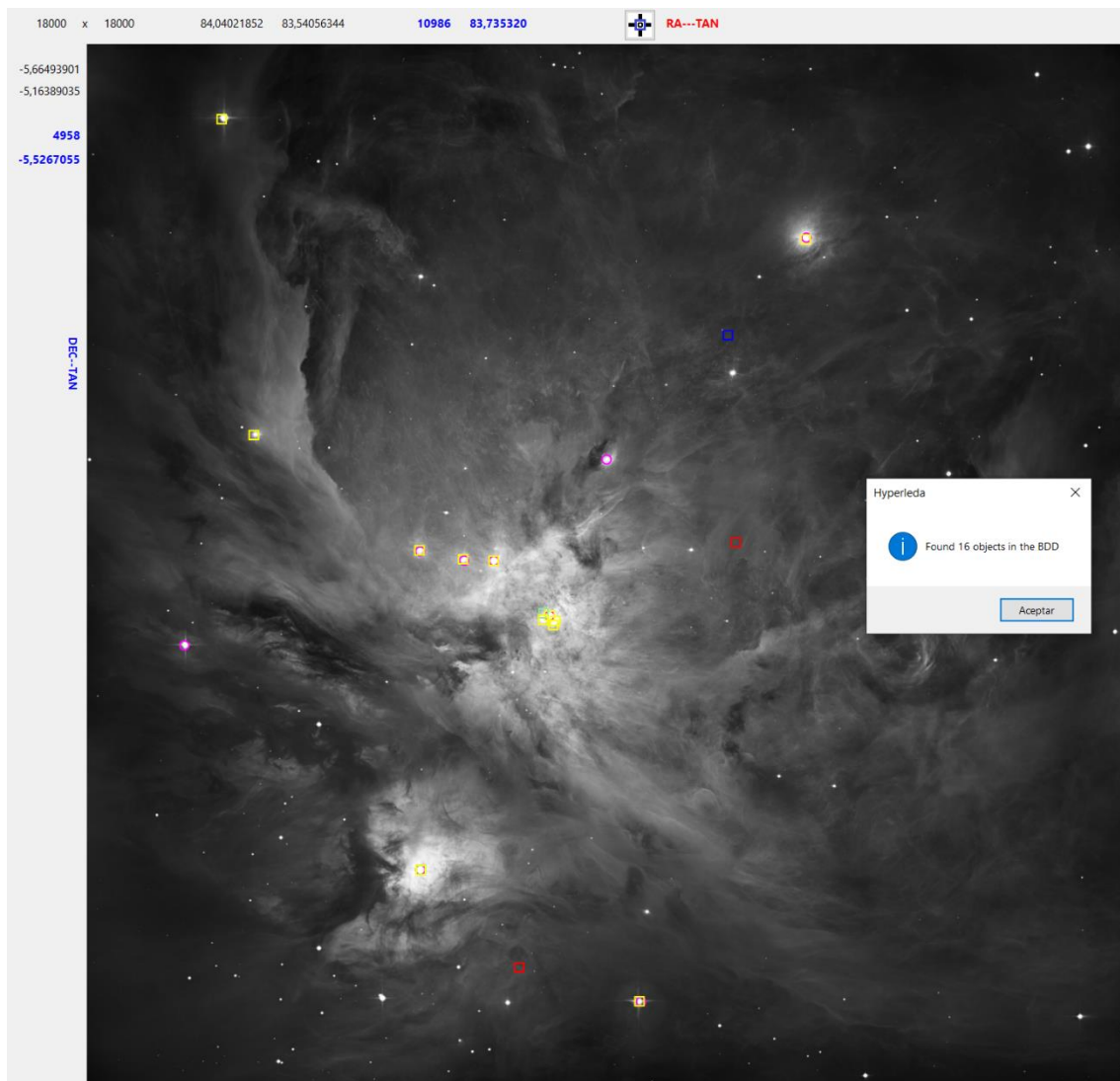


Figura 24. Objetos del catálogo HyperLEDA.

Si se hace clic con el ratón sobre una de estas marcas se muestra el nombre del objeto y sus coordenadas (figura 25). La información de los objetos HyperLEDA en rojo y en morado las del Smithsonian Astrophysical Observatory.

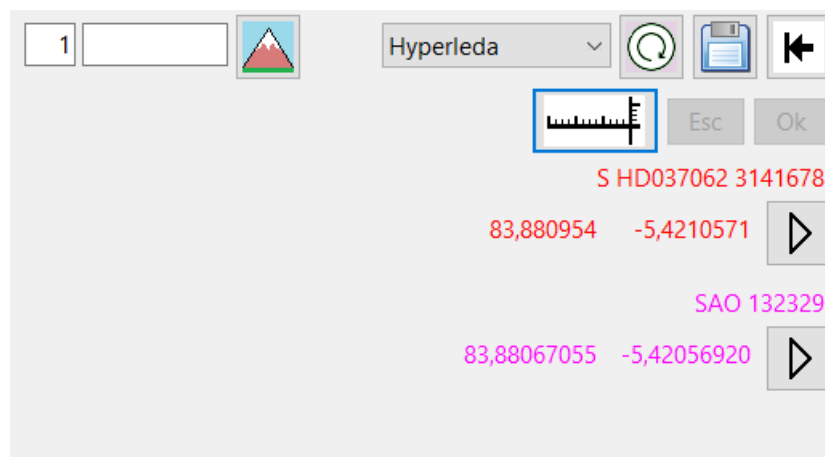


Figura 25. Nombre del objeto del catálogo.

Y si luego se pulsa el botón:

▷ Se muestra una ficha con la información del catálogo sobre ese objeto (figuras 26 y 27).

Ficha hyperleda ✕

| Data | Value | Unit | Description |
|----------|-------------|------|---------------------------------------|
| objname | HD037062 | | Principal name |
| pgc | 3141678 | | PGC number |
| objtype | S | | Type of object (G=galaxy, S=Star ...) |
| al1950 | 5.5511137 | hour | RA 1950 (hours decimal value) |
| de1950 | -5.4522274 | deg | DEC 1950 (degrees decimal value) |
| al2000 | 5.5920636 | hour | RA 2000 (hours decimal value) |
| de2000 | -5.4210571 | deg | DEC 2000 (degrees decimal value) |
| l2 | 209.0701945 | deg | Galactic longitude |
| b2 | -19.3427979 | deg | Galactic latitude |
| sgl | 322.1054075 | deg | Supergalactic longitude |
| sgb | -67.9492542 | deg | Supergalactic latitude |
| f_astrom | 0 | | Precision flag on astrometry |
| kt | 7.542 | mag | Total K-magnitude |

Clipboard

Figura 26. Ficha de un objeto del catálogo HyperLEDA.

Ficha Smithsonian AO ✕

| | | | | | |
|-------------------------------------|---------------|---|-------------------|---------------------|------------|
| SAO number | 132329 | Photographic magnitude mpg | 99.9 | Visual magnitude mv | 9.0 |
| Spectral type | B8 | Coded source of star number and footnotes | 9 | | |
| Código fuente de número de estrella | 6 | Number in the General Catalogue (GC) | 37062 | | |
| Coded source of proper motions | 1 | RA (J2000.0) (radians) | 1.46399388 | | |
| Coded source of spectral type | 0 | Annual proper motion in declination s/año | -0.0005 | | |
| Accuracy of visual magnitude | 1 | Dec (J2000.0) (radians) | -0.0946067 | | |
| Accuracy of photographic magnitude | 0 | Annual proper motion in declination arc s/año | +0.030 | | |
| Code for source catalog | 27 | | | | |
| Number in source catalog | 1674 | | | | |
| Durchmusterung (DM) identification | BD | | | | |
| Sign of DM zone | - | | | | |
| DM zone | 05 | | | | |
| DM number | 1326 | | | | |
| DM number (duplicate) | | | | | |

Clipboard

Figura 27. Ficha de una estrella del catálogo del Smithsonian Astrophysical Observatory.



Escalar imágenes.

Esta función permite determinar el rango de variación de las coordenadas en una imagen que no las tenga definidas, normalmente una imagen en formato bmp, jpeg, etc descargada de internet. Para hacerlo se apoyará en uno de los catálogos.



La aplicación además de leer ficheros FITS puede leer imágenes en los formatos gráficos habituales. Para leerlas se utiliza el mismo botón de la ventana principal que describimos para abrir un fichero FITS.

Si se abre un fichero con una extensión gráfica, la aplicación muestra una pequeña ventana que nos ofrece la posibilidad de asignar unos parámetros que permitan situar la imagen en el firmamento (figura 28)

Figura 28. Parámetros para posicionar una imagen en el firmamento.

Si no conocemos estos datos se pueden omitir pulsando el botón (skip). La aplicación crea un fichero con formato FITS con una sola HDU y unas cabeceras mínimas.

Cuando pulsamos el botón para escalar imágenes se nos muestra esta misma ventana y esta vez si que habrá que aportar unos datos aproximados:

- Los píxeles de un punto de referencia a nuestra elección.
- La ascensión recta y declinación que pensamos puede tener ese píxel
- Lo que creemos que varía la ascensión recta y la declinación al desplazarnos un píxel.

Esta información le permite a la aplicación asignar provisionalmente unas coordenadas a los vértices de la imagen que se ajustarán con la ayuda de uno de los catálogos.

Al pulsar el botón ok de la ventana de la figura 28, nos informará que debemos aportar al menos dos pares de puntos de referencia y un máximo de 32. Cada par de puntos está formado por un punto donde se haya marcado uno de los objetos del catálogo y un punto de la imagen donde debería estar realmente ese objeto del catálogo.

Cerramos el mensaje y seleccionamos uno de los catálogos para que nos muestre los objetos de este que caen dentro del rango de coordenadas provisionales que hemos definido.

A continuación hacemos clic con el ratón sobre la marca de un objeto del catálogo y seguidamente clic sobre el punto de la imagen en donde debería estar el objeto, con esto ya tendríamos el primer par. Hacemos clic sobre otro de los objetos marcados y un nuevo clic sobre el punto de la imagen donde debería estar, ya tenemos los dos pares de puntos, el mínimo requerido y podemos pulsar el botón a la derecha del botón “Esc” que mostrará el número de pares marcados, o añadir más pares, un mayor número de pares produce un mejor ajuste siempre que no nos hallamos equivocado en algún par señalando una posición incorrecta en la imagen para el objeto del catálogo. La aplicación realizará los ajustes de coordenadas, redibujará la imagen y pregunta si actualizar el fichero FITS que se había creado al leer la imagen, no tendremos otra oportunidad de hacerlo, pero si lo hacemos, el fichero FITS se sobrescribirá sin posibilidad de recuperarlo. Podemos seleccionar de nuevo el catálogo para comprobar que los objetos de este se sitúan en los lugares correctos de la imagen.

Veamos un ejemplo, tenemos la imagen de la figura 29 de la que si conocemos su posición en el firmamento lo cual nos permite ver cómo funciona la aplicación. En la imagen hemos marcado los objetos (estrellas) contenidos en el catálogo del Smithsonian Astrophysical Observatory.

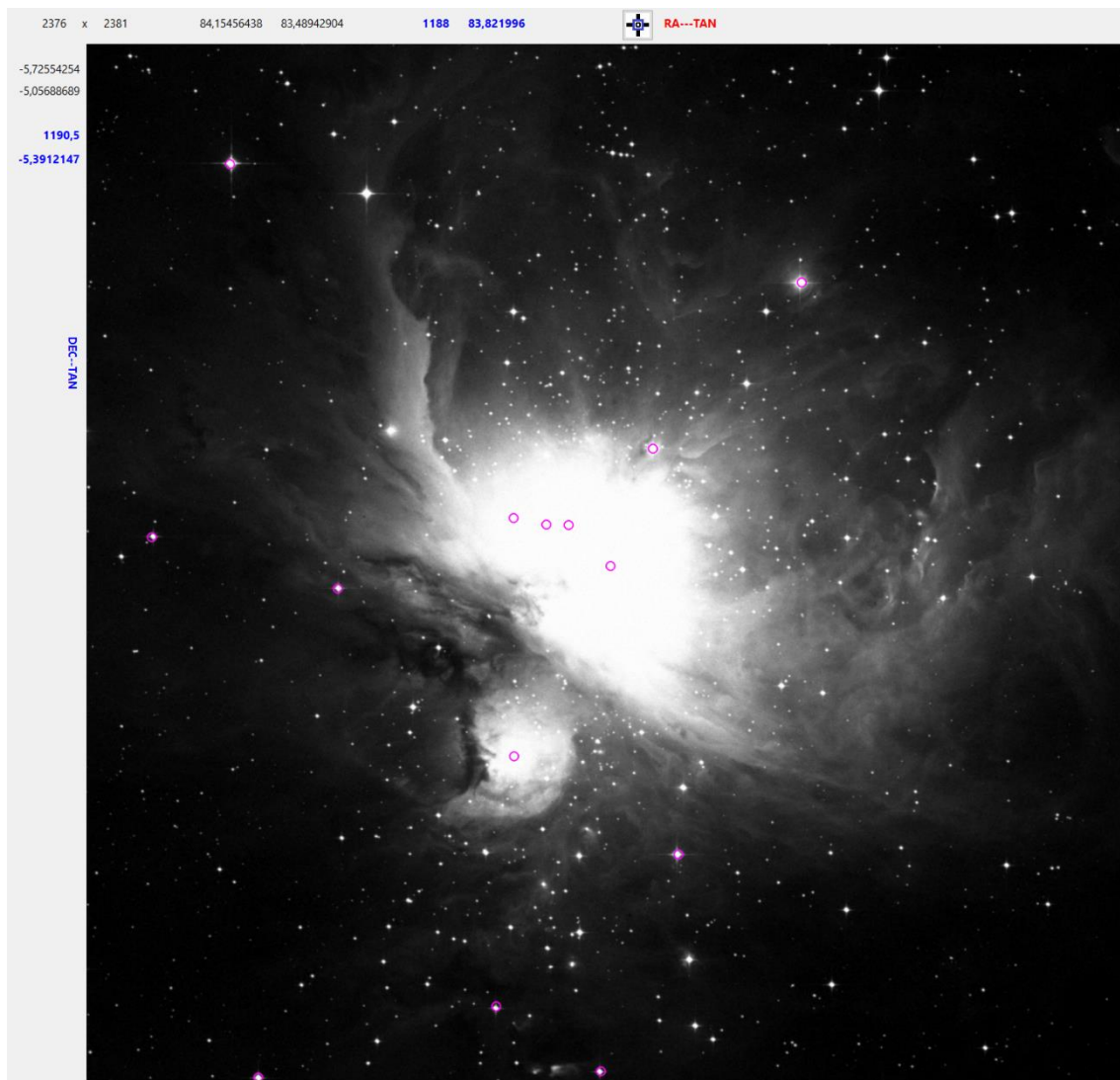


Figura 29. Orión en IR con los objetos del catálogo del Smithsonian Astrophysical Observatory.



Hacemos clic en el botón escalar y se abre la ventana de la figura 30.

| Punto de referencia | |
|-------------------------------|------------------|
| Reference pixel | 1150 1250 |
| RA, DEC | 83,82 -5,39 |
| delt x, delt y | -0,00025 0,00025 |
| <div>Skip</div> <div>Ok</div> | |

Figura 30. Posición aproximada de la imagen en el firmamento.

Los valores son un poco diferentes a los reales, lo suficiente para que los objetos del catálogo se aparten de las posiciones correctas de la imagen.

Pulsamos el botón “Ok” con lo que se cierra la ventana y la aplicación asigna a la imagen el posicionamiento que se deriva de los datos introducidos. Volvemos a seleccionar el catálogo y veremos que los objetos ya no coinciden con las estrellas de la imagen (figura 31), procedemos a marcar tres pares de puntos (objeto, imagen), en la imagen se coloca la letra “F” (o “D”) en el objeto y la “T” (o “H”) en el punto de la imagen al que debe ir.

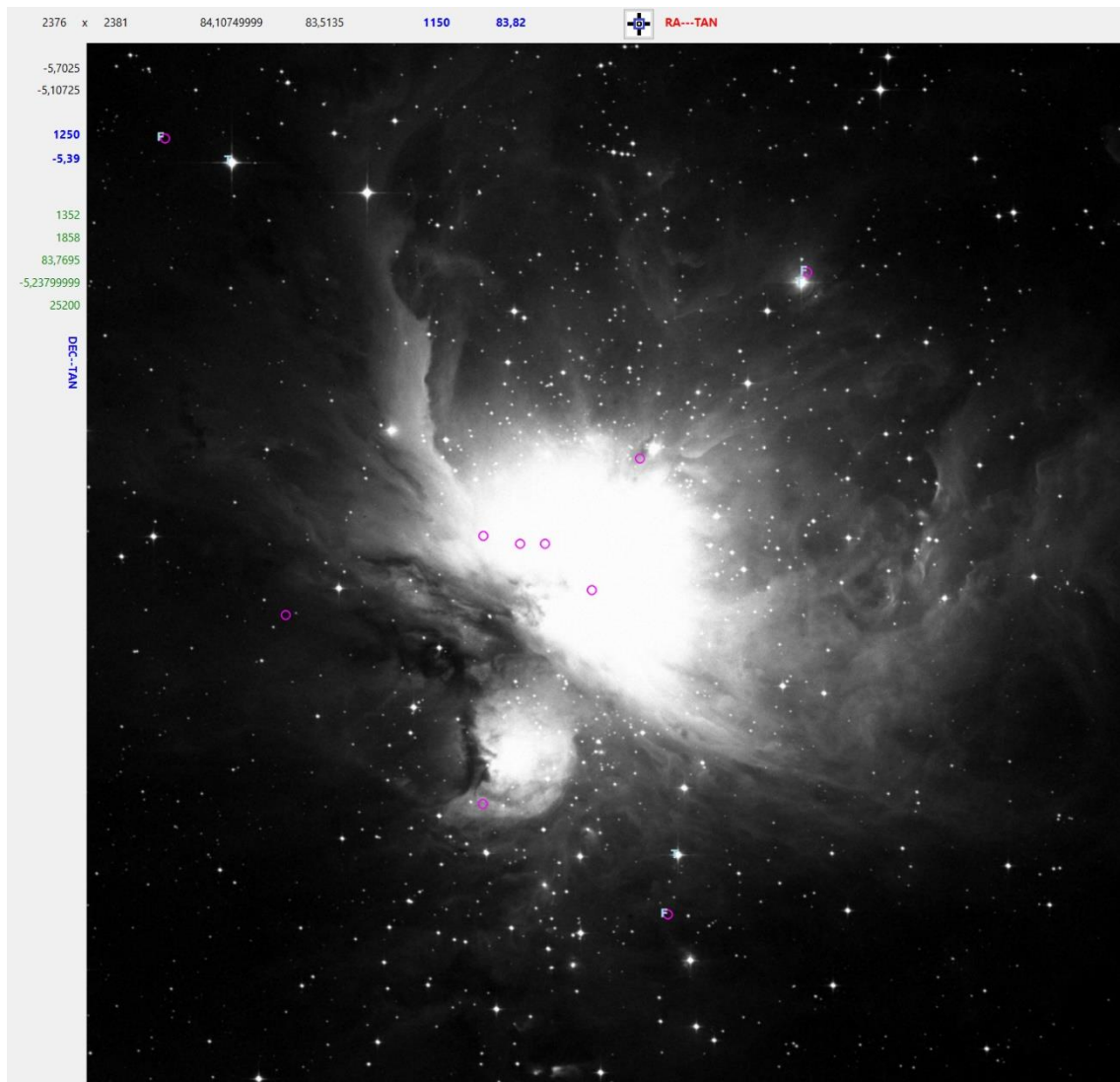


Figura 31. Los objetos del catálogo no aparecen en los lugares correctos de la imagen.

Pulsamos el botón a la derecha del de escalar, que contendrá un 3, porque hemos marcado tres puntos, y la aplicación recalcula el posicionamiento de la imagen. Si volvemos a seleccionar el catálogo, veremos que los objetos aparecen en las posiciones correctas (figura 32).

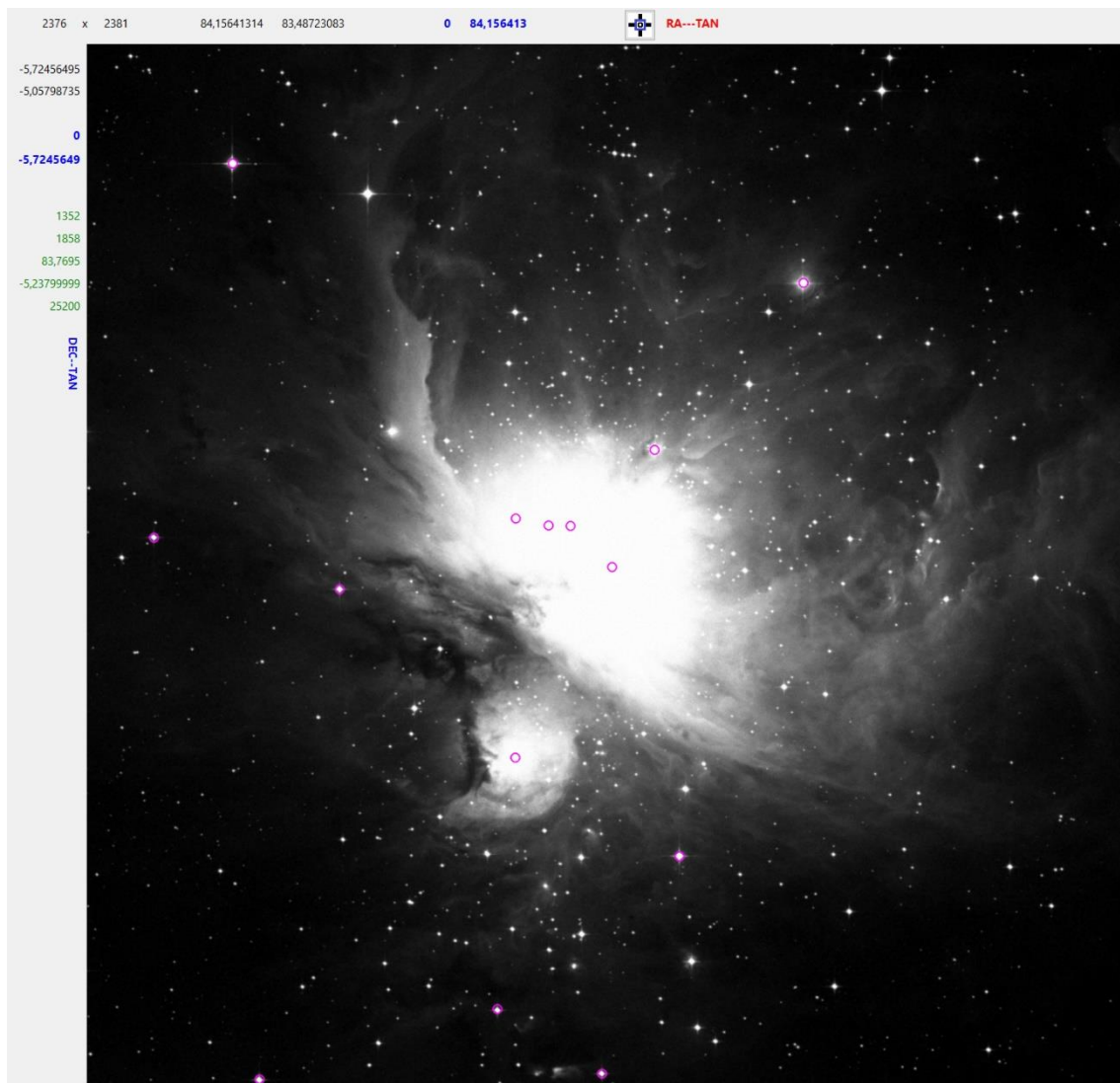


Figura 32. La imagen se ha posicionado correctamente.

4. Descargar archivos FITS (segunda parte).

En el apartado 2.2 ya tuvimos un primer acercamiento a la descarga de los archivos que contienen las observaciones del HTS. Nos limitamos a probar con el objeto M101 como sugiere el ejemplo en la propia página de descarga.

M101 es uno de los últimos objetos que añadió Messier a su catálogo en 1781, se trata de una galaxia espiral que se conoce como del remolino o molinete y que es más conocida por su número en el Nuevo Catálogo General: NGC 5457. Podemos verla en la figura 33 obtenida de las observaciones del HTS



Figura 33. Galaxia M101 (NGC 5457).

En la figura 3 vimos que hay 1.831 ficheros FITS relacionados con esta galaxia. Ahora que ya tenemos la aplicación Explora FITS podemos visualizar algunos de ellos y vamos a empezar descargando los dos primeros que indican en la columna "Target" a la NGC5457 (los situados en la tercera y cuarta fila de los resultados de la búsqueda).

1. hlsp_hlastarclusters_hst_acs-wfc_ngc5457-f1-9490-01_F814W_v1_sci.fits
2. hlsp_hlastarclusters_hst_acs-wfc_ngc5457-f2-9490-02_F814W_v1_sci.fits

Los dos son observaciones con la cámara ACS/WFC y el filtro F814W pero cambia un poco la dirección en la que apuntaba el telescopio:

1. AR = 14:03:23.04 DEC = 54:21:13.0
2. AR = 14:03:02.40 DEC = 54:20:21.5

El fichero combina, para cada una, 4 exposiciones de 720 segundos de exposición en total.

Empezamos abriendo la primera con nuestra aplicación y vemos que contiene dos HDU, en la primera sólo hay cabeceras y no hay datos, pero en la segunda hay un bloque con una matriz de dos dimensiones de 5.700 x 5.700 datos aunque la aplicación muestra una imagen totalmente negra, cosa que se explica si miramos al histograma con la distribución de valores (figura 34)

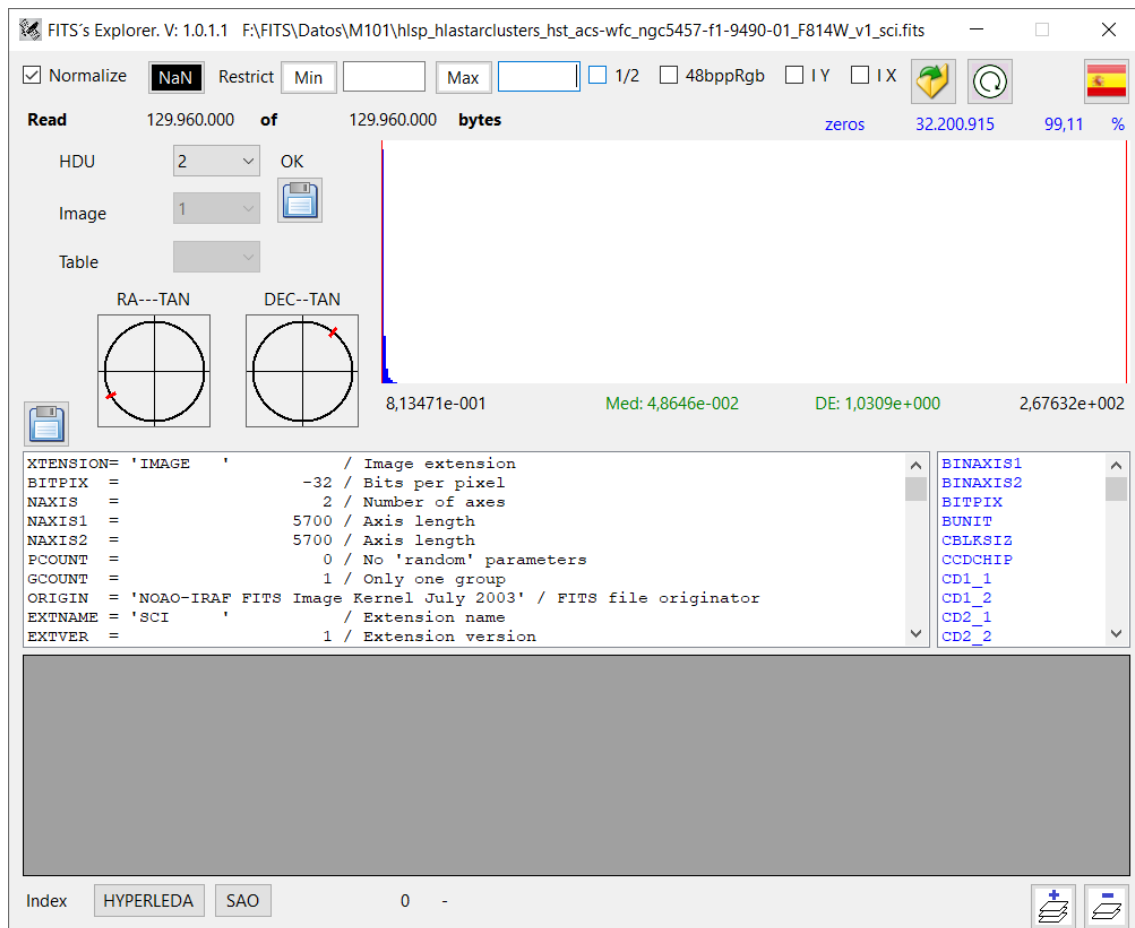


Figura 34. hlsp_hlastarclusters_hst_acs-wfc_ngc5457-f1-9490-01_F814W_v1_sci.fits

Algún elemento de la matriz de datos alcanza un valor de 267, pero la inmensa mayoría no supera el 5 y la media está 0,048646 con una desviación estándar de 1. Se hace imprescindible acotar el valor máximo y podemos empezar con el valor medio más una desviación estándar, es decir, 1,05, con esto vemos la imagen de la figura 35.

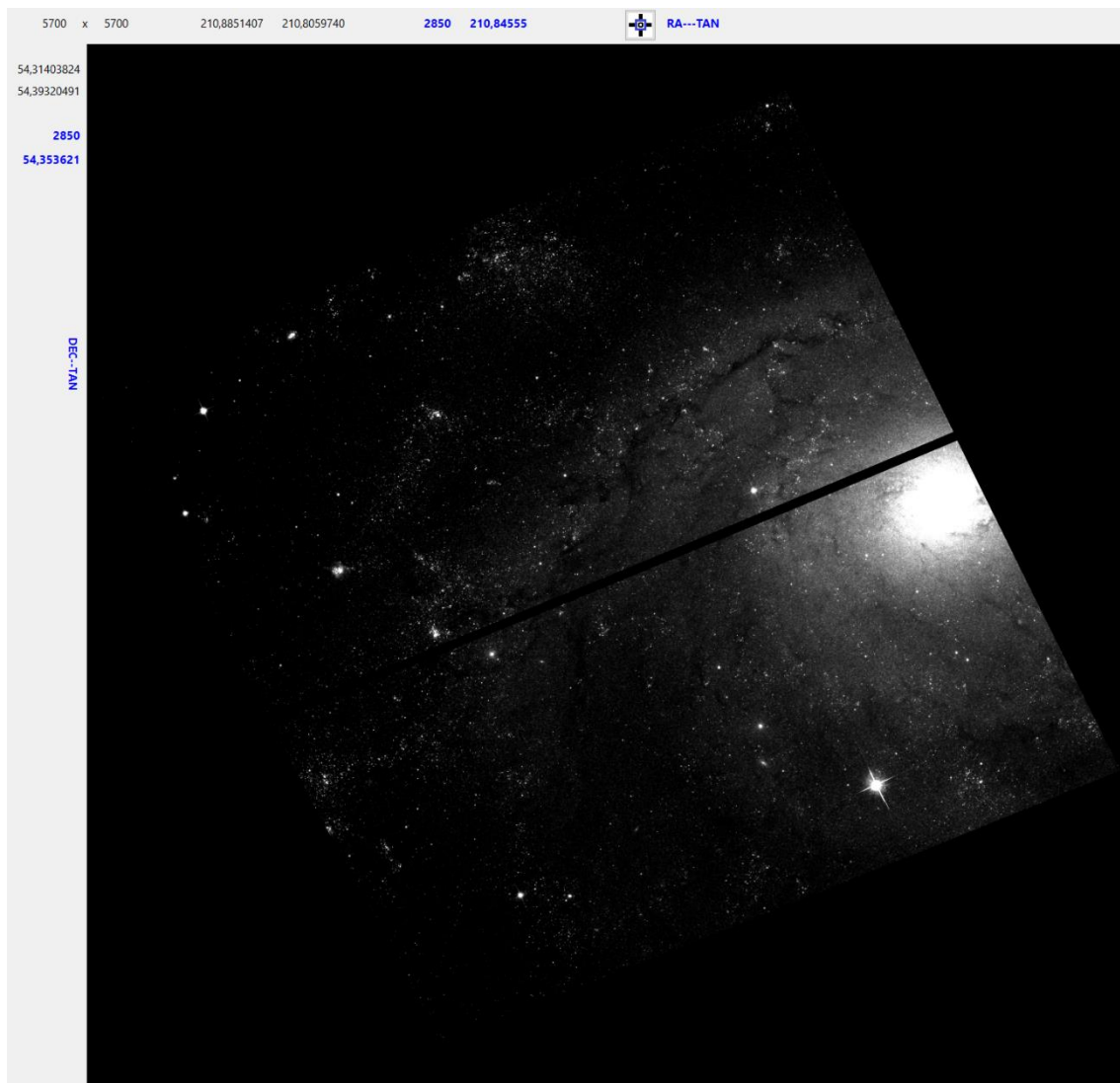


Figura 35. Primer fichero normalizado con cota máxima igual a 1,05

Es muy distinta de la imagen de la figura 30, pero podemos distinguir que es una parte de esta en blanco y negro. Para ver detalles que están oscurecidos por los puntos más brillantes reducimos la cota máxima a 0,5 (figura 36)

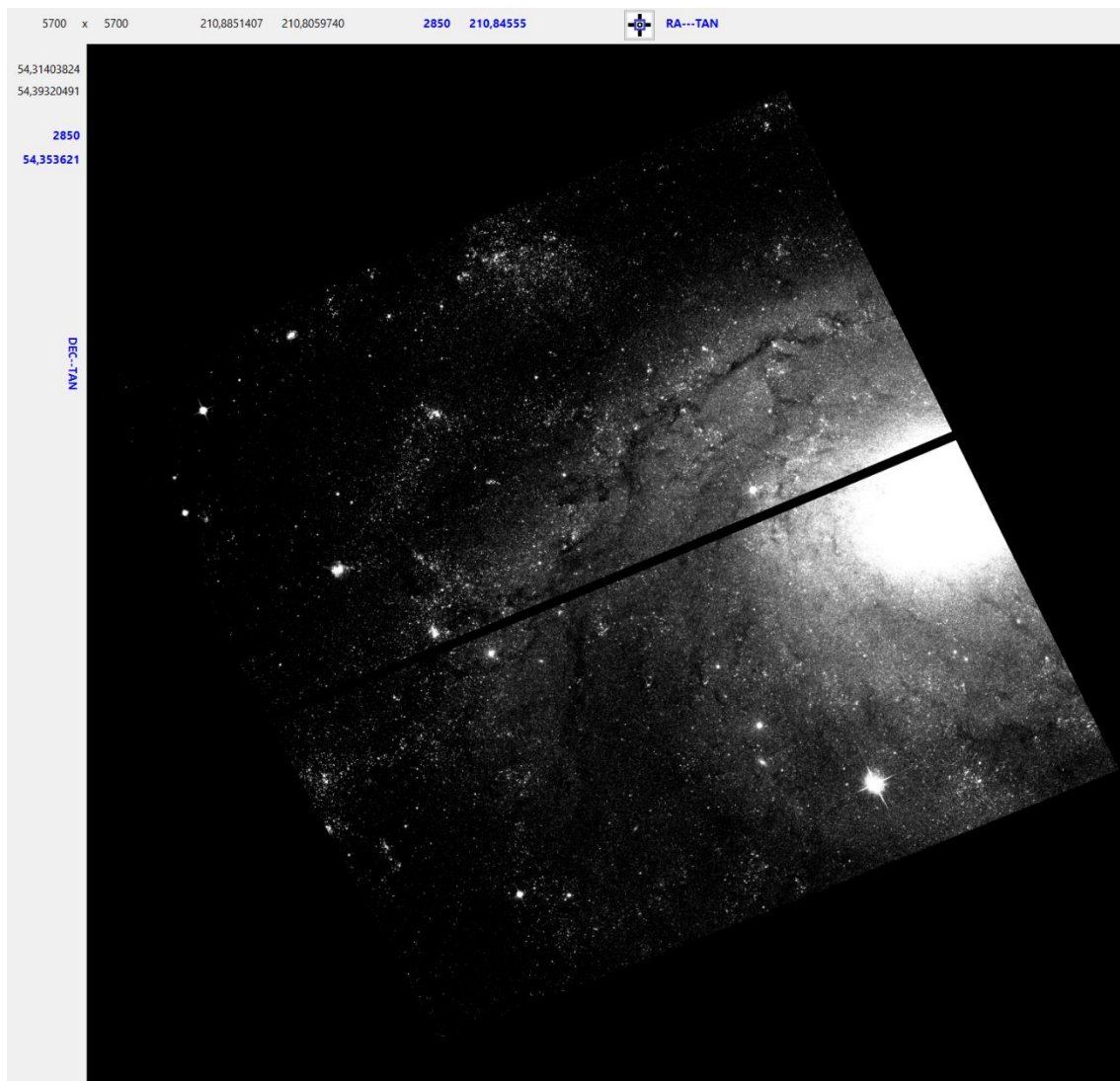


Figura 36. Primer fichero normalizado con cota máxima igual a 0,5

Si abrimos el segundo fichero que hemos descargado y procedemos de forma similar obtenemos la imagen de la figura 37.

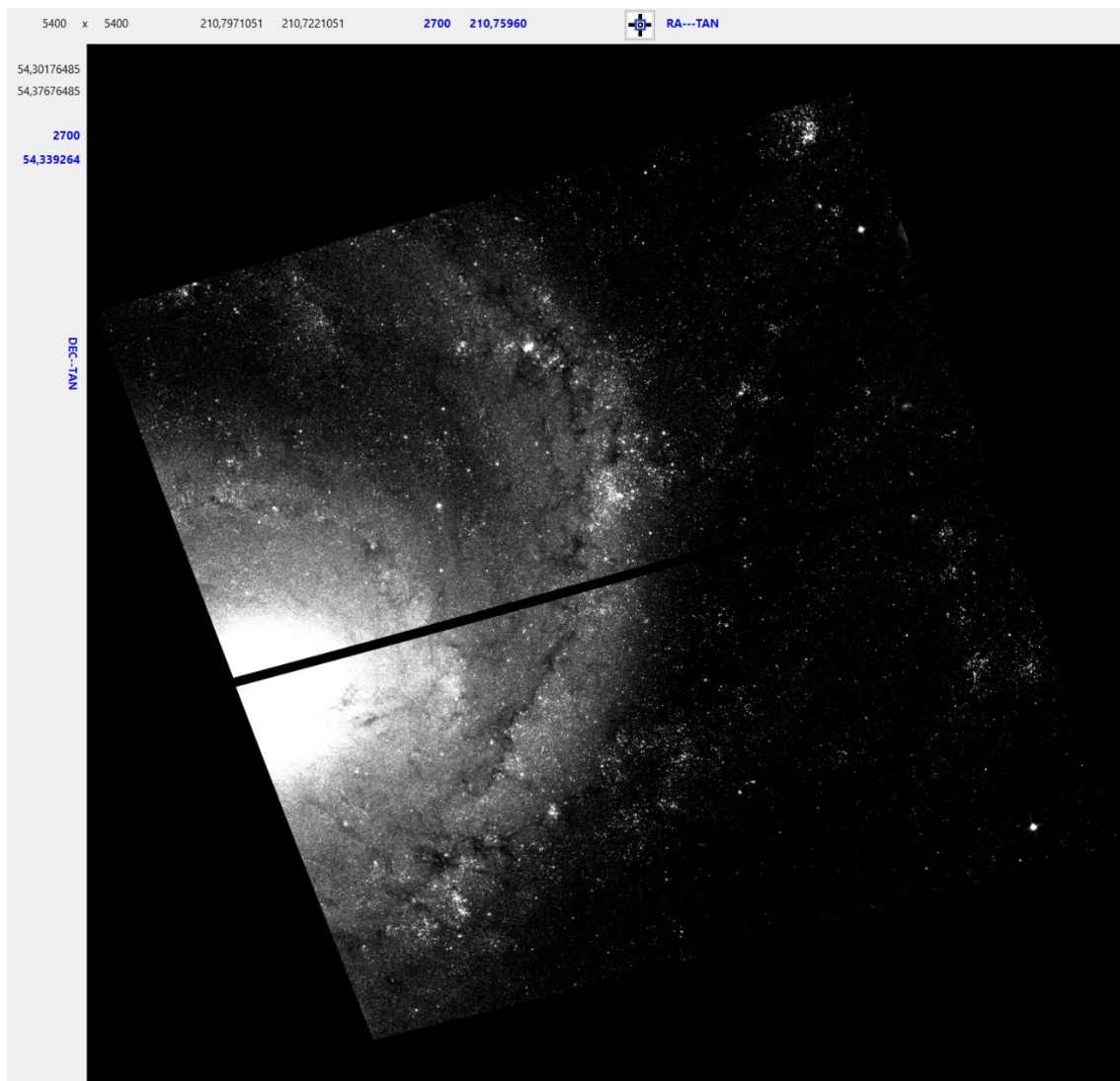


Figura 37. Segundo fichero normalizado con cota máxima igual a 0,5

Más o menos, la otra mitad de la galaxia.

La resolución es tan grande que hay que tenerlo en cuenta cuando utilizamos los catálogos. Por ejemplo si pedimos a HyperLEDA que nos muestre que objetos tiene en el área de la primera imagen, encuentra una estrella en la parte inferior de la imagen y parte de una galaxia casi en el borde izquierdo, pero nada de la NGC5457.

Para la imagen 2, HyperLEDA muestra dos objetos, dos pequeños cuadrados verdes (figura 38)

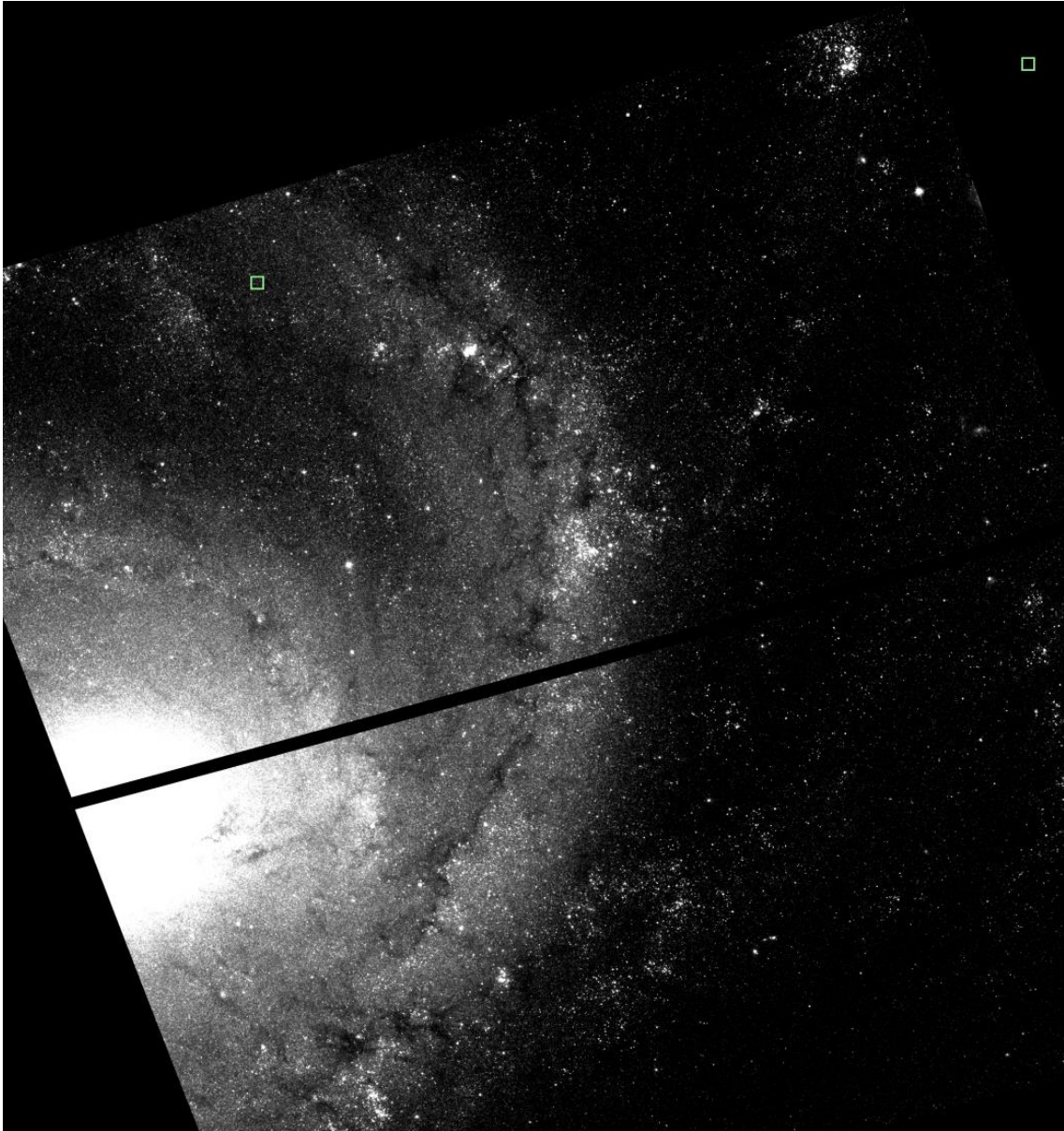


Figura 38. Objetos HyperLEDA en el área de la segunda imagen.

El objeto cerca de la parte superior derecha está fuera del rango observado por el HTS y el otro es precisamente la NGC5457, aunque se muestra alejado del centro de la galaxia. En este caso concreto estas discrepancias parecen derivarse de unos valores incorrectos de los parámetros incluidos en los archivos FITS relativos al punto de referencia (CRPIX, CRVAL) o a la matriz de conversión de píxeles a coordenadas (CD). Si utilizamos la función de “sumar” ficheros que se muestra más adelante para unir ambas mitades, se obtiene la imagen de la figura 39, con el cuadrado rojo en el centro de la imagen que es la posición de la galaxia según HyperLEDA.

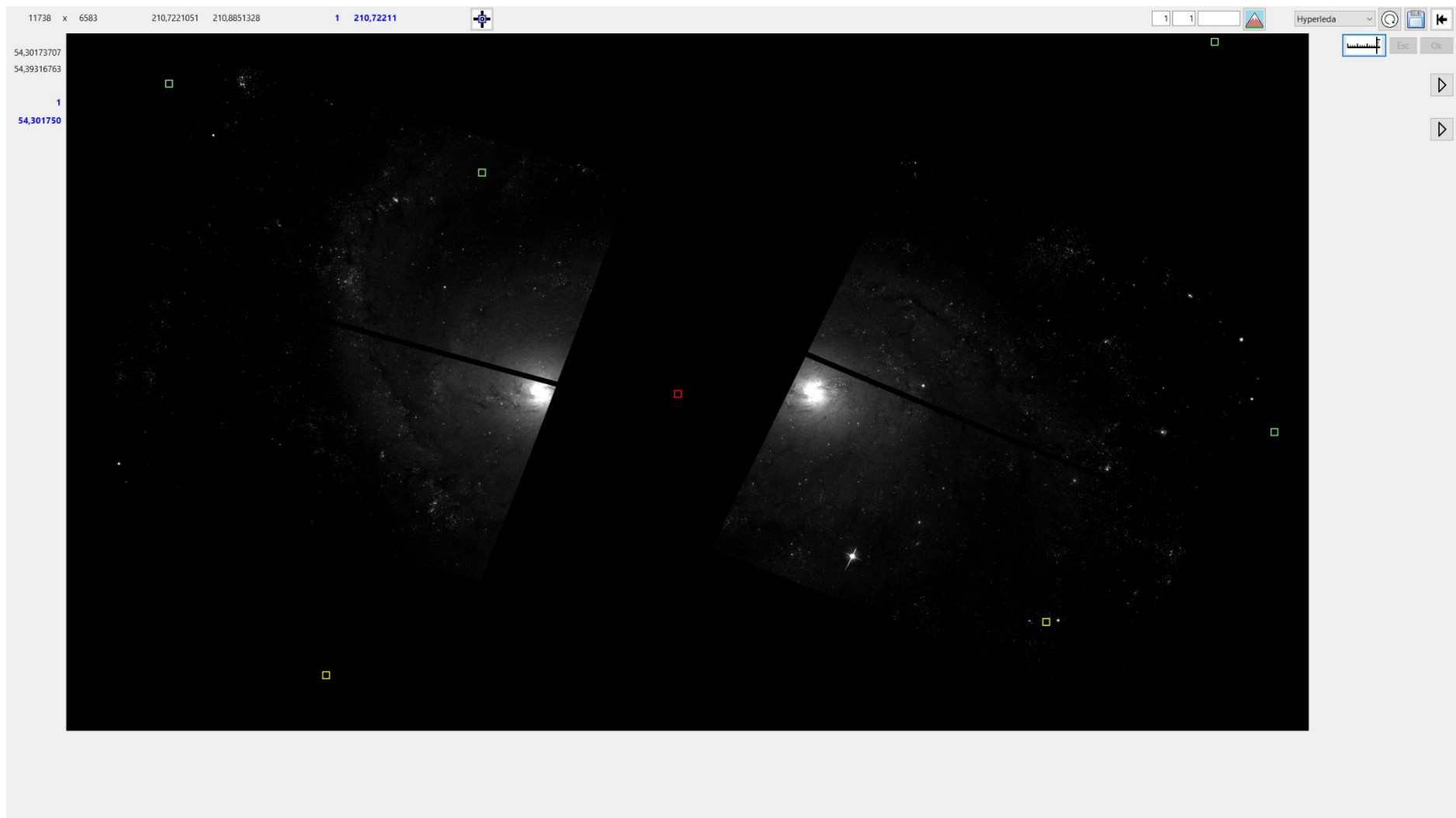


Figura 39. Suma de los dos ficheros correspondientes a la galaxia NGC5457.

Las imágenes que hemos obtenido de los ficheros descargados son en blanco y negro y para cualquier otro fichero con observaciones del HTS ocurrirá lo mismo. Para obtener imágenes en color hay componer observaciones realizadas con diferentes filtros, que como vimos acotan las longitudes de onda que registran los instrumentos del HTS. Si tenemos tres observaciones de la misma zona del firmamento pero con tres filtros de longitud de onda distinta, a la de menor longitud de onda le podemos asignar el color rojo, a la de mayor el azul y a la intermedia el verde, que es lo que se hace en esas imágenes a todo color que se muestran a la opinión pública, sin necesidad de que las longitudes de onda de los filtros se correspondan con las de los tres colores, ni siquiera sean del espectro visible.

La página de la NASA, además de descargar los ficheros tiene una pestaña donde muestra algunas imágenes (figura 40)

Inventory **Images** **Footprints** **Cart** **Grism Spectra (ST-ECF)** **Help Center**

M101 RA = 210.802270 Dec = 54.348950 r = 0.240000 [14:03:12.545 +54:20:56.22]

Results **1-20** of **1831**

Click column heading to sort list - Click rows to select **Add selection to cart**

Show selected rows: **First** **Mixed** **Only** **Not** **Select all** **Reset selection**

Text boxes under columns select matching rows **Apply Filter** **Clear Filter**

| Display | PlotCat | Retrieve | RA | DEC | Level | Target | Detector |
|-------------------------|---------|----------------------|-------------|------------|-------|-----------|----------|
| Display | | FITS | 14:04:10.32 | 54:19:07.0 | 5 | APPP | WFPC2 |
| Display | | FITS | 14:03:24.72 | 54:17:02.8 | 5 | APPP | WFPC2 |
| Display | | FITS | 14:03:23.04 | 54:21:13.0 | 5 | NGC5457-1 | ACS/WFC |
| Display | | FITS | 14:03:02.4 | 54:20:21.5 | 5 | NGC5457-7 | ACS/WFC |
| Display | | FITS | 14:03:07.2 | 54:21:52.2 | 5 | NGC5457-6 | ACS/WFC |

Figura 40. Pestaña para ver imágenes de los ficheros FITS.

Esta posibilidad de ver antes de descargar nos puede evitar muchas descargas inútiles. En la figura 41 vemos la imagen que muestra para los dos ficheros que hemos descargado.

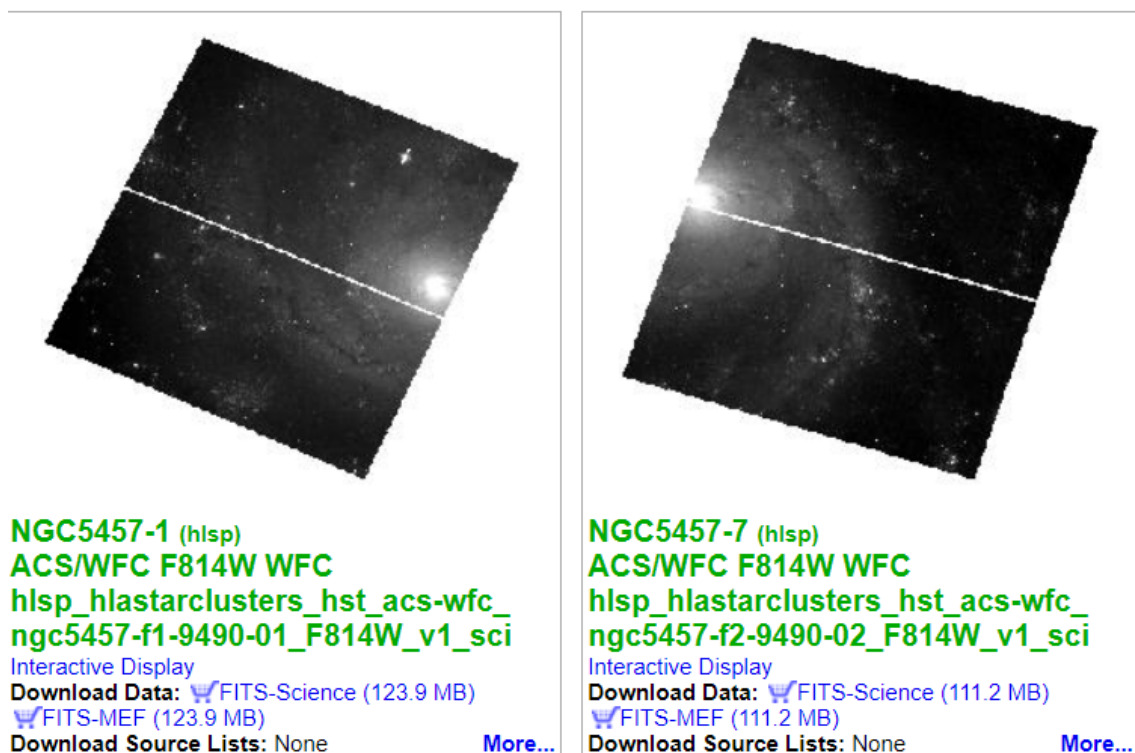


Figura 41. Imágenes en la web

5. Funciones auxiliares.

En parte inferior de la ventana principal (figura 6) se muestran algunos botones (figura 42)

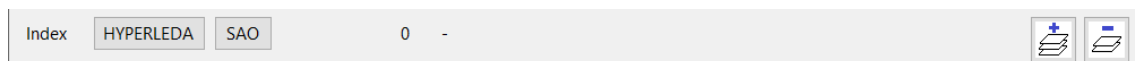


Figura 42. Funciones auxiliares.

El botón HyperLEDA sirve para construir los índices que necesita la aplicación para utilizar el catálogo HyperLEDA. Este catálogo se puede descargar en la dirección web:

<http://leda.univ-lyon1.fr/fullsql.html>

En forma de texto CSV (con separador “;”), esta función crea un fichero binario con la ascensión recta y declinación de cada objeto y un puntero a la línea del objeto dentro del fichero descargado.

El botón SAO hace lo mismo que el anterior para el catálogo del Smithsonian Astrophysical Observatory.



Este botón puede “sumar” dos o más ficheros de datos, exportados por la aplicación (figura 13). Es habitual que para reducir el “ruido” de las imágenes se superpongan varias correspondientes a observaciones de la misma área del firmamento. Los puntos correspondientes a objetos reales sumarán su brillo, pero los puntos correspondientes

a ruido estarán distribuidos de forma aleatoria y es muy poco probable que dos imágenes registren ruido en el mismo punto, el resultado es que el ruido pierde importancia respecto a los objetos reales. El resultado abarcará una zona que contenga todas las zonas sumadas.



Este botón resta dos imágenes (ficheros exportados por la propia aplicación), esto permite resaltar diferencias entre observaciones de la misma zona pero en momentos distintos (posibles supernovas) y también valorar el nivel de ruido, por lo mismo antes explicado, la luz de los objetos reales se anulará pero no la del ruido. El resultado abarcará la zona común a las dos zonas restadas.

6. Espectros.

Los espectros pueden registrarse en un fichero FITS, esencialmente de dos formas:

- Como la matriz de datos de una HDU.
- Embebidos en las columnas de una tabla binaria de la HDU.

Cuando están como una matriz de datos la aplicación los muestra como una imagen cualquiera, aunque los alarga en el eje Y para que sean más visibles, no obstante, también puede mostrarlos en la forma más habitual de un espectro que es un gráfico X-Y con la longitud de onda en el eje X y la intensidad de flujo en el eje Y. Esta es la forma en que los muestra directamente cuando están embebidos en una tabla binaria, como por ejemplo, en los ficheros de The Sloan Digital Sky Survey (SDSS). Este proyecto ha registrado espectros para más de tres millones de objetos astronómicos y están a disposición de todos en su web:

<https://www.sdss.org/>

La información básica sobre los espectros se encuentra en:

https://www.sdss.org/dr12/spectro/spectro_basics/

En la dirección: <https://www.sdss.org/dr15/mastar/mastar-data-access/> se describe como descargar 8.646 espectros de alta calidad que también pueden descargarse uno a uno. Nosotros vamos a usar como ejemplo el correspondiente al objeto con el identificador 7-17152035 que está situado en las coordenadas: AR 288,11817 y DEC 51,447989. El fichero FITS es el **mastar-LOG-10008-12701.fits**

Al abrir este fichero con Explora FITS (figura 43) muestra que contiene 4 HDUs y al seleccionar la 2 muestra una tabla con 18 columnas. Las columnas: WAVE FLUX IVAR DISP PREDISP MASK contienen a su vez 4.563 valores cada una de ellas.

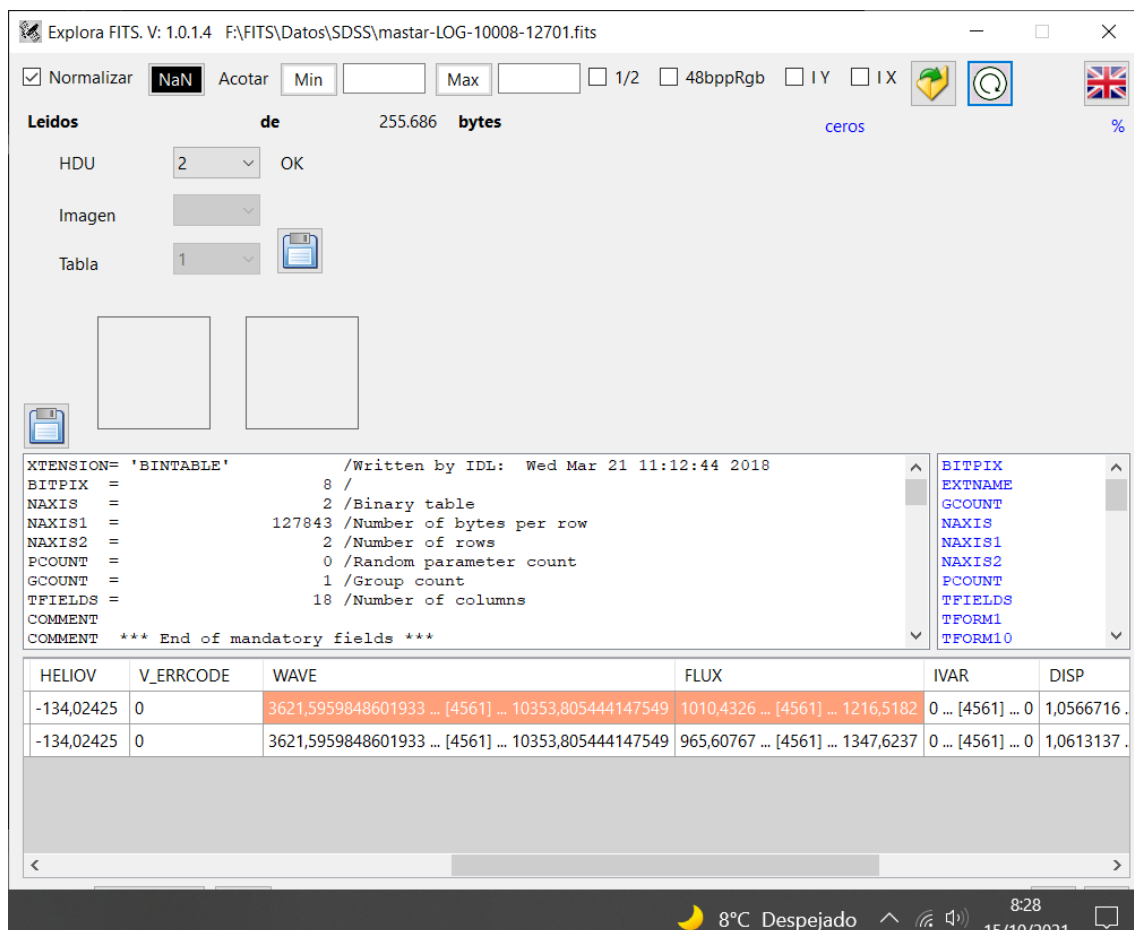


Figura 43. Fichero mastar-LOG-10008-12701.fits

Nos vamos a fijar en WAVE y FLUX que corresponden a la longitud de onda y a los valores del flujo (radiación registrada para cada uno de los valores de la longitud de onda). La inclusión del término LOG en el nombre del fichero nos indica que las longitudes de onda están espaciadas logarítmicamente, aunque esto es indiferente para nosotros.

Ya mencionamos que si hacemos doble clic con el ratón sobre una casilla de la tabla de una de estas columnas múltiples se nos pedirá el nombre de un fichero en el que se escribir los 4.563 valores de la casilla.

Si seleccionamos, en la misma fila, dos casillas correspondientes a columnas múltiples, la aplicación puede generar un gráfico X-Y. Lo normal es que elijamos como X a la columna WAVE y como Y a la columna FLUX. El orden al seleccionar las casillas es importante, primero se hace clic sobre la casilla X (WAVE) y luego Ctrl+Clic sobre la Y (FLUX). En todo caso, se muestra un mensaje para confirmar cual será la casilla X, nos propondrá la que marcamos en primer lugar pero si se contesta que no, usará la otra casilla como X.



Una vez seleccionadas X e Y se pulsa el botón redibujar para generar el gráfico.

Con la selección de casillas (WAVE y FLUX) de la figura 43 se muestra el gráfico de la figura 44.

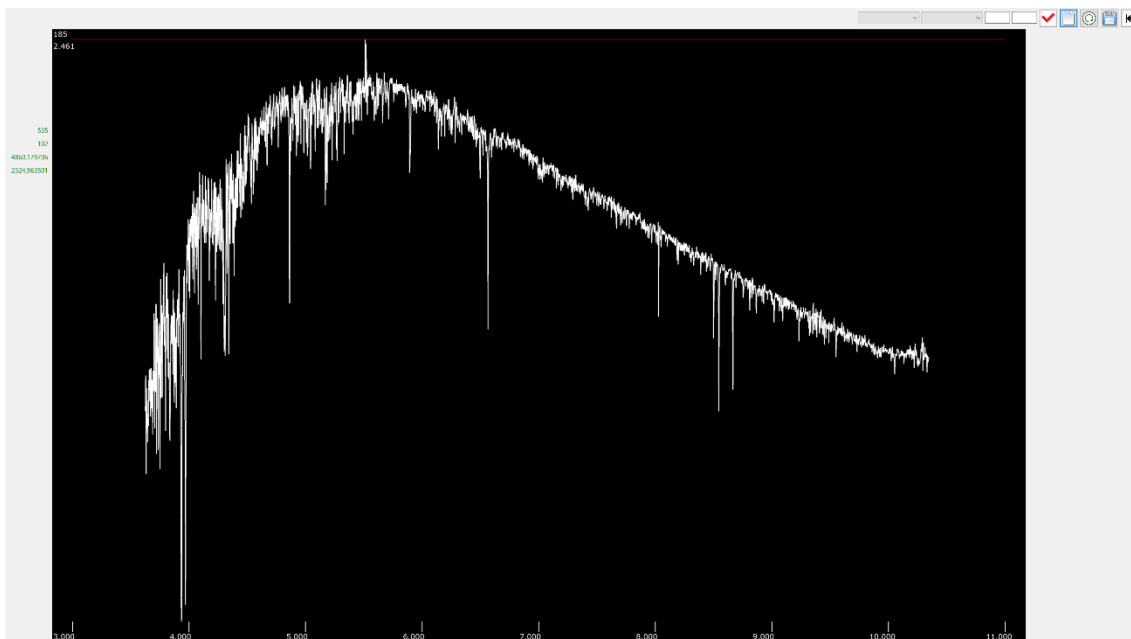


Figura 44. Espectro WAVE-FLUX

En la parte superior izquierda de la ventana se muestran los siguientes elementos (figura 45):

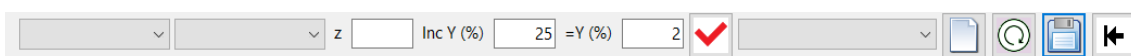







Figura 45. Herramientas para espectros.

De izquierda a derecha:

- Lista desplegable con las líneas espectrales de átomos del NIST – National Institute of Standards and Technology.
- Lista desplegable con las líneas que se desea mostrar en la imagen.
- Valor de z (corrimiento al rojo).
- Profundidad de pico. Valor mínimo de la variación de FLUX para que la aplicación muestre en el gráfico un pico del espectro mediante la opción automática de buscar picos. En forma de porcentaje del rango de variación de Y .
- Diferencia significativa. Los espectros no son una curva “suave”, tienen dientes de sierra que confunden al algoritmo para marcar los picos, para suavizarla se considera que un valor de Y no es distinto a su predecesor si no se diferencia de este en al menos una cierta cantidad expresada en tanto por ciento.
-  Opción automática de buscar picos.
- Lista desplegable con los picos encontrados.
-  Borra todos las líneas y picos seleccionados.
-  Redibuja el espectro y las líneas y picos seleccionados.

-  Salva la imagen en un fichero.
-  Muestra la ventana principal de la aplicación.

Si queremos que en el gráfico se muestre alguna o varias líneas espectrales del NIST tenemos dos opciones:

- Hacer clic con el ratón sobre un punto del gráfico, teniendo pulsada la tecla Ctrl.
- Hacer clic sobre un elemento de la primera lista desplegable

En ambos casos lo que ocurre es que se añade un elemento a la segunda lista desplegable, ya que son estos elementos los que la aplicación muestra en el gráfico (figuras 46 y 47).

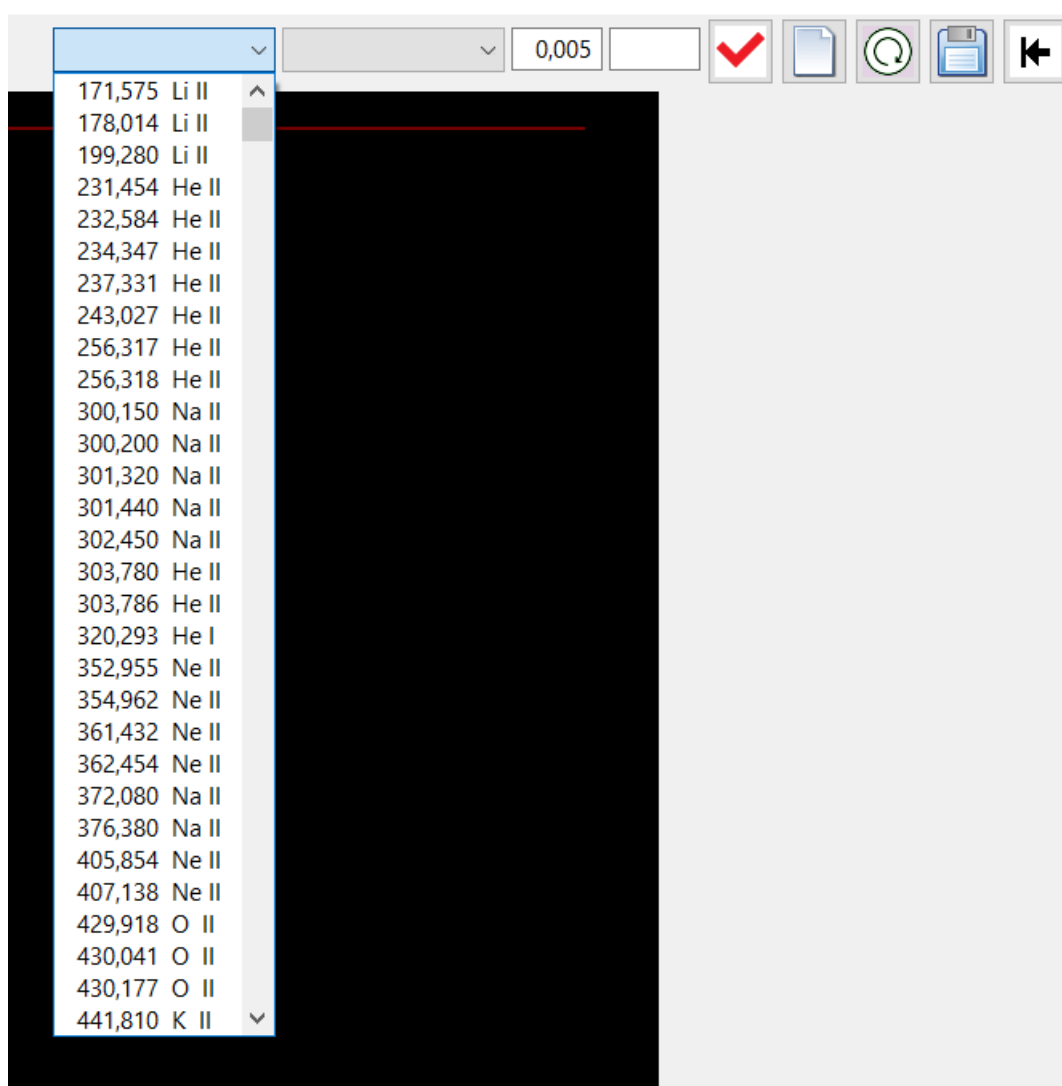


Figura 46. Lista de líneas espectrales elegibles.

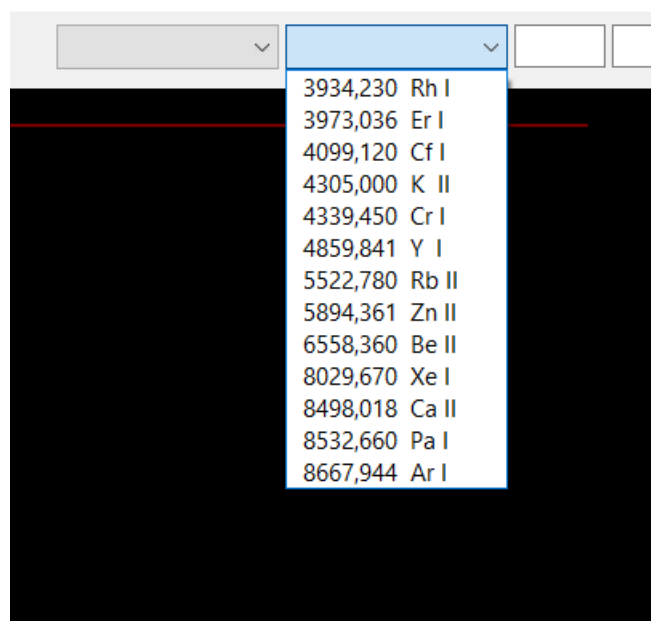


Figura 47. Lista de líneas espectrales elegidas.

Si hacemos clic con el ratón sobre un elemento de la lista de líneas espectrales elegidas se elimina ese elemento.

Si se hace clic con el ratón sobre esta lista cuando no está desplegada, teniendo pulsada la tecla Ctrl, se copia la lista al portapapeles.

Después de elegir líneas espectrales hay que redibujar el gráfico porque la aplicación no lo hace automáticamente.

La figura 48 muestra el gráfico después de haber elegido algunas líneas espectrales:

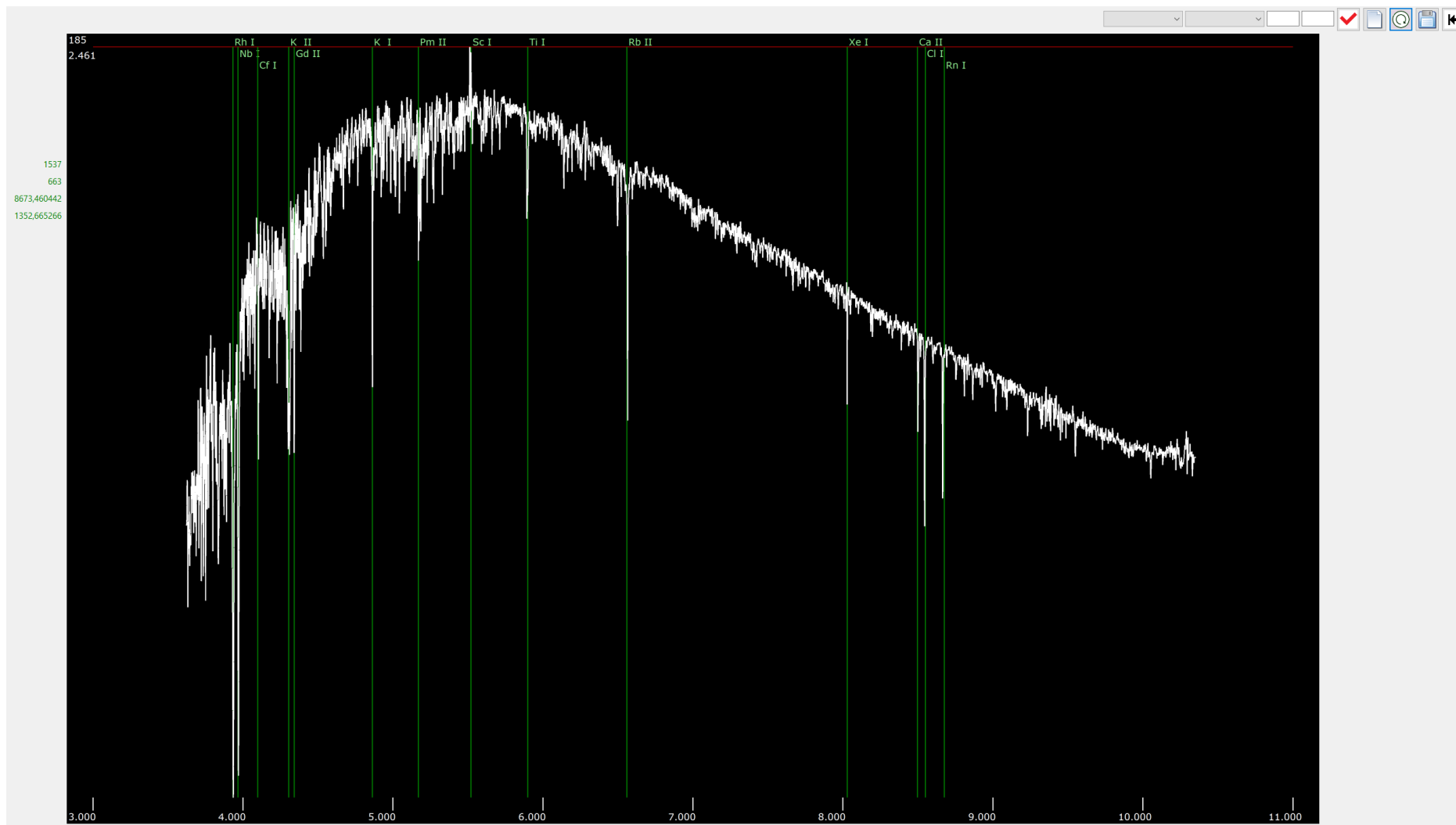


Figura 48. Gráfico con líneas espectrales superpuestas.



Si pulsamos este botón, la aplicación buscará picos en el espectro y los mostrará en la imagen. Podemos especificar cual debe ser la profundidad (variación de Y) que como mínimo debe tener el pico para ser considerado como tal, el dato a especificar es el porcentaje del rango de variación de Y (FLUSH). La figura 49 muestra un ejemplo con los picos y la figura 50 con todos los elementos comentados. Si al pulsar este botón tenemos pulsada la tecla Ctrl, además de mostrar los picos se mostrarán las líneas espectrales atómicas más próximas a ellos.

Los picos encontrados se añaden a la lista desplegable a la derecha del botón de buscar picos, se muestra la longitud de onda y la variación de Y. Si se hace clic con el ratón sobre esta lista cuando no está desplegada, teniendo pulsada la tecla Ctrl, se copia la lista al portapapeles. Si se hace clic sobre un elemento de la lista se elimina dicho elemento.

Los picos de absorción se muestran en color rojo y los de emisión en azul, los primeros con valor negativo en la lista desplegable y los de emisión con valor positivo.

Finalmente, si se escribe un valor de corrimiento al rojo (z) la aplicación dividirá los valores de la longitud de onda (WAVE) por $(1 + z)$ para convertirlos de valores “recibidos” a valores “emitidos”.

Como ya se ha mencionado, los espectros registrados en el archivo FITS como matriz de datos se pueden convertir a gráficos X-Y mediante el botón:



Visualizar espectros como gráficos X-Y.

Para que esto sea posible, la matriz de datos debe ser una matriz de una dimensión (vector) o de dos dimensiones en la que una de las dimensiones tiene valor 1. Además, la cabecera de la HDU debe contener la información imprescindible para la escala del eje X que corresponderá a la longitud de onda, es decir, deberá tener especificado el punto de referencia (CRPIX) el valor de la coordenada (longitud de onda) de este punto (CRVAL) y la variación de la coordenada por píxel (CDELTA o CD).

Por ejemplo, en el repositorio, en la carpeta UVES se incluye un fichero que contiene el espectro en la matriz de datos:

r.UVES.2011-08-11T232352.266-A01_0000.fits

Que una vez convertido a gráfico X-Y se visualiza como muestra la figura 51.

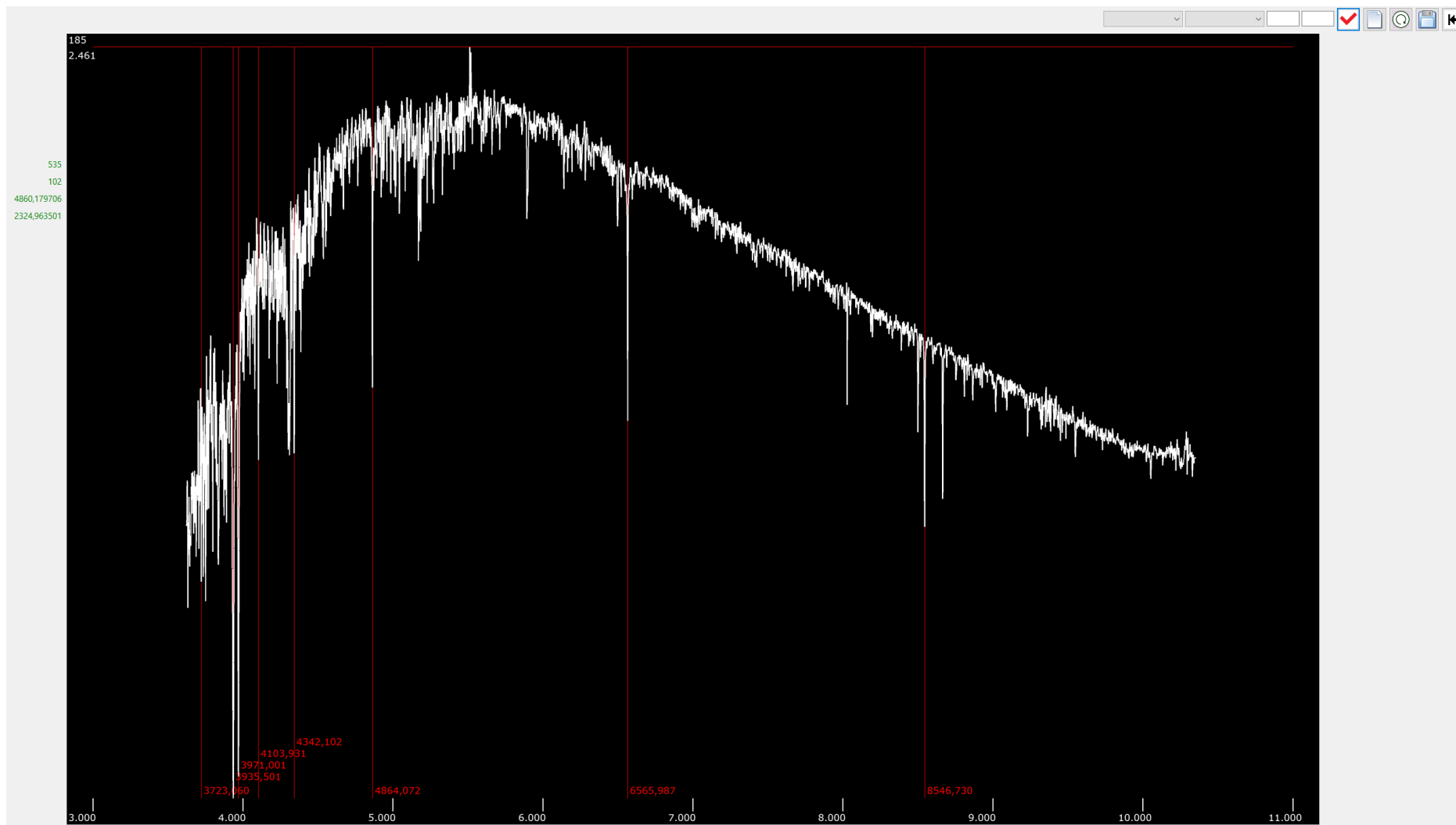


Figura 49. Picos encontrados automáticamente.

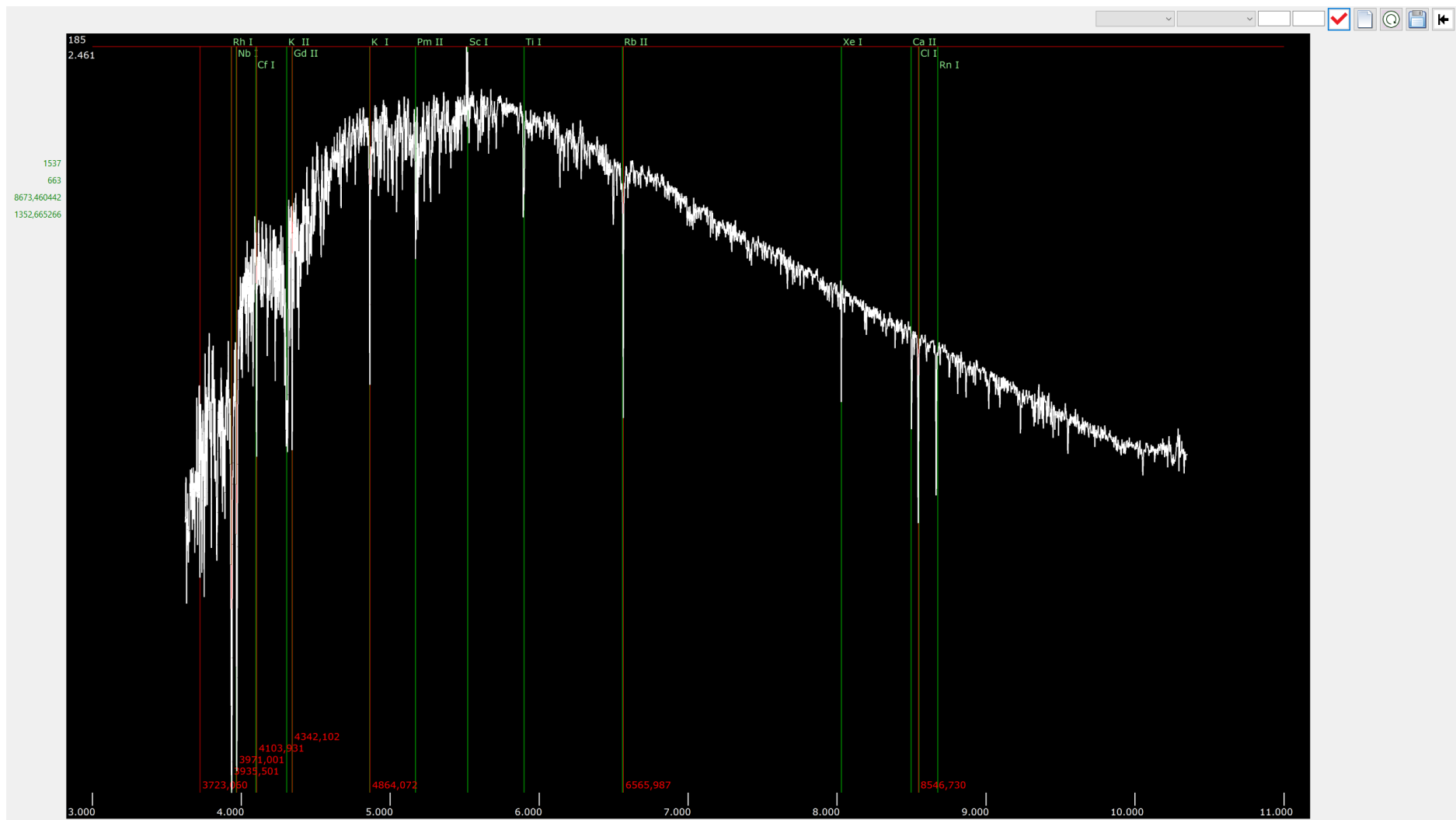


Figura 50. Espectro y elementos de referencia.

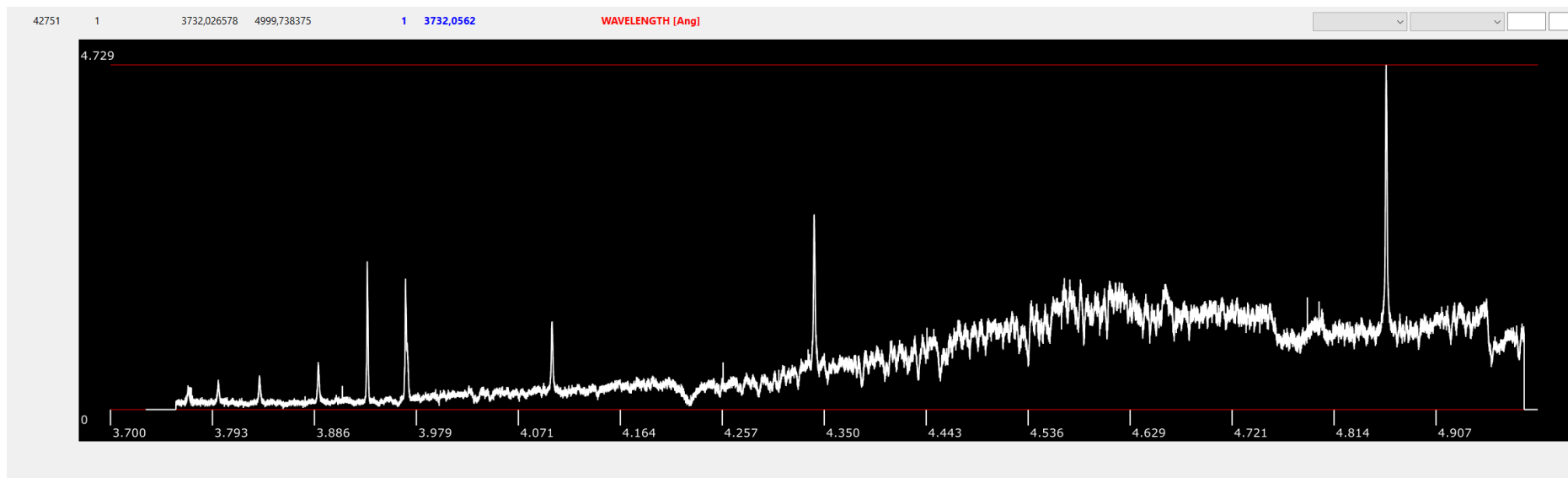


Figura 51. Espectro convertido a partir de una matriz de datos.

7. Agradecimientos.

La aplicación hace uso de tres catálogos:

HyperLEDA. III. The catalogue of extragalactic distances

<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2014A%26A...570A..13M/abstract>

<http://leda.univ-lyon1.fr>

Smithsonian Astrophysical Observatory

VizieR Online Data Catalog: Associated data in VizieR

G.Landais, Laurent Michel, Pierre Ocvirk et al.

VizieR service DOI: 10.26093/cds/vizier

http://cds.u-strasbg.fr/vizier-org/licences_vizier.html

Handbook of Basic Atomic Spectroscopic Data del National Institute of Standards and Technology (NIST)

DOI: <https://dx.doi.org/10.18434/T4FW23>

<https://www.nist.gov/pml/handbook-basic-atomic-spectroscopic-data>

<https://physics.nist.gov/PhysRefData/Handbook/periodictable.htm>

8. Repositorio.

La aplicación y ficheros relacionados, como esta documentación pueden obtenerse en el repositorio:

<https://github.com/labotecta/Explora-FITS>

Los ficheros de la aplicación son los siguientes:

- camposHL.txt
- ExploraFits.deps.json
- ExploraFits.dll
- ExploraFits.exe
- ExploraFits.pdb
- ExploraFits.runtimeconfig.json
- idiomas.txt
- espectros_atomicos.csv

Pueden estar en cualquier carpeta, incluso en una memoria USB

Los ficheros de los catálogos están comprimidos en el archivo **catalogos.rar** de la carpeta **Catalogos**

Par que la aplicación pueda utilizar el catálogo HyperLEDA hay que copiar los dos ficheros siguientes:

- HyperLeda_meandata_1631273210.txt
- indicesHL.bin

A la misma carpeta donde estén los ficheros de la aplicación.

Para utilizar el catálogo de estrellas Smithsonian hay que copiar los dos ficheros siguientes:

- indicesSAO.bin
- sao.txt

A la misma carpeta donde estén los ficheros de la aplicación.