



Reto Científico CESAR

En Busca de nuestros Orígenes

*Investigando el origen de las estrellas con los datos
científicos de ESA y ESO*

Guia de estudiante



Tabla de Contenidos

Fase 1	10
Actividad 1: Glosario	10
Actividad 2: Medidas en Astronomía	11
Actividad 2.1: Posiciones	11
Actividad 2.2: Distancias	15
Actividad 2.3: Tamaños	25
Actividad 2.4: Magnitudes	27
Actividad 2.5: Color	31
Actividad 3: ¿Qué sabes de cómo se forman las estrellas?	35
Actividad 4: Formación estelar en detalle	37
Actividad 5: La luz de las estrellas	48
Actividad 5.1: Radiación electromagnética	48
Actividad 5.2: Distribución de energía espectral (SED)	49
Actividad 5.3: ¿Qué podemos aprender sobre las estrellas en proceso de formación dada su luz?	52
Actividad 6: ¿Cómo detectan los astrofísicos la formación estelar?	56
Actividad 6.1: Emisión H α	60
Actividad 6.2: Emisión infrarroja	65
Actividad 6.3: Emisión de rayos X	66
Actividad 7: La exploración de la formación estelar	69
Actividad 7.1: La exploración de la formación estelar por la Agencia Espacial Europea	69
Actividad 7.2: La exploración de la formación estelar por los Observatorio de Tierra	72
Fase 2	74
Actividad 8: ¿Qué has aprendido hasta ahora?	76
Actividad 9: Actualidad	76
Fase 3	76
Actividad 10: La Nebulosa de Carina	78
Actividad 10.1.: La Nebulosa Carina en la bibliografía	79
Actividad 10.2: La región Trumpler 14	83
Actividad 11: Inspecciona zonas de formación estelar	84
Actividad 11.1: Familiarízate con las nebulosas en ESASky	84
Actividad 11.2: Clasifica nebulosas	86
Actividad 11.3: Calcula el tamaño de objetos no circulares	88
Actividad 11.4: Descarga imágenes de ESASky y visualízalas en SAOImage DS9	90

Actividad 11.5: Combina imágenes astronómicas de varios filtros (imagen RGB)	97
Actividad 11.6: Explora imágenes astronómicas con el programa SAOImage DS9.	102
Actividad 12: Trabaja con catálogos astronómicos	107
Actividad 12.1: Descarga catálogos astronómicos de ESASky	107
Actividad 12.2: Manipula catálogos astronómicos en TopCat	114
Actividad 12.3: Selecciona estrellas T Tauri clásicas en la región Trumpler 14	117
Actividad 12.4: Construye diagramas color-color	126
Actividad 12.5: Identifica fuentes del catálogo VST en el programa SAOImage DS9	134
Actividad 12.6: Refina la selección de candidatos a estrellas TTauri clásicas a partir del color (r-Halpha)	138
Actividad 12.7: Refina la selección de candidatos a estrellas TTauri clásicas a partir de la medida de la Anchura Equivalente de la línea Halpha	159
Actividad 12.8: Contrasta las contribuciones en óptico, infrarrojo y rayos X, para tus candidatos a estrellas TTauri clásicas (datos VST, 2MASS y XMM-Newton), para la región Trumpler 14	164
Actividad 13: Comprueba que tus candidatos se encuentran próximos a la nube de Carina (datos GAIA)	173
Actividad 14: Visualiza una fuente en SIMBAD/Aladin Lite	179
Fase 4	182
Actividad 15: Crea una publicación científica	184
Actividad 16: ¡Enhorabuena! Has conseguido tu objetivo	188
Actividad 17: Presenta tus resultados	188
Enlaces	189

Tu Reto Científico

En busca de nuestros orígenes...

La búsqueda de planetas orbitando alrededor de otras estrellas al Sol, o “exoplanetas” se ha convertido en uno de los temas más actuales en la Astronomía de las últimas décadas. A día de hoy, hay más de 4700 exoplanetas confirmados de los que más de 3500 son sistemas planetarios y de estos, se estima que 790 son sistemas múltiples¹. Si nuestra galaxia contiene entre 100-400 miles de millones de estrellas, y se han detectado 2 mil millones de galaxias en el Universo observable, imagina cuantos exoplanetas pueden existir alrededor de tantísimas estrellas!

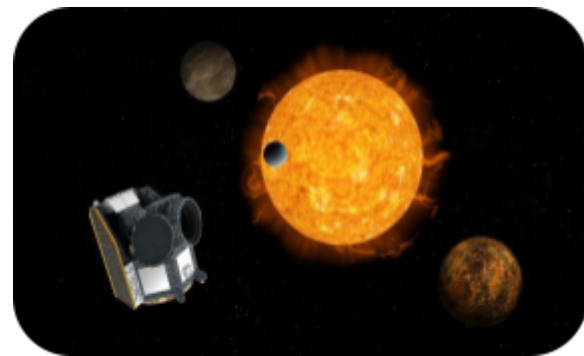


Figura 1: Impresión artística de CHEOPS (Créditos: ESA)

Las misiones de la Agencia Espacial Europea (ESA), CoRoT, GAIA y Cheops contribuyen a la búsqueda de exoplanetas desde el 2006, junto a las misiones de NASA Kepler y TESS.

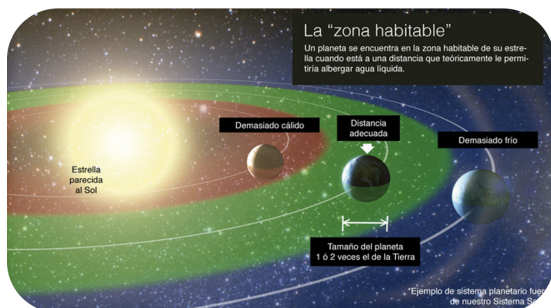


Figura 2: Zona habitable (Créditos: Astrobiology, NASA)

A estas se suma la misión espacial ESA/NASA Hubble y muchos telescopios de la Tierra, como GTC y antenas como ALMA.

Para poder llegar a entender si estos exoplanetas se parecen de alguna manera a la Tierra, lo primero que debemos estudiar son las estrellas a las que estos planetas orbitan.

De la misma forma que nuestro Sol, las estrellas juegan un papel crucial en la evolución de los planetas y la posibilidad de albergar vida. Si buscamos vida a partir de la posible detección de agua líquida en la

¹ exoplanet.eu



superficie del planeta, de manera duradera, llegaremos a la definición de lo que es un planeta en la zona habitable, como muestra la Figura 2.

En esta Reto os adentraréis en el campo de cómo y dónde se forman esas estrellas. Hay aún tantos misterios alrededor de la formación estelar y tantas cosas por descubrir... **Si quieres ayudar a los científicos de ESA a resolver este Reto, estaremos más cerca de conocer nuestros orígenes.**

Fase 0

Para poneros en contexto os recomendamos ver estos videos:

- [Esto es ESA](#) (10 min)
- [ESAC: Una ventana al Universo de ESA](#) (3 min)
- [Presentación de ESA/ESAC/CESAR](#) (6 min)
- Otros [videos](#) complementarios sobre el espacio.

Trabajareis en equipos de (4-6) personas, teniendo cada uno un papel específico. Rellena la Tabla 1 con el nombre del equipo y de los miembros del equipo asociados a varias profesiones Relacionadas con el espacio.

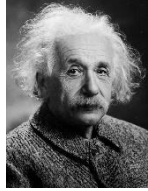
Identificador del Reto			Número del Equipo (1-6):	
Nombre de Miembros del Equipo				
Profesiones	Matemátic@/ Ingenier@ de software	Astrofísic@	Ingenier@	Químic@/Físic@
Roles	Lidera la correcta ejecución de los cálculos	Lidera el uso del telescopio virtual ESASky y el entendimiento de sus objetos celestiales.	Encargada de encontrar la mejor estrategia acordada entre los miembros del Equipo y de su correcta ejecución.	Encargada de liderar investigaciones más detalladas sobre los procesos energéticos y composición de los objetos celestes.
Referencia (femenina)	Katherine Johnson 	Vera Rubin 	Samantha Cristoforetti 	Marie Curie 
	Steve Wozniak 	Matt Taylor 	Pedro Duque 	Albert Einstein 
(masculina)				

Tabla 0: Define el identificador de tu reto (un número único), el Número de tu Equipo (1-6) y el nombre de los miembros del Equipo, cada uno de ellos con unas tareas definidas dentro del Equipo.

Nota: La documentación hace uso del [Sistema Internacional de Unidades de Medida](#).



Fase 1

Actividad 1: Glosario

Para estudiar el cómo y el donde se forman las estrellas, familiarízate primero con el vocabulario que usamos los astrofísicos. Encuentra la definición correcta de cada palabra:

Estrella	Área de la ciencia que estudia los secretos ocultos del Universo más allá de nuestra atmósfera
Gas	La radiación electromagnética. Sigue estando a nuestro alrededor incluso cuando está oscuro.
Calor	Nubes dentro de las galaxias formadas por gas frío y polvo. Guarderías de las estrellas.
Galaxia	Cantidad de energía transferida entre objetos con diferentes temperaturas.
Planeta	Bola de gas luminosa que se mantiene unida por la gravedad.
Hidrógeno	Objeto redondo que gira alrededor del Sol con una órbita clara.
Nubes interestelares	Es el punto más alto en el cielo, a 90° de la cabeza del observador.
Cénit	Sucesión recurrente de acontecimientos.
Luz	Enorme grupo de estrellas, sistemas solares, gas y polvo, todos unidos por la gravedad. La Vía Láctea es un ejemplo.
Ciclo	Bola de gas, que pronto se convertirá en una estrella.
Astronomía	Medio que ocupa el espacio entre las estrellas de las galaxias.
Protoestrella	Uno de los cuatro estados fundamentales de la materia. Se expande y llena todo el recipiente en el que se encuentra.
Medio interestelar	Elemento químico de símbolo H. Es la sustancia química más abundante en el Universo. Existe de forma natural como hidrógeno molecular (H ₂).

Actividad 2: Medidas en Astronomía

Actividad 2.1: Posiciones

Para poder estudiar un objeto en el cielo, es importante conocer su posición. La localización de cualquier objeto celeste se expresa en coordenadas en dos dimensiones, como cuando indicamos unas coordenadas sobre la esfera de la Tierra (ver Figura 3).

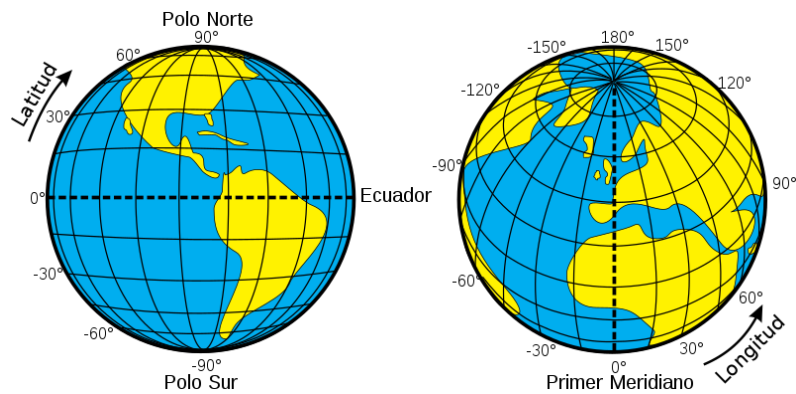


Figura 3: Latitud y longitud (Créditos: Wikipedia)

Los sistemas de coordenadas que se suelen emplear en astronomía son: **coordenadas horizontales** y **coordenadas ecuatoriales**. La diferencia entre ambas es que las horizontales dependen de donde está situado el observador, mientras que las ecuatoriales no. Puedes visitar esta web o este [video](#) para más información.

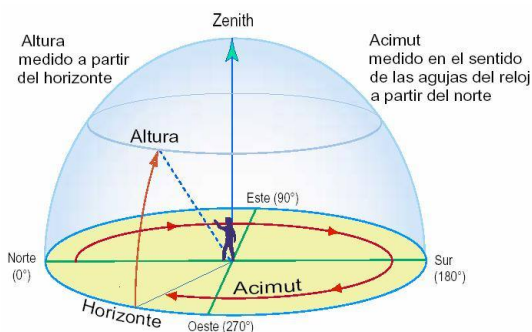


Figura 4: Coordenadas Horizontales
(Créditos: Astronomic's Backyard)

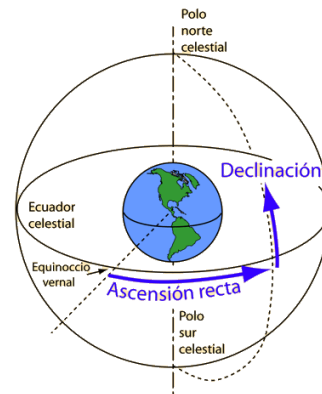


Figura 5: Coordenadas ecuatoriales (Créditos: HyperPhysics)

Coordenadas Horizontales

Estas coordenadas consisten en la altura (alt) y el acimut (az). También son llamadas coordenadas locales, ya que se dan respecto al observador. Observa la Figura 6.

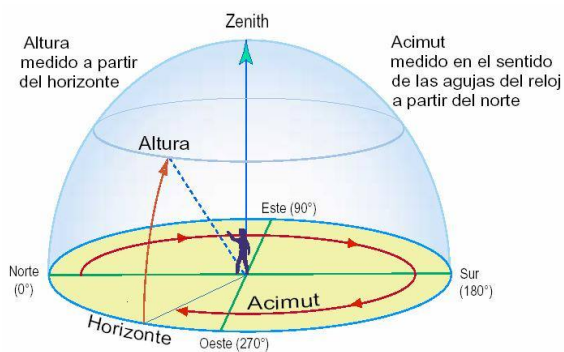


Figura 6: Coordenadas Horizontales (Créditos: Astronomic's Backyard)

Imagina que estás en el punto del “Observador” mirando hacia la estrella.

- **La altura** es el ángulo medido sobre el horizonte, cuyo valor puede ir de 0° (justo en el horizonte) hasta 90° (justo encima tuya, en el punto llamado **cenit**).
- **El acimut** es el ángulo barrido a lo largo del plano horizonte, desde el punto geográfico que indica el norte hacia el este, hasta llegar a tu posición.

Dado que estas coordenadas dependen de en qué parte de la Tierra se encuentre el observador, otro observador mirando la misma estrella desde otra posición, medirá una altura y acimut diferentes.

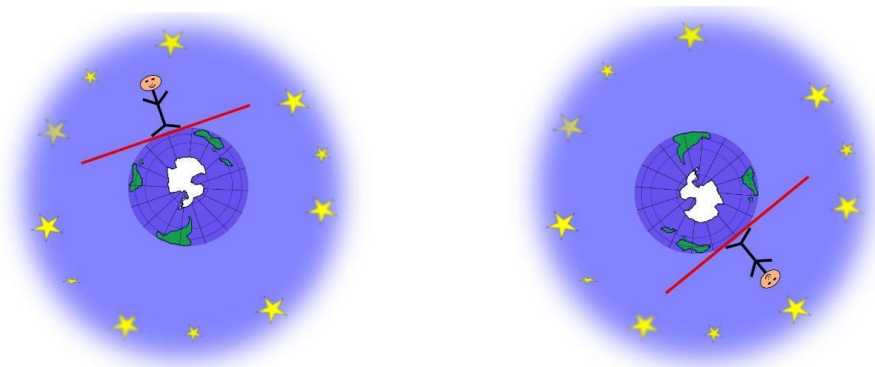


Figura 7: Coordenadas Horizontales (Créditos:Aurge.org)

Coordenadas Ecuatoriales

Las coordenadas ecuatoriales son la ascensión recta (RA) y la declinación (DEC). Al ser independientes de la posición del observador, se llaman coordenadas globales.

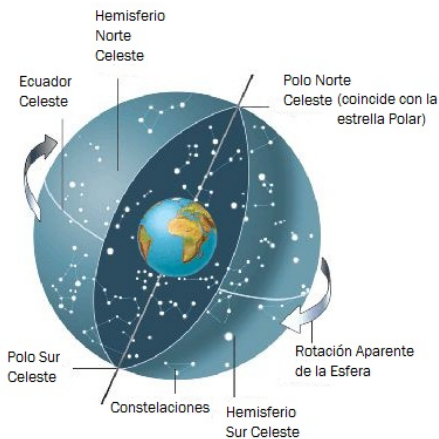


Figura 8: Esfera celeste (Créditos:

<http://iniciacionalastronomia.weebly.com/ud2-coordenadas-celestes.html>)

Imagina meter la tierra dentro de una esfera enorme, a la que llamamos esfera celeste. Si extiendes el plano del ecuador de la Tierra hasta esta esfera, como muestra la Figura 8, obtenemos el plano del ecuador celeste.

Por simplicidad, podemos considerar que todos los objetos celestes se proyectan sobre esta esfera celeste y de este modo determinar sus posiciones.

Igual que en la Tierra, la esfera celeste tiene líneas de *longitud* y *latitud*.

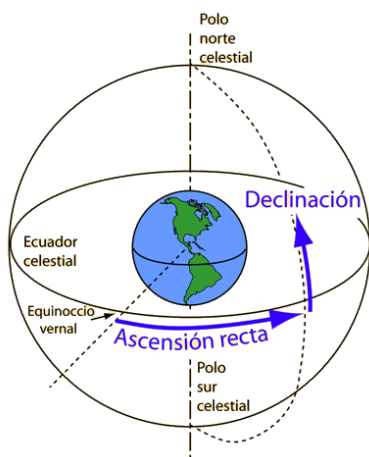


Figura 9: Coordenadas

Ecuatoriales (Créditos:

HyperPhysics)

- **La ascensión recta (RA)** se puede comparar con la longitud de la Tierra. Se mide en *horas*, *minutos* y *segundos*. El punto de referencia para RA=0 es el llamado **punto vernal**². Nota: la Tierra rota 360° sobre su propio eje en 24 horas, por lo tanto una hora equivale a 15°.
- **La declinación (DEC)** se puede comparar con la latitud de la Tierra. Se mide en *grados*, *minutos de arco* y *segundos de arco*. El plano de referencia es el **ecuador celeste** y los valores son positivos siempre que se encuentren al norte de este.

² El punto vernal en la posición en la que se encuentra el Sol el 21 de Marzo, indicando el principio de la primavera en el hemisferio Norte (<https://www.youtube.com/watch?v=p1VotuvT3k4>)

En ocasiones, las coordenadas RA, DEC se dan en grados solo. Por lo tanto, es de gran utilidad saber hacer la conversión de unidades.

Para convertir ascensión recta dada en horas, minutos y segundos a grados usa la Ecuación 1:

$$\left(h + \frac{\text{min}}{60} + \frac{\text{sec}}{3600}\right) \times 15 \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Para convertir declinación dada en grados, minutos de arco y segundos de arco a grados usa la Ecuación 2:

$$\left(d + \frac{\text{arcmin}}{60} + \frac{\text{arcsec}}{3600}\right) \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Nota: Cuando la declinación es negativa, los minutos y segundos de arco también lo son!

Actividad 2.1.1: Conversión entre hh:mm:ss y grados:minutos de arco:segundos de arco a grados

Una estrella tienes las siguientes coordenadas RA (h,m,s) y DEC (grados, arcmin, arcsec):

(RA, DEC) = (10h 43m 56s, -59°33'00")

Convierte las siguientes coordenadas a grados.

--

Actividad 2.2: Distancias

Existen varios métodos para medir las distancias de los objetos celestes, los cuales se representan en la “escala cósmica” de la Figura 10. Cada método de medición se basa en los valores obtenidos por el método anterior.

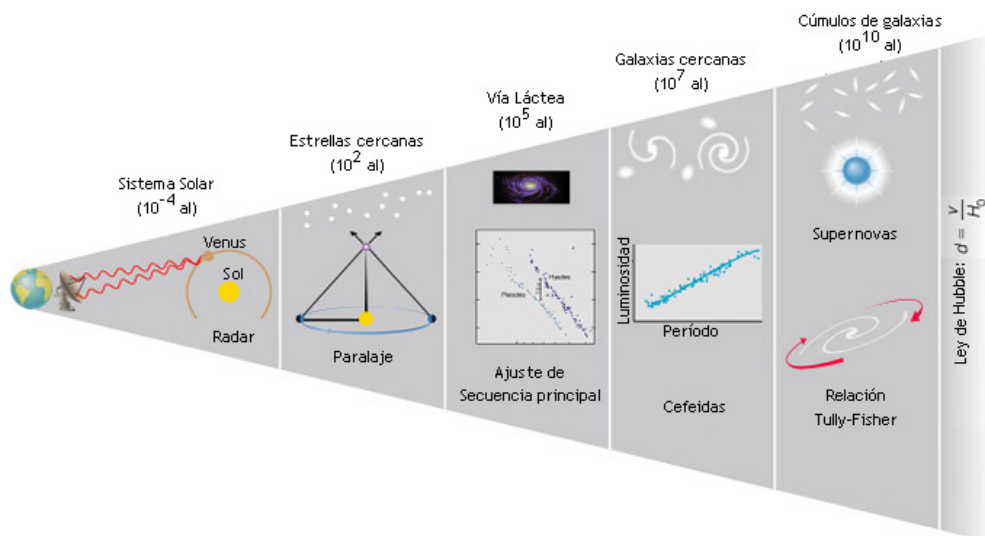


Figura 10: Escalera cósmica (Créditos: KosmosLogos)

Antes de medir cualquier distancia, es importante tener las unidades claras. Para distancias dentro del Sistema Solar, los astrónomos usan la **unidad astronómica (UA)**.

1 UA corresponde a la distancia media entre la Tierra y el Sol y equivale a 1.5×10^8 km.

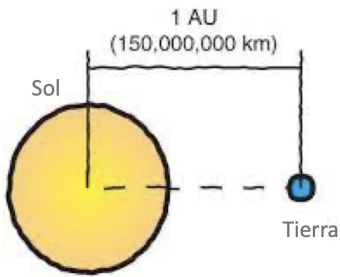


Figura 11: Unidad astronómica (Créditos: NASA)

Una unidad alternativa son los **años luz (al)**, que sale en la Figura 10.

Un año luz es la **distancia que viaja la luz en un año.**

Una vez las unidades están claras, aquí tienes una corta descripción de cada método para los siguientes rangos de distancias:

- d1 (dentro del Sistema Solar, $d < 10^{-4} al$)
- d2 (estrellas cercanas, $d < 10^2 al$)
- d3 (dentro de nuestra galaxia, $d < 10^5 al$)
- d4 (galaxias cercanas, $d < 10^7 al$)
- d5 (conjuntos (cúmulos) de galaxias, $d < 10^{10} al$)

Método 1: rastreo por radar.

Para medidas dentro del Sistema Solar ($d < 10^{-4} al$). Consiste en emitir una onda de radio desde la Tierra al objeto del Sistema Solar, cuya distancia se desea medir, y anotar el tiempo que tarda esa onda en regresar.

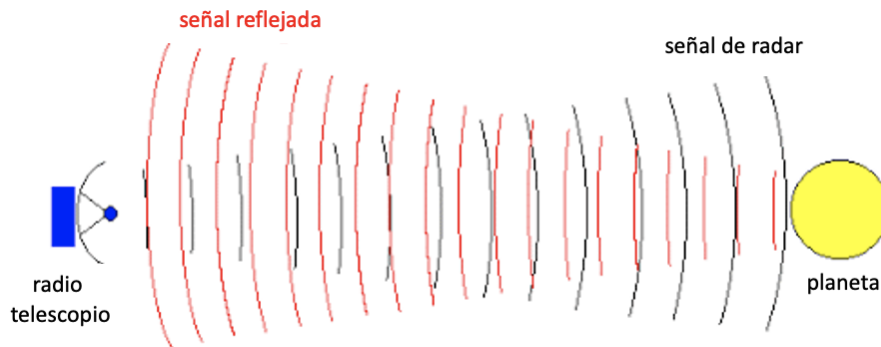


Figura 12: Eco de Radar (Créditos: <http://abyss.uoregon.edu/~js/ast123/lectures/lec13.html>)

Método 2: paralaje estelar.

Para rango de distancia de estrellas cercanas ($d < 10^2 al$).

Este método hace uso del efecto de paralaje. Para entender mejor este efecto, fíjate en la Figura 13 y repítelo.

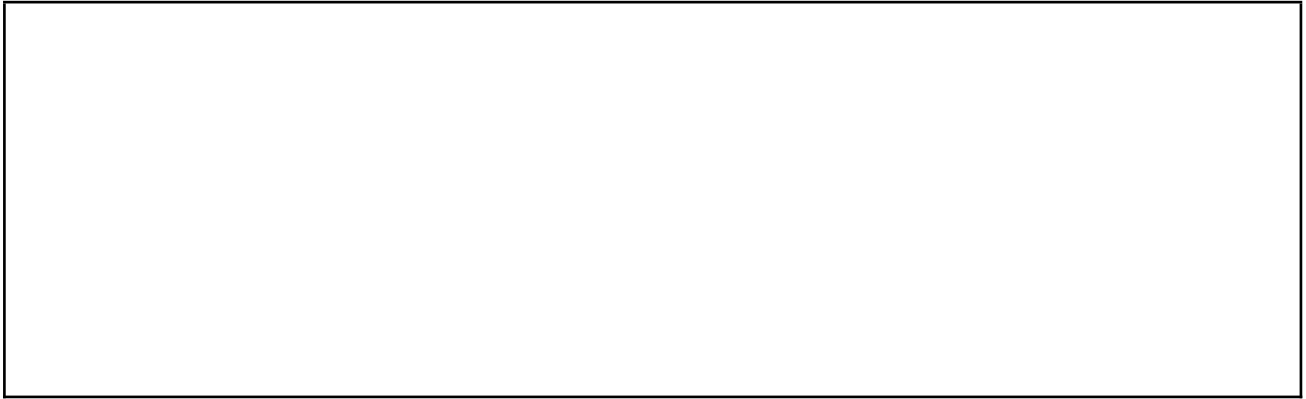
ACCIÓN: Coloca uno de tus pulgares delante tuya, como muestra la Figura 13, alejando la mano de tu cuerpo todo lo posible (pero con postura cómoda).



Figura 13: Ejemplo de paralaje
(Créditos: <http://blog.cupix.com/>)

Observa el objeto, en este caso el coche, que se encuentra delante tuya, respecto a la posición de tu dedo. Cierra uno de tus ojos y repite la misma acción. A continuación cierra el otro ojo, siempre dejando uno abierto.

Explica que ves:



A esto es a lo que llamamos “efecto de paralaje”. Al medir el cambio aparente en la posición de un objeto (dedo) con respecto al fondo, debido a que la medida se ha realizado desde dos posiciones (la distancia entre los dos ojos u otra mayor), uno puede medir la distancia al objeto. Como este método lo empleamos para medir la distancia entre estrellas cercanas, lo llamamos “**paralaje estelar**”.

Fíjate en la Figura 14. En esta la estrella se observa en dos momentos del año, cuando los puntos de la órbita de la Tierra alrededor del Sol se encuentran lo más separados posibles entre sí. En este caso esto sucede con una distancia temporal de 6 meses.

La Figura 14 nos muestra que cuando se observa una estrella cercana, respecto al fondo de estrellas, en enero, dicha estrella parece estar a la derecha del fondo de estrellas, mientras que cuando se hace la misma acción en julio, esta estrella parece estar a la izquierda del fondo de estrellas.

Ambas observaciones combinadas dan una estimación del desplazamiento aparente de la estrella.

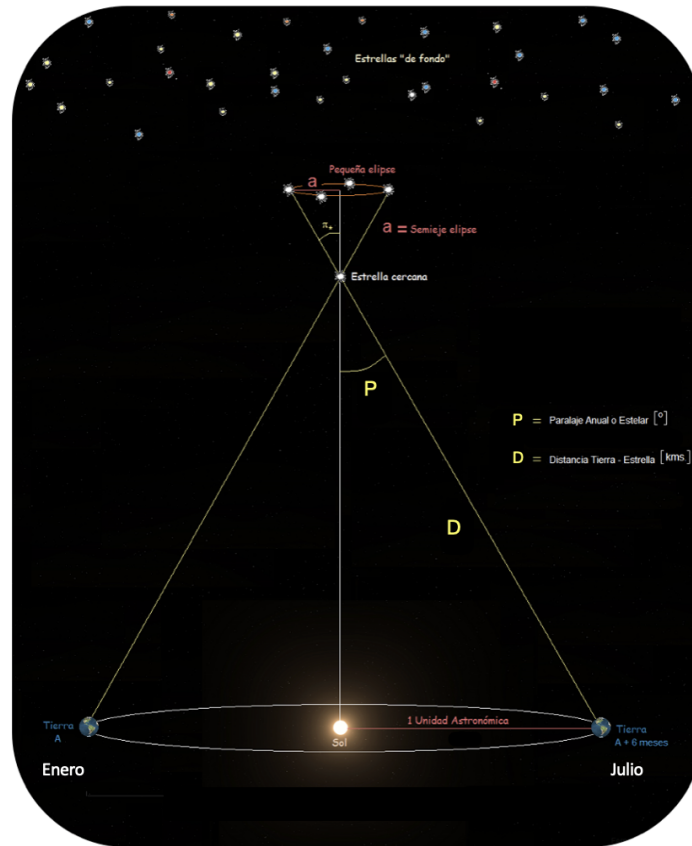


Figura 14: Paralaje

Wikipedia)

estelar (Créditos:

Para medir la distancia “D” a la estrella mediante el paralaje, se necesita una “longitud base”. En este caso se usa el radio orbital de la Tierra alrededor del Sol, 1 UA, como muestra la Figura 14. El *medio-desplazamiento angular (ángulo de paralaje)* entre la estrella y el fondo, combinado con la base se usa para calcular la distancia.

$$\tan(P) = \frac{1 \text{ UA}}{D} \quad (\text{Ecuación 3})$$

donde P es el paralaje estelar y D es la distancia entre la Tierra y la estrella.

La unidad para la distancia medida con paralaje es el parsec.

(La palabra parsec viene de la combinación entre paralaje y arcsecond (segundo de arco)).

1 parsec es la distancia a un objeto, en la cual el radio orbital de la Tierra abarca un ángulo P de un segundo de arco ($1/3600$ parte de un grado).

1 parsec equivale a 3.26 años luz.

Método 3: Desplazamiento de la secuencia principal

Para rango de distancias dentro de nuestra galaxia ($d < 10^5 \text{ al}$).

Para entender este método, primero explicamos cómo empleamos los astrofísicos el diagrama H-R e identificaremos la fase de secuencia principal en este.

En un diagrama H-R, como el que se muestra en la Figura 15, se representan en el eje y los valores del brillo intrínseco de los objetos y en el eje x, el valor de la temperatura superficial de la estrella. El diagrama H-R o Hertzsprung-Russel, recibe este nombre en honor a sus creadores.

La secuencia principal es la fase evolutiva de una estrella en la que en su núcleo quema 4 átomos de hidrógeno produciendo 1 átomo de helio. En general es la fase más estable de las estrellas, aunque las estrellas más masivas la abandonan mucho antes que las menos masivas.

Podemos ver los distintos pasos evolutivos de las estrellas en un diagrama H-R.

El método de medida de distancias compara la posición en el diagrama H-R para un conjunto de estrellas de un origen común (llamado cúmulo estelar) cuya distancia es conocida con la de otro cúmulo de estrellas de distancia desconocida.

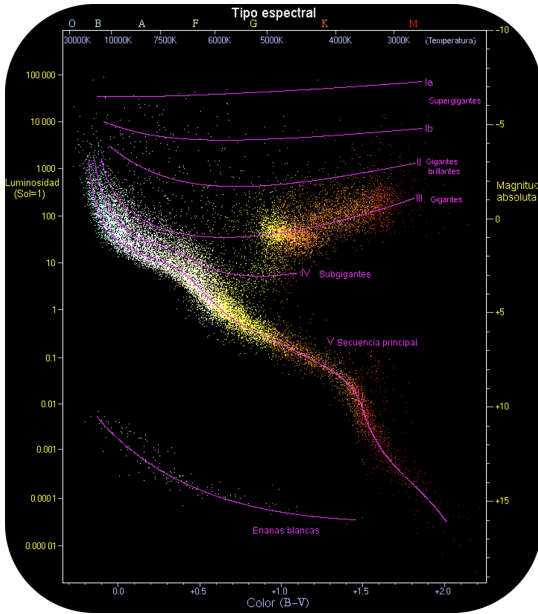


Figura 15: Diagrama H-R (Créditos: Wikipedia)

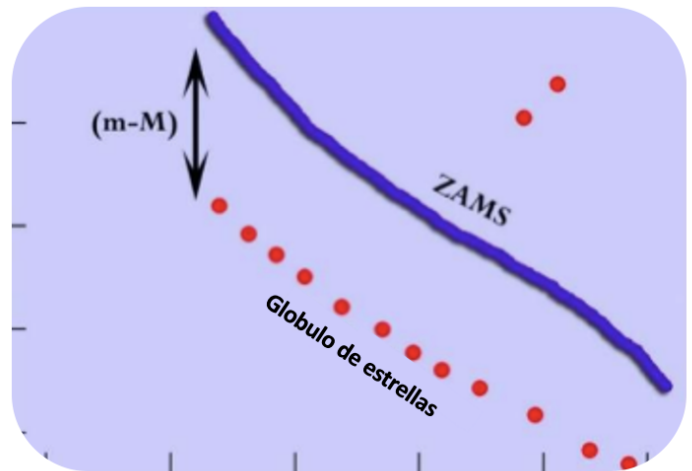


Figura 16: Diferencia entre magnitud aparente medida de un objeto (m) y la magnitud intrínseca (M) para calcular la distancia. ZAMS, por sus siglas en inglés de “Zero Age Main Sequence” indica aquella fase en la cual las estrellas empiezan a fusionar hidrógeno en el núcleo, empezando a ser consideradas estrellas. (Créditos: birmingham.ac.uk, [link](#))

Método 4: Cálculo de distancias empleando estrellas Cefeidas

Para el rango de distancias de galaxias cercanas ($d < 10^7$ al).

Las estrellas Cefeidas son un tipo de estrella muy luminosas que se expanden y contraen de manera periódica, variando así mismo su brillo. Su secuencia de brillo es muy conocida. Este tipo de estrellas fueron descubiertas por la astrónoma Henrietta Swan Leavitt en 1912. Leavitt descubrió y catalogó estrellas variables y dedujo que aquellas de mayor luminosidad tienen periodos más largos, lo cual le llevó a establecer la relación entre ambos parámetros. Este descubrimiento revolucionó la forma de observar el Universo y dio pie a importantes hallazgos, como la ley de Hubble.



Figura 17: Henrietta Swan Leavitt (Créditos: wikipedia)

Este método de cálculo de distancias consiste en comparar el brillo detectado en una estrella Cefeida de una galaxia cercana y compararlo con el brillo intrínseco conocido de estas estrellas. Esta diferencia de brillos nos permite determinar la distancia a la que dichas galaxias se encuentran de nosotros.

Método 5: Cálculo de distancias usando la relación de Tully-Fisher.

Para medir las distancias de conjuntos (cúmulos) de galaxias ($d < 10^{10} \text{ al}$).

Consiste en usar la relación **Tully-Fisher**, la cual relaciona la luminosidad de estas galaxias con su velocidad de rotación. Cuanto más grande es la galaxia, más rápido rotará. Si uno sabe la velocidad, puede encontrar la luminosidad e igual que con las estrellas Cefeidas, deducir la distancia.

Método 6: Cálculo de distancias empleando la Ley de Hubble

Para medir distancias a galaxias distantes. Consiste en medir la velocidad con la que las galaxias se alejan y así estimar su distancia. La Ley de Hubble relaciona la velocidad (v) a la que se alejan las galaxias y la distancia a la que se encuentran (D), mediante la constante de Hubble, (H_0).

$$v = H_0 D \quad (\text{Ecuación 4})$$

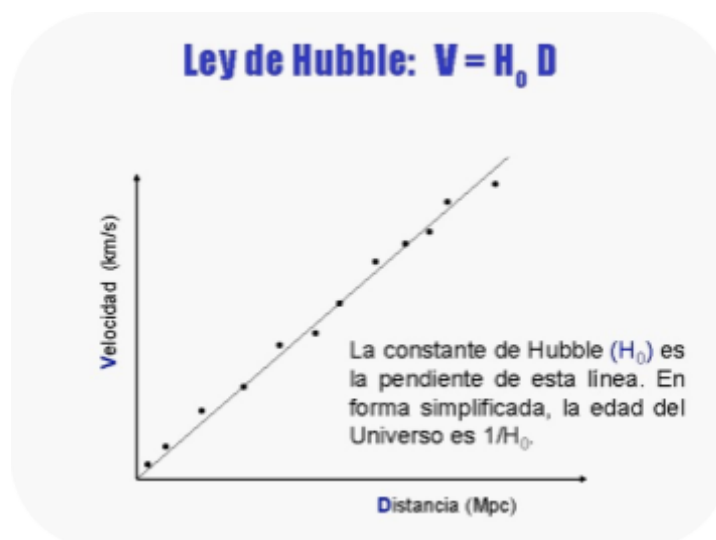


Figura 18: Ley de Hubble (Créditos: presentación La Cosmología Física, producto del siglo XX)

Actividad 2.2.1: Conversión entre unidades de distancia (longitud)

1. Utilizando la relación trigonométrica entre la paralaje y la distancia, responde a esta pregunta:

¿A qué distancia (D), en unidades astronómicas (UA) se encuentra un objeto a la distancia angular de 1 parsec?

2. Convierte 1 año luz a kilómetros:

Pista 1:

1 año = 365 días

1 día = 24 h

1 h = 60 min

1 minuto = 60 segundos

Pista 2: La luz viaja a $300\,000 \frac{km}{s}$

3. Utiliza lo aprendido sobre las distintas unidades de distancia empleadas en astronomía para calcular cómo de lejos están los siguientes objetos de la Tierra.

¿Qué unidad de distancia tiene más sentido emplear para cada uno de los objetos de la Tabla 1?

Objeto	Unidad astronómica (UA)	Años luz (al)	Parsec (pc)
Jupiter		0.00008175	
Sol			0.000004848
Proxima Centauri	268142.2		
Nebulosa de Orion			412
Nebulosa del Águila		7000	
Nebulosa de Carina		7500	
Andromeda		2 500 000	

Tabla 1: Calculando distancias

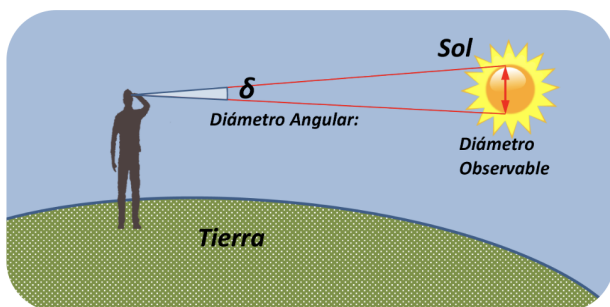
4. ¿Por qué crees que tiene sentido usar diferentes unidades dependiendo del objeto o la región en el cielo?

5. ¿Qué unidad usarías para referirte a distancias dentro del Sistema Solar?

6. ¿Qué unidad usarías para referirte a la distancia a un cúmulo estelar?

Actividad 2.3: Tamaños

Habiendo calculado las distancias al Sol, a las nebulosas Orion y Carina etc. en la [Actividad 2.2.1](#), ahora vamos a conocer cuál es el tamaño de estos objetos o regiones en el cielo.



El tamaño de un objeto en astronomía se suele dar como el “**diámetro angular**” visto desde la Tierra, y no como su tamaño real. Para entenderlo mejor, mira la Figura 19, que muestra un observador mirando hacia la Luna. La Luna está a una distancia D del observador. El *diámetro real* de la Luna es d y el *diámetro angular* para el observador es δ .

Figura 19: Tamaño real y angular (Créditos: Wikimedia Commons)

Observa la Figura 19, y con lo que sabes de trigonometría, puedes relacionar el tamaño angular, δ , el tamaño real, d , y la distancia al objeto (en este caso la Luna), D , de tal manera:

$$\tan \delta = \frac{d}{D} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Los ángulos con los que estamos trabajando (δ) tienden a ser pequeños, por lo que se puede hacer uso de la *aproximación de ángulo pequeño*:

$$\tan \delta \approx \delta \quad (\text{Ecuación 6})$$

donde δ viene dado en radianes.

En astronomía, los ángulos normalmente se expresan en segundos de arco. Para convertir de radianes a segundos de arco ten en cuenta que:

$$\checkmark \quad 2 \pi \text{ rad} = 360^\circ$$



✓ $1^\circ = 60' = 3600$ segundos de arco

Por lo tanto, para poder expresar δ en segundos de arco, has de usar la Ecuación 7:

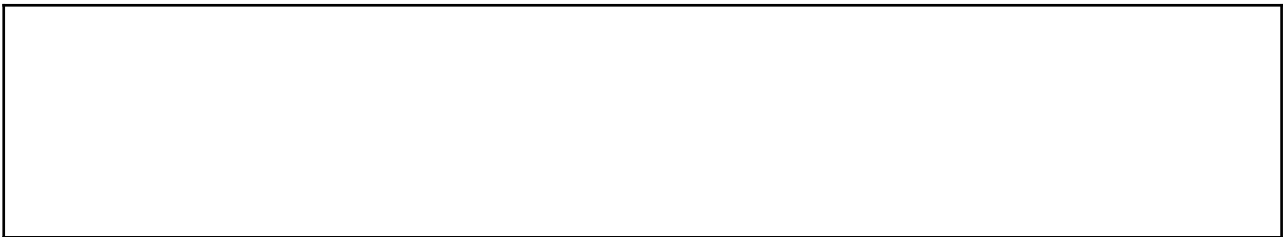
$$\delta \text{ (segundos de arco)} = \frac{3600''}{1^\circ} \times \frac{360^\circ}{2\pi \text{ rad}} \times \frac{d}{D} = 206265'' \times \frac{d}{D}$$

(Ecuación 7)

1. Calcula el tamaño real del Sol, sabiendo:

- Que el diámetro angular del Sol es: $\delta = 0.5^\circ$.
- Que la distancia media entre el Sol y la Tierra es: $D=150\,000\,000$ km

ATENCIÓN: Nunca mires directamente al Sol sin protección adecuada



Actividad 2.3.1: Estimando tamaños angulares con las manos

¿Sabías que sujetando la mano delante tuya como se muestra en las Figuras 20 y 21 puedes estimar el diámetro angular de un objeto?



Figura 20: Midiendo tamaños angulares

(Créditos: <https://www.exploratorium.edu/>)



Figura 21: Diametros angulares (Créditos:

www.daviddarling.info)

Esta noche intenta medir el tamaño angular de la Luna en grados. Repite este ejercicio durante todo el mes y compara tus respuestas.

Actividad 2.4: Magnitudes

Los astrónomos usamos el concepto de **magnitud** para expresar el brillo de un objeto celeste.

La magnitud es simplemente un número, pero puede ser confuso ya que **cuanto más baja sea la magnitud, más brilla el objeto**.

Nota: Hay objetos tan brillantes que llegan a tener magnitudes negativas!

Por supuesto, la distancia a un objeto afecta cómo de brillante parece. Imagina dos linternas iguales, una a 1 m de tí, y la otra a 20 m. La primera te parecerá que brilla con más fuerza, pese a que ambas son idénticas. Lo mismo pasa con las estrellas.

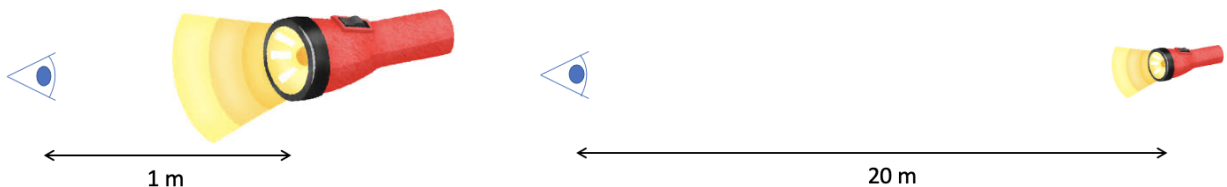


Figura 22: Linterna (Créditos: Shutterstock)

Para poder desprenderse de este factor de la distancia, los astrónomos usan la **magnitud relativa**.

La **magnitud relativa** de un objeto es la intensidad con la que parece brillar un objeto celeste, visto desde la Tierra.

El astrónomo griego Hiparco de Nicea, hace 2000 años, clasificaba estrellas en función de lo brillantes que aparecían en el cielo y creó seis categorías. A las más brillantes les asignó la magnitud 1 y a las menos brillantes, magnitud 6.



Figura 23: Representación de Hiparco de Nicea
(Créditos: <https://cienciaes.com>)

Actualmente la clasificación ha cambiado ligeramente y sabemos que entre un objeto de magnitud 1 y otro de magnitud 6, hay un **factor de 100 en brillo**.

Eso significa que entre cada intervalo de magnitud, el brillo disminuye un factor de $\sqrt[5]{100}$ o 2.512, o lo que es lo mismo, un objeto de magnitud 1 será 2.512 veces más brillante que uno de magnitud 2 y 2.512² veces más brillante que uno de magnitud 3. Lo anterior puede resumirse con la ecuación 8,

$$m = -2.5 \log F + \text{const} \quad (\text{Ecuación 8})$$

donde F representa el brillo del objeto.

Este nuevo método también contiene magnitudes negativas. Estas estrellas son incluso más brillantes que las que Hiparco clasificó como “primera magnitud”.

Por lo tanto, la magnitud relativa no tiene porqué describir el brillo real de un objeto. En las Figuras 24 y 25 tienes un ejemplo del Sol y Vega, la quinta estrella más brillante en el cielo.

El Sol tiene una magnitud relativa mucho más baja y por tanto parece brillar mucho más que Vega en el cielo, cuando realmente Vega es 57 veces más brillante que el Sol. El único problema es que está más lejos.

El Sol, magnitud relativa = -27

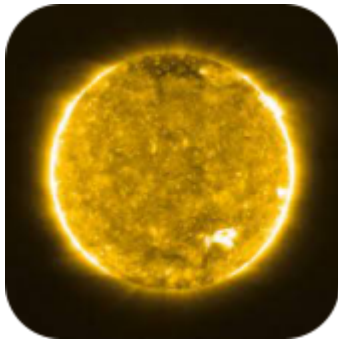


Figura 24: Imagen del Sol (Créditos: ESA/SOLO)

Vega, magnitud relativa = 0.03



Figura 25: Imagen de Vega (Créditos: Wikipedia)

Actividad 2.4.1: Filtros

Como viste en la [Actividad 2.4](#), las magnitudes se usan para describir el brillo de un objeto. Los telescopios obtienen datos de magnitud al observar estrellas a través de diferentes **filtros**.

Imagina una estrella que emite luz visible (como el Sol). Sin el uso de un filtro, la emisión parecerá toda blanca. Sin embargo, si usamos un filtro rojo en el telescopio, por ejemplo, este filtra toda la luz excepto la luz roja.

La magnitud que se mida a través del telescopio con este filtro será la magnitud en la banda roja.

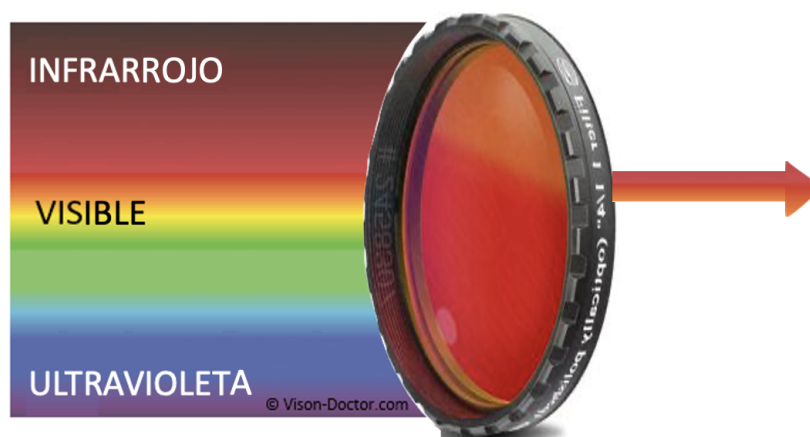


Figura 26: Filtro rojo (Créditos: VisonDoctor.com)

Los telescopios también pueden medir magnitudes con filtros de banda verde (g, del inglés green), ultravioleta (u), infrarrojo (i) y muchas más, como el H-alpha.

Siempre que des un valor de magnitud, es necesario especificar el filtro al que corresponde.

Actividad 2.5: Color

Actividad 2.5.1: ¿De qué color son las estrellas?

Seguramente te hayas fijado en que las estrellas no parecen tener el mismo color en el cielo, ¡y así es!

Algunas estrellas son más rojizas, otras más azuladas, otras más amarillas... como se muestra en la Figura 28.



Figura 27: Senderos de estrellas en el cielo nocturno en el Teide (Créditos: [Daniel López](#))



Figura 28: Colores de las estrellas y temperatura (Créditos: Astronomiaparatodos)

El color que vemos de las estrellas está relacionado con la longitud de onda a la que la emisión de dicha estrella es máxima (pico de emisión).

La distribución de energía de un cuerpo se puede comparar con la distribución de energía de un cuerpo negro. De este modo es posible derivar su temperatura efectiva.

En la [Actividad 5.2](#) encontrarás un simulador para comprender mejor estos conceptos.

Si te apetece experimentar con los diferentes colores de las estrellas accede a este [CESAR Scientific Case about “¿Qué colores tienen las estrellas?”](#).

El problema con el color, como lo conocemos, es que lo que a ti te parece azul, a otra persona le puede parecer menos azulado. Para resolver esta subjetividad, los astrónomos emplean una definición muy precisa para el color, una con la que todo el mundo esté de acuerdo y que sea comparable.

Actividad 2.5.2: Color en astronomía

En la astronomía, el **color es la diferencia entre dos magnitudes**.

Al comparar la magnitud medida del mismo objeto con un filtro rojo a la magnitud medida con un filtro azul, se puede saber si el objeto emite más en la banda roja o azul. (Nota: recuerda la [Actividad 2.4](#), cuanto más brilla un objeto, menos es su magnitud).

Al restar una magnitud de la otra se obtiene el color del objeto celeste.

En la Figura 29 se ven los filtros Sloan de los cual se pueden obtener los siguientes colores:

color (u-g)	color (r-i)
color (g-r)	color (i-z)

Siendo (u) de ultravioleta, (g) de verde, (r) de rojo, (i) de infrarrojo y (z) de infrarrojo más lejano. Si el color $(u-g) > 0$, la magnitud en la banda u es mayor que en la banda g. Por lo tanto, el objeto es más verdoso (dado que emite a mayor longitud de onda).

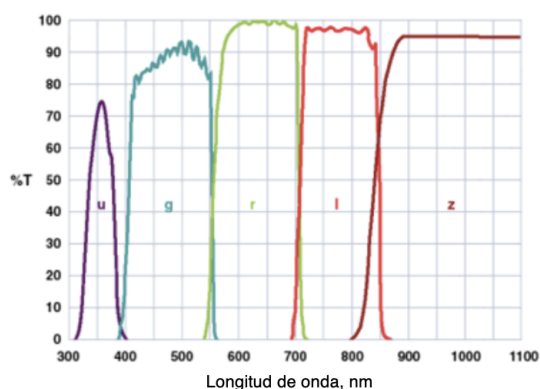
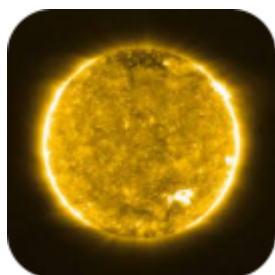


Figura 29: Transmisión de los distintos filtros Sloan en el instrumento MegaCam encima del telescopio CFHT. (Créditos: cfht.hawaii.edu)

1. Compara el *color* (g-r) del Sol y de la estrella Vega. ¿Qué puedes deducir sobre la emisión en la banda g y r de ambos?

El Sol
(g-r) = 0.44



Vega
(g-r) = -0.25

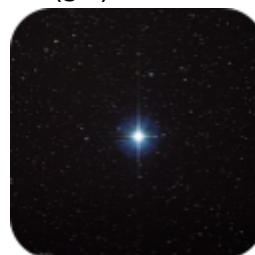


Figura 30: Imagen del Sol (Créditos: ESA/SOLO)

Figura 31: Imagen de Vega (Créditos: Wikipedia)

2. Compara el *color* ($u-g$) del Sol y de la estrella Vega. ¿Qué puedes deducir sobre la emisión en la banda u y g de ambos?

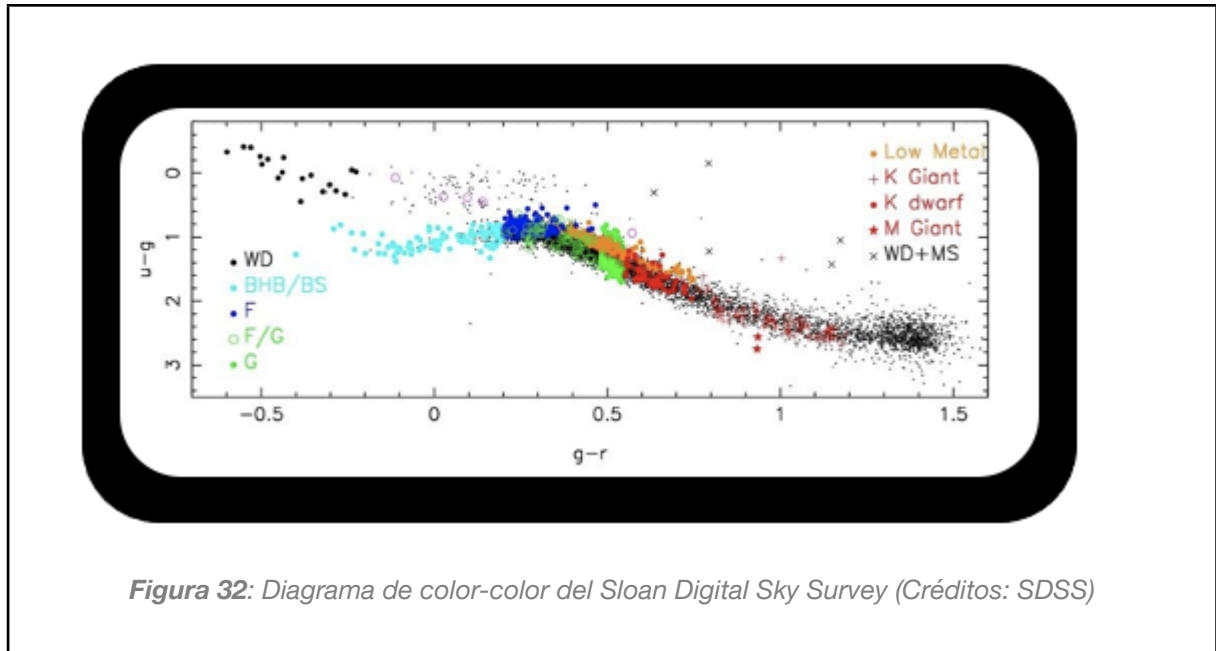
El Sol
($u-g$) = 1.43

Vega
($u-g$) = 1.02

Actividad 2.5.3: Diagramas color-color

Como su nombre indica, este tipo de diagramas son aquellos que nos permiten comparar varios colores de un objeto (o de varios) a la vez.

1. Recupera los colores ($u-g$) y ($g-r$) obtenidos del Sol y de la estrella Vega de la [Actividad 2.5.2](#) y dibuja sobre este diagrama color-color sus localizaciones.



2. Según la Figura 32, ¿qué tipo de estrellas son el Sol y Vega?

Actividad 3: ¿Qué sabes de cómo se forman las estrellas?

1. ¿Cuántas estrellas crees que hay en el Universo? ¡Adivina!

2. Antes de empezar a leer sobre la formación de estrellas, ¿qué ingredientes crees que son necesarios para formar una estrella?

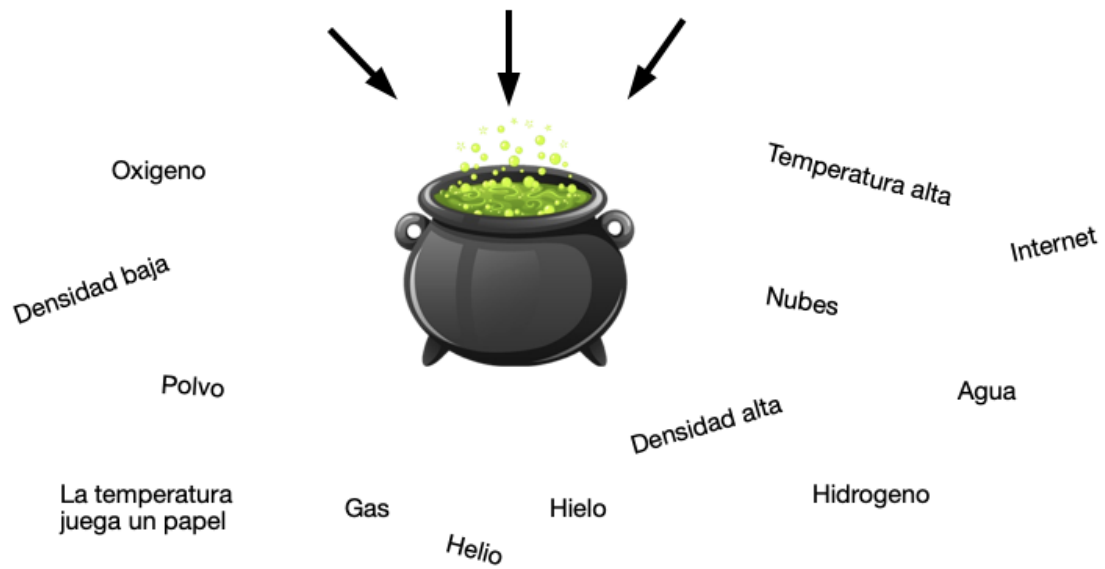
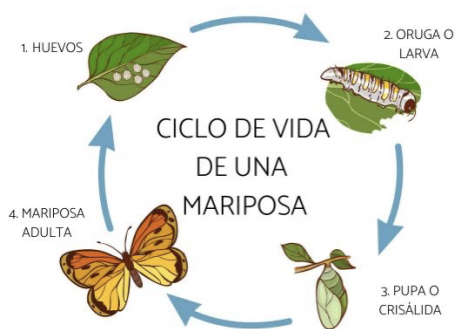


Figura 33: Caldera con ingredientes de formación estelar (Créditos: ClipArt)



Las estrellas tienen ciclos de vida como las mariposas.

Figura 34: Ciclo de vida de una mariposa (Créditos: EcologiaVerde)



3. La formación de estrellas se puede dividir en etapas, como muestra el coche en la carretera de la Figura 35. Ordena las imágenes (a-e) de la Figura 36, desde la etapa inicial de formación de una estrella hasta la etapa final de su formación.



Figura 35: Pasos en la formación estelar (Créditos: adaptado de Freepik)

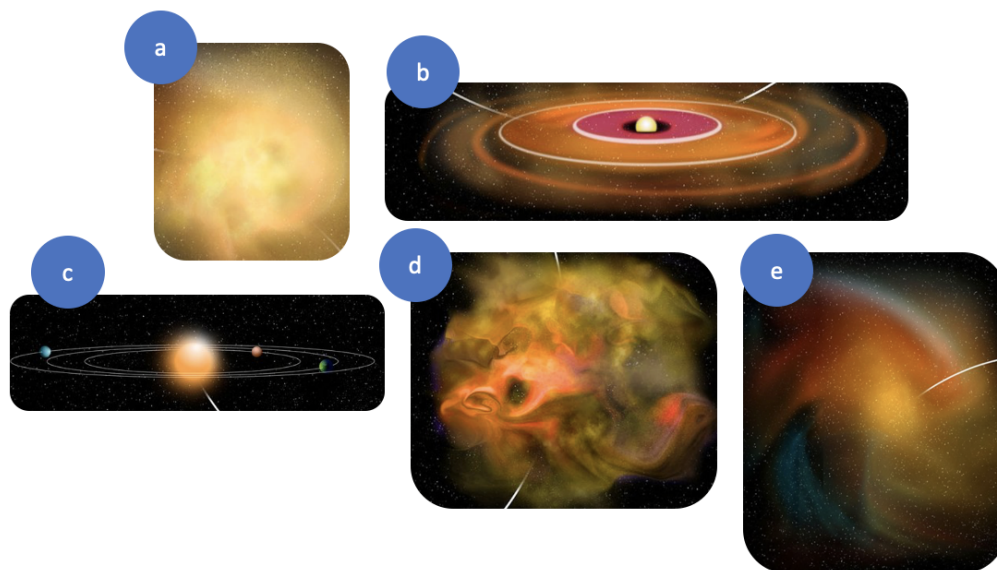


Figura 36: Pasos en la formación estelar (Créditos: ESO Supernova)

4. Mira este [video](#) para obtener alguna pista sobre la formación estelar.

Actividad 4: Formación estelar en detalle

En la Figura 37 se muestran las etapas por las que pasa una estrella en su proceso de formación, como has visto en el video anterior.

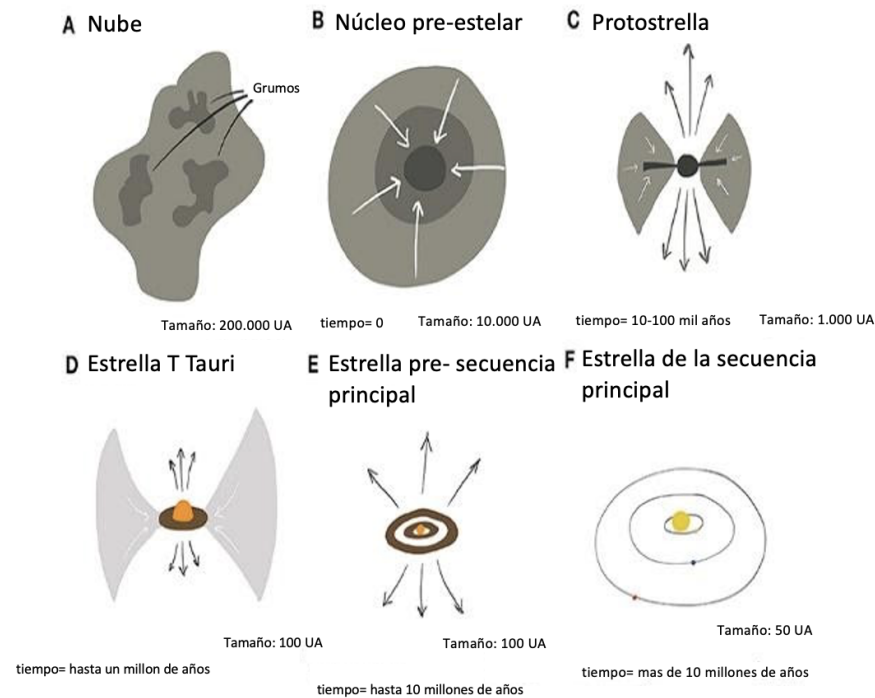


Figura 37: Vision general de la formacion estelar (Crediost: <https://kids.frontiersin.org/>)

1. Explica con tus propias palabras lo que entiendas de los diferentes pasos de este proceso.



Aquí tienes los pasos de la formación estelar más en detalle:



Antes de que empiece la formación ...

ETAPA 1: Las nubes moleculares

A Nube

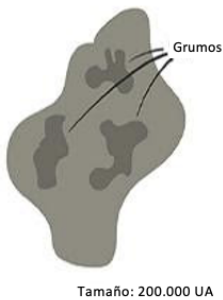


Figura 38: Nube molecular.

(Créditos: <https://kids.frontiersin.org/>)

Como hemos visto en la [Actividad 1](#), llamamos **medio interestelar (ISM)** a la materia y radiación que llena el espacio entre sistemas estelares en galaxias. La mayor parte de la masa del medio interestelar (en forma de gas, polvo y rayos cósmicos) se encuentra en las **nubes moleculares**. Estas nubes están compuestas de hidrógeno molecular y átomos de helio. Pueden tener una masa equivalente a más de 100 000 veces la del Sol. ¡Se podría meter todo nuestro Sistema Solar 10 000 en una nube molecular!



Figura 39: Nebulosa de Orion (Créditos: Wikipedia)

Existen nubes (también llamadas nebulosas) brillantes y oscuras. Las nebulosas brillantes se dividen en dos tipos: las de emisión y las de reflexión. Las nubes de emisión absorben fotones y los reemiten en longitudes de onda más largas. Las nubes de reflexión simplemente reflejan la luz de alrededor.

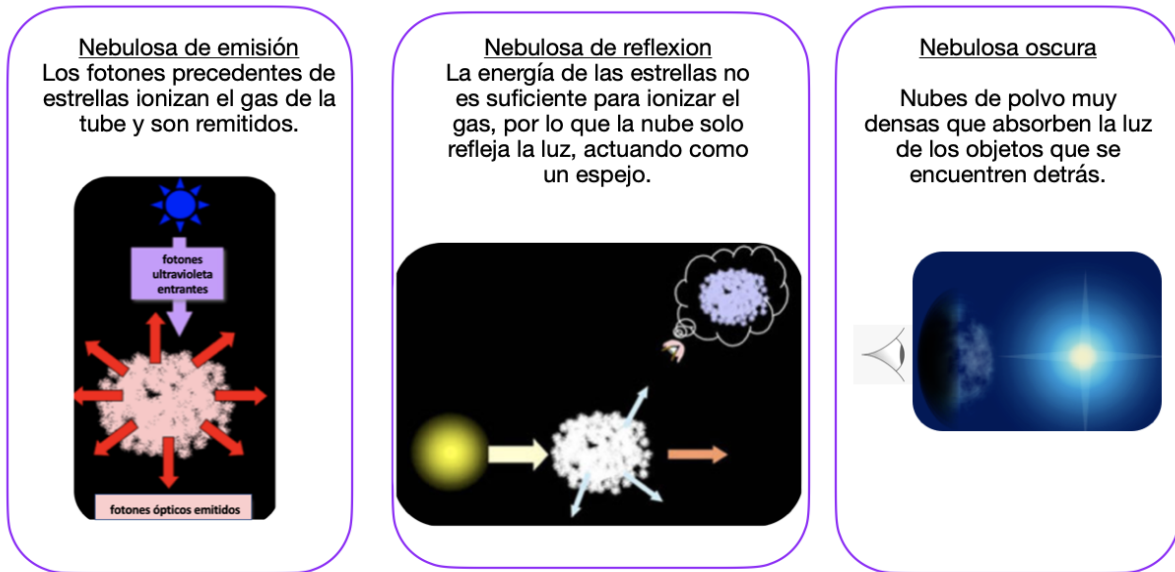


Figura 40: Nebulosas de emisión, reflexión y oscuras (Créditos: COSMOS and adapted from glyphweb)

ETAPA 2: De las nebulosas a los filamentos

El material que contienen las **nebulosas** está en constante movimiento en todas las direcciones posibles. Puedes comparar este material con coches en una ciudad muy concurrida. En las regiones donde más materia se concentra (atascos), se forman los **filamentos**.

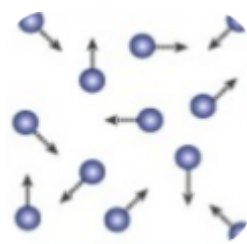


Figura 41: Movimiento de partículas

en las nubes (Créditos: <https://www.sciencelearn.orgy>)



Figura 42: Atasco (Créditos: Rabinky Art)

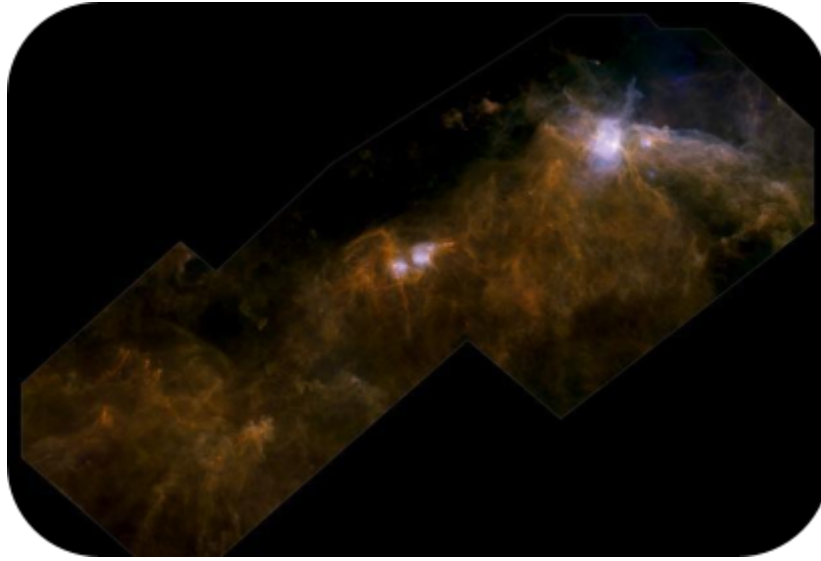


Figura 43: Región de formación estelar en Orion (Créditos: ESA/Herschel/NASA/JPL-Caltech, [link](#))

ETAPA 3: De filamentos a grumos

La materia empieza a concentrarse dentro de los filamentos, lo cual lleva a que se formen zonas extremadamente densas. Llega un punto donde la fuerza gravitatoria de estas zonas es tan potente, que las fragmenta en pequeños grumos de alta temperatura, como en la Figura 44.

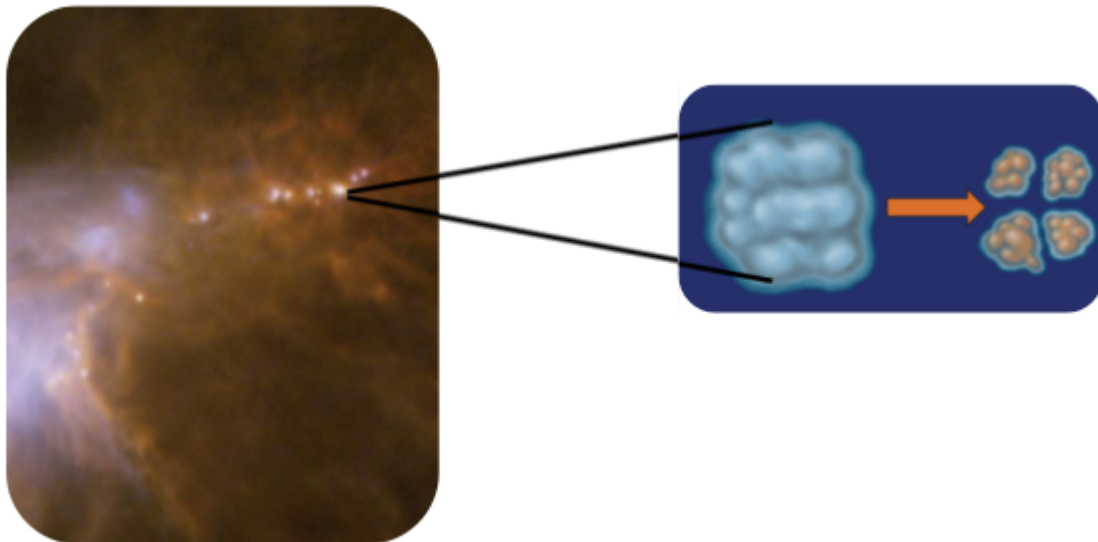


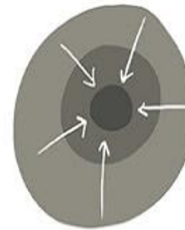
Figura 44: Fragmentación de grumos (Créditos: ESA/Herschel/NASA/JPL-Caltech (izquierda), Créditos: 2014 Pearson Education, Inc (derecha))

Estos grumos son tan sumamente densos que acaban colapsando sobre su propia gravedad, como muestran las Figuras 45 y 46. Durante el colapso, los grumos atraen más y más material de la nebulosa que los rodea.



Figura 45: Colapso de un edificio (Créditos: Builders Enquiry)

B Núcleo pre-estelar



tiempo= 0 Tamaño: 10.000 UA

Figura 46: Núcleo pre-estelar colapsando (Créditos: <https://kids.frontiersin.org/>)



Cuando comienza la formación de la estrella ...

ETAPA 4: De grumos a núcleos

El movimiento de partículas en un grumo hace que este rote. El colapso ocurre más rápido en la zona central, la más densa, lo cual lleva a que más material aún caiga sobre él, cerca del centro. Conforme se concentra más material, el grumo rota cada vez más rápido (igual que cuando una bailarina encoge los brazos para girar más deprisa). Este fenómeno se llama **conservación de momento angular**.

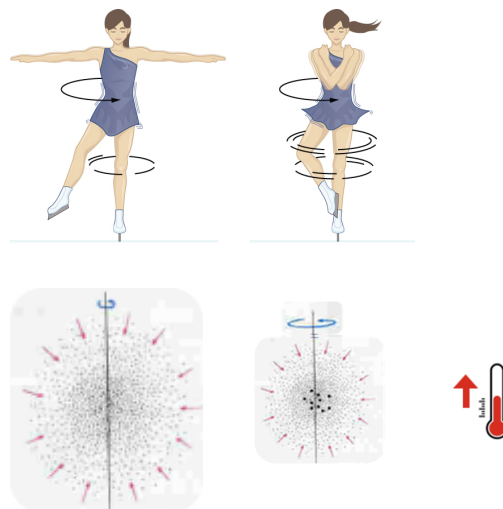
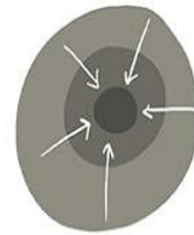


Figura 47: Arriba: Conservación de momento angular (Créditos: Lumen Learning). Abajo: Grumo aumenta en densidad, temperatura y velocidad de rotación conforme se concentra la materia en el centro.

El incremento de densidad en el grumo hace que aumente la temperatura, formando un centro tan denso que se le empieza a llamar núcleo. Cuando éste llega a una temperatura de 30.000 K, es conocido como **núcleo pre-estelar**.

B Núcleo pre-estelar



tiempo= 0 Tamaño: 10.000 UA

Figura 48: Núcleo pre-estelar

ETAPA 5: De núcleo a protoestrella

El núcleo ha estado acumulando material a su alrededor, convirtiéndose cada vez en una esfera más densa que rota más y más rápido. Una esfera que colapsa gravitatoriamente rodeada de material, forma un disco plano rodeándola (igual que cuando la bailarina rota más rápido, su tutú se levanta). Este disco se llama **disco de acreción**.

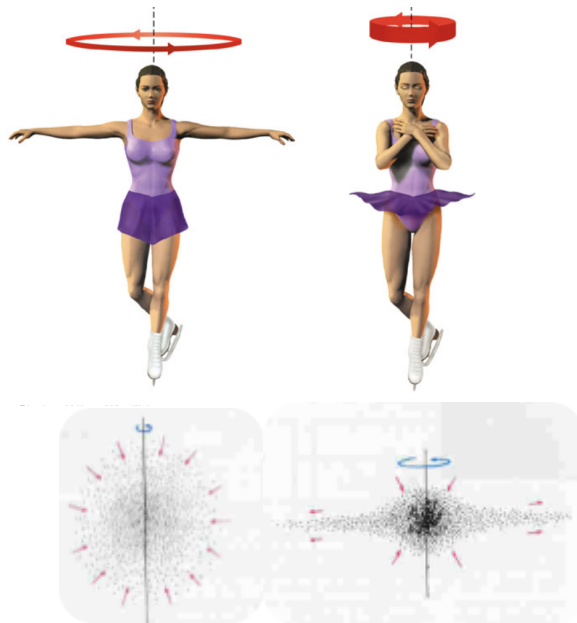


Figura 49: Arriba: El tutú de la bailarina se levanta cuando gira más rápido. (Créditos: [link](#)). Abajo: La materia alrededor del núcleo se asienta en un disco.

El núcleo pre-estelar se conoce en ese momento como **protoestrella**. El disco de acreción será esencial para su evolución pues la protoestrella crece a medida que el material en el disco cae hacia su superficie. Esta adquisición de material se llama **acreción**.

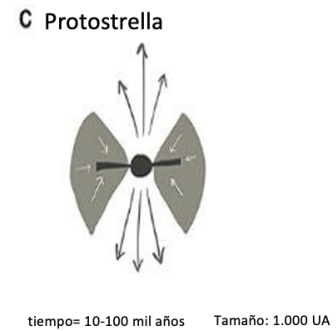


Figura 50: Protoestrella (Créditos: <https://kids.frontiersin.org/>)

Mira este [video](#) (hasta minuto 1:08) sobre los discos de acreción y toma nota de que otros objetos, además de las protoestrellas, también tienen disco de acreción.

Las estrellas que se forman a la vez en una nebulosa forman un grupo llamado **cúmulo de estrellas**. Si estas estrellas son jóvenes los llamamos **cúmulos abiertos**, si estas estrellas son viejas, los llamamos **cúmulos globulares**. Las estrellas que pertenecen al mismo lóbulo se encuentran a la misma distancia de la Tierra, tienen la misma edad y misma composición inicial. Lo único que las puede diferenciar es su masa. Las protoestrellas con mayor masa evolucionan antes que sus vecinas con menos masa. Esto las diferencia y llevará a que cada una esté clasificada en diferentes clases, definiendo así su posición en el diagrama H-R como vimos en la [Actividad 2.2](#).

ETAPA 6: De protoestrellas a estrellas T Tauri clásicas

Durante los **primeros 100.000 años**, la formación estelar ocurre dentro de una envoltura de polvo y gas. Por ello, al principio el proceso no se puede ver a simple vista, pero si podemos ver la re-emisión de la protoestrella, a longitudes de onda más largas, de la emisión absorbida por el material de la envoltura.



Figura 51: Vista a través de la envoltura que rodea a la protoestrella los primeros 100.000 años. (Créditos: <https://www.sciencemag.org/news/2014/02/close-look-young-star-finds-chemical-surprise>)

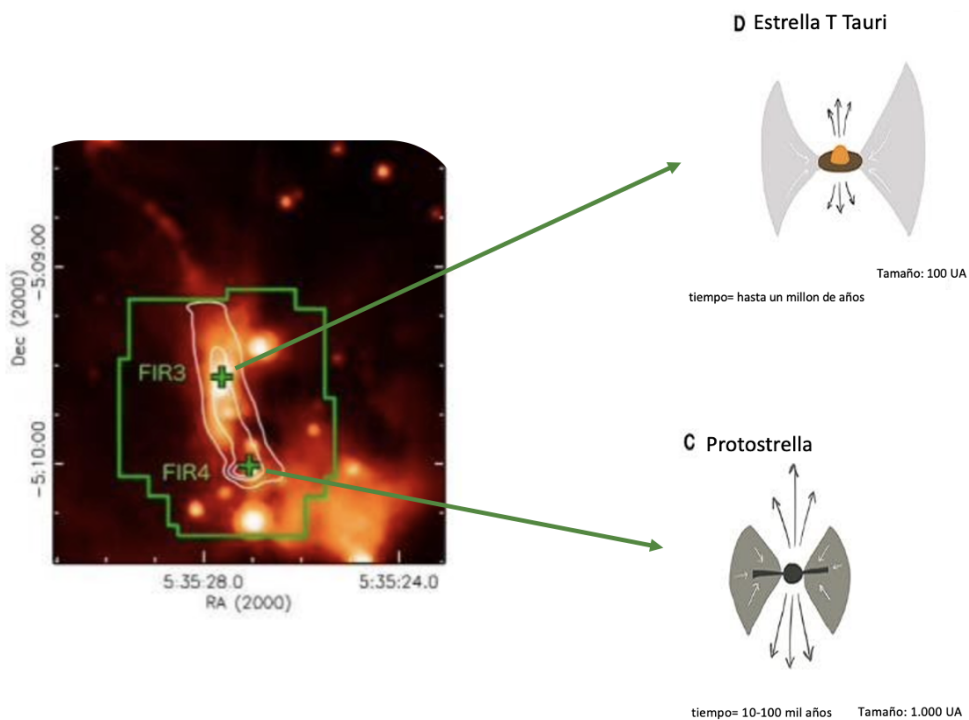


Figura 52: Izquierda: Dos protoestrellas detectadas por ESA/Herschel en la región de formación estelar Orion. FIR4 aún está envuelta y FIR3 ya tiene chorros visibles (Créditos: B.González-García et al, A&A 2016, 596,26, ESA/Herschel y el equipo HOPS). Derecha: Protoestrella y estrella T Tauri clásica (Créditos: <https://kids.frontiersin.org/>)

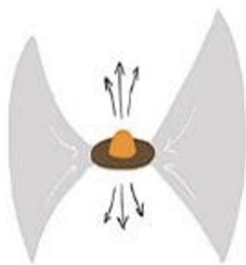
Tras 100.000 años, el gas y el polvo que rodean la protoestrella desaparece. Este gas y polvo se establece sobre el disco de acreción o es eyectado hacia el exterior en los dos sentidos perpendiculares al disco de acreción, siguiendo las líneas de campo magnético (llamado chorro bi-polar). De este modo, se conserva el momento angular.

Por primera vez se puede observar el interior de la envoltura y ver la protoestrella.

ETAPA 7: De clasica TTauri a TTauri debil

Unos cuantos millones de años después, el material en el disco se empieza a acabar y la acreción disminuye, lo cual debilita la emisión debido a esa acreción. Esto da el nombre de la protoestrella a **estrella débil T Tauri**.

D Estrella T Tauri



Tamaño: 100 UA

tiempo= hasta un millon de años

Figura 53: Estrella T Tauri (Créditos: <https://kids.frontiersin.org/>)

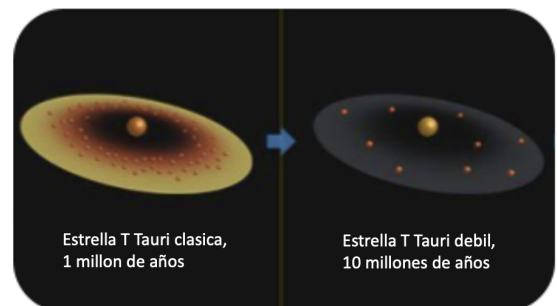


Figura 54: Estrella T Tauri debil (Créditos: Version adaptada de <https://exoplanet.mtk.nao.ac.jp/eng/seeds>)

ETAPA 8: De disco de escombros a disco planetario

El disco acaba siendo lo que se conoce como **disco de escombros**. El material sobrante empieza a chocar y a aglomerarse formando cuerpos más grandes (como cuando haces una bola de nieve), llamados **planetesimales**. Estos cuerpos aumentan en tamaño, atraen el material del alrededor y acaban formando un sistema o disco planetario como el del Sistema Solar (con planetas).

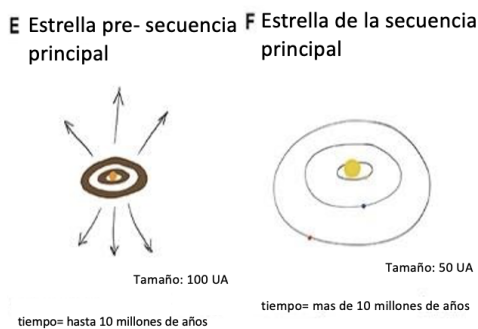
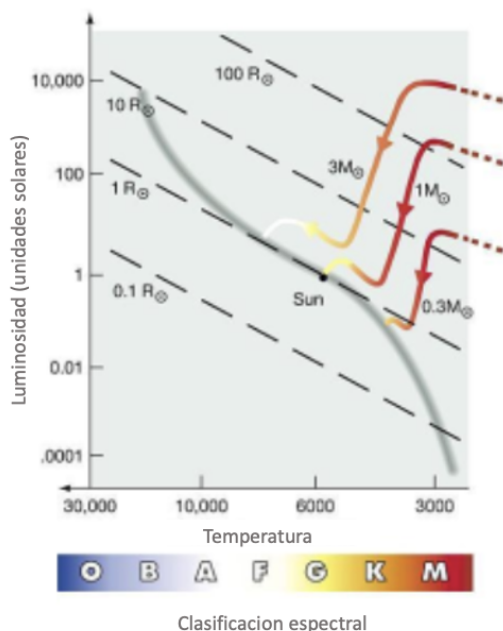


Figura 55: Sistema planetario (Créditos: [link](#))

ETAPA 9: De protoestrella a estrella



Mientras el disco de escombros se convierte en disco planetario, la protoestrella sigue contrayéndose y con esto aumentando su temperatura. Ahora decimos que las protoestrellas comienzan la fase de pre-secuencia principal. Como muestra la Figura 56, dependiendo de la masa inicial de la estrella (en masas solares), la estrella tendrá un tamaño, una luminosidad (brillo por unidad de área) y una temperatura superficial cuando llegue a la secuencia principal.

Esta secuencia principal empieza una vez el núcleo de la protoestrella se encuentra con la temperatura suficiente como para fusionar **hidrógeno**. En este momento la **protoestrella se convierte en estrella**.

Figura 56: Diagrama H-R (Créditos: [stackexchange.com](#), [link](#))

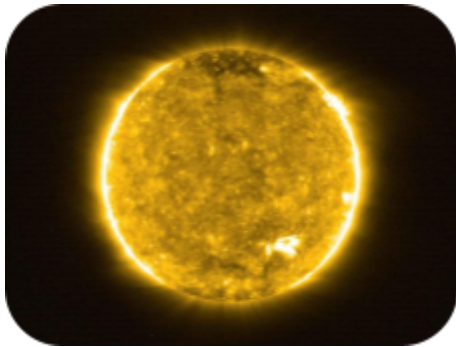
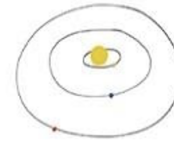


Figura 57: Imagen del Sol de la misión Solar Orbiter de ESA (Créditos: kyandtelescope.org)

F Estrella de la secuencia principal



Tamaño: 50 UA

tiempo= mas de 10 millones de años

Figura 58: Sistema con estrella central en la secuencia principal (Créditos: SPITZER)

Ahora que has aprendido sobre el proceso de formación estelar más en detalle, revisa tu planteamiento inicial sobre cómo ocurre la formación estelar en la [Actividad 3](#).

Actividad 5: La luz de las estrellas

Actividad 5.1: Radiación electromagnética

La luz se define como **radiación electromagnética**, compuesta de campos eléctricos y magnéticos oscilantes que se encuentran en fase, a 90° entre sí, perpendiculares a la dirección de propagación de la luz.

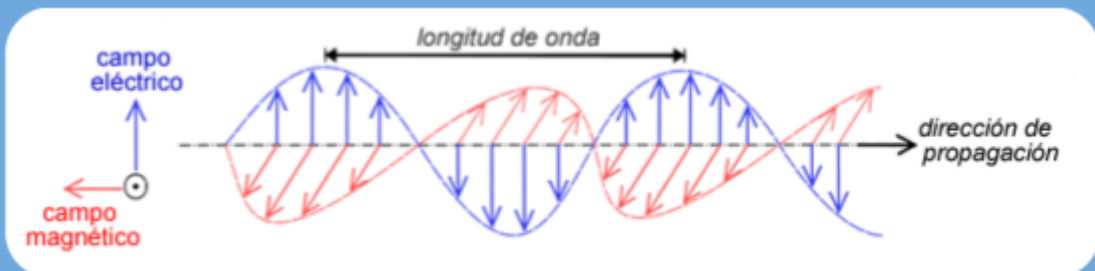


Figura 59: Campos electromagnéticos (Créditos: Radiansa)

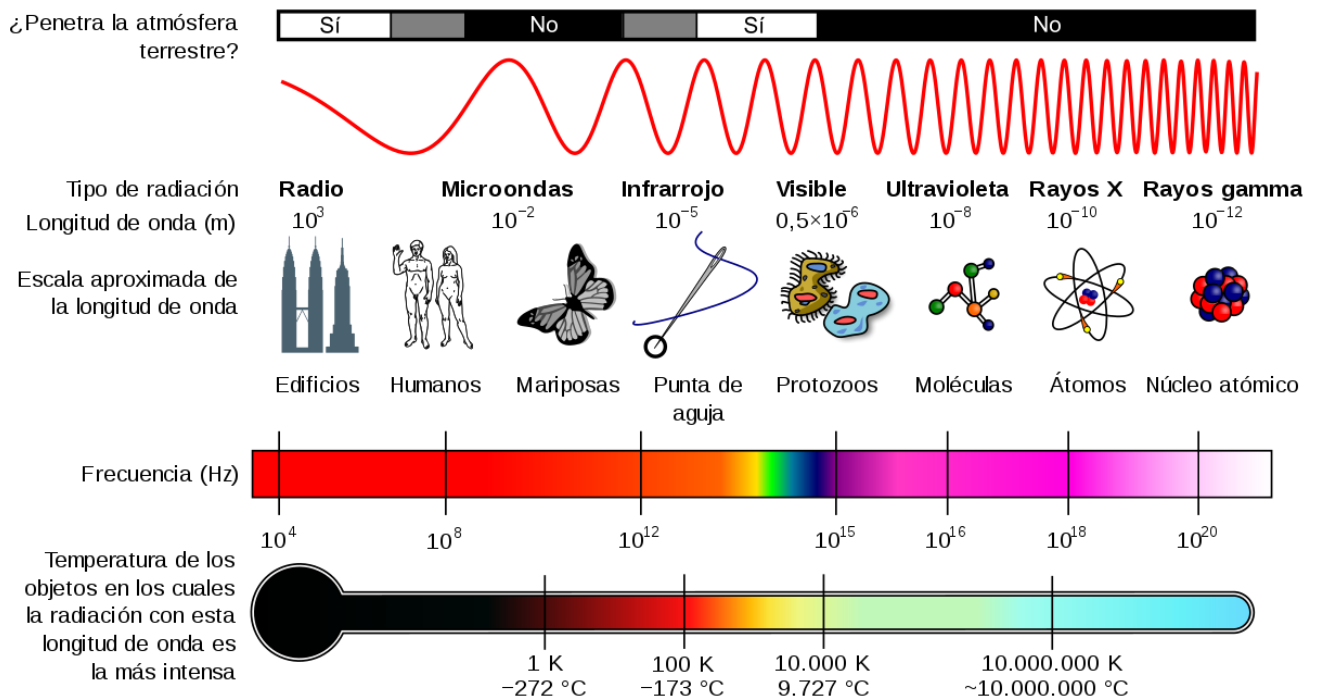


Figura 60: Espectro electromagnético (Créditos: Wikipedia)

El espectro electromagnético incluye, de mayor a menor longitud de onda: ondas de radio, microondas, infrarrojo, luz visible, ultravioleta, rayos X y rayos gamma. La dimensión de estas longitudes de onda son comparadas con objetos en la Figura 60.

El ojo humano sólo percibe luz de un rango muy limitado, la luz visible. En cambio, hay animales que ven en el ultravioleta (algunas aves) y en el infrarrojo (animales nocturnos).

Con la ayuda de la Figura 60, testea tu conocimiento sobre la radiación electromagnética rellenando los siguientes huecos:

1. Las microondas, los rayos gamma o ondas de radio son algunas de las maneras en las que la _____ se manifiesta.
2. La luz está compuesta por campos eléctricos y _____ que _____ perpendiculares a la dirección de avance de la luz.
3. Las ondas de _____ tiene la mayor longitud de onda.
4. Los rayos gamma tienen la mayor _____.
5. El ojo humano sólo percibe la luz _____.

Las diferentes longitudes de onda nos proporcionan distintas características de los objetos emisores.

Actividad 5.2: Distribución de energía espectral (SED)

Los objetos calientes emiten luz, ¡tú también!

Por tanto, las estrellas también emiten luz, a diferentes longitudes de onda dependiendo de su temperatura y energía emitida.

Figura 61: Emisión infrarroja (Créditos: Wikipedia)



Al dibujar la energía que recibimos de una estrella, en función de la longitud de onda, averiguamos en qué rango emite. Si luego comparamos esta distribución con el espectro de un **cuerpo negro**³ podemos deducir la temperatura de la estrella, como en la Figura 62.

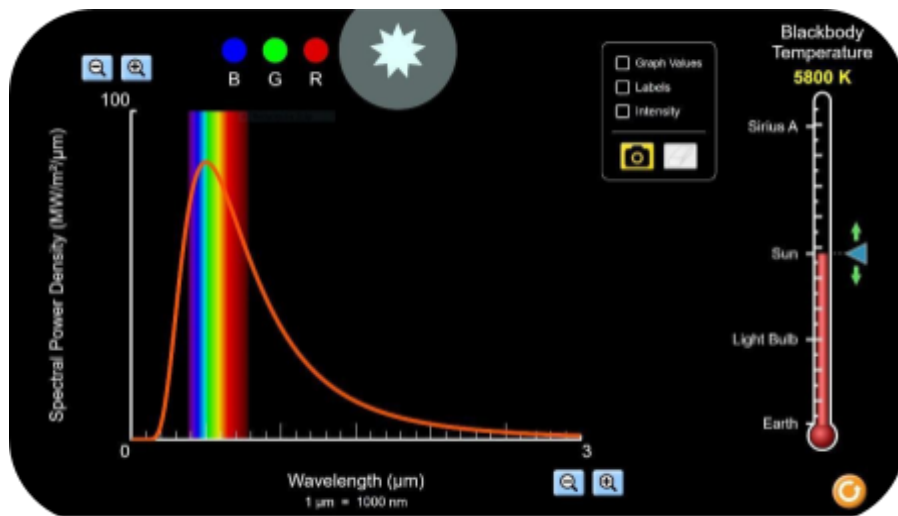


Figura 62: Simulador cuerpo negro (Créditos: het.colorado.edu)

Familiarízate con este [simulador de espectro de cuerpo negro](#) y explica qué pasa cuando seleccionas la bombilla, el Sol o Sirio A como objetos emisores.

(Consejo: Puedes hacer zoom sobre ambos ejes para ver mejor la distribución)

En el caso de la bombilla:

El Sol:

Sirio A:

³ https://es.wikipedia.org/wiki/Cuerpo_negro

La distribución de energía de un objeto en función de la longitud de onda se llama **Distribución de Energía Espectral (SED)** por sus siglas en inglés). La Figura 63 muestra la SED del Sol, de una estrella tipo el Sol y la comparación con una enana marrón.

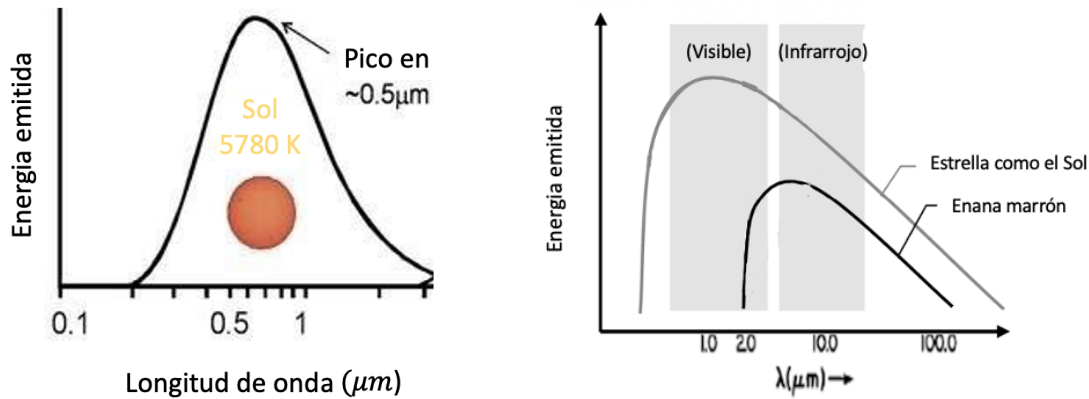


Figura 63: SED del Sol (izquierda) y SED de una estrella como el Sol comparada con la de una enana marrón (derecha). (Créditos: Science Journal. 8. S113-S121. 10.2481/dsj.IGY-018.)

Fijate en la Figura 63 y responde estas preguntas:

1. ¿En qué rango del espectro electromagnético emite el Sol?

2. ¿En qué rango del espectro electromagnético emite una enana marrón?

Nota: A una enana marrón también se le conoce como estrella fallida ya que nunca llega a fusionar hidrógeno. El motivo es que la masa inicial de la enana marrón es insuficiente para que por gravedad alcance en su núcleo la temperatura necesaria para iniciar la ignición de hidrógeno.

Actividad 5.3: ¿Qué podemos aprender sobre las estrellas en proceso de formación dada su luz?

Una estrella en proceso de formación irradia energía igual que el disco que la rodea. Cada componente que irradia energía (protoestrella, disco, envoltura), ocupa una distribución espectral o rango de longitud de onda, debido a su temperatura. Observa la Figura 64.

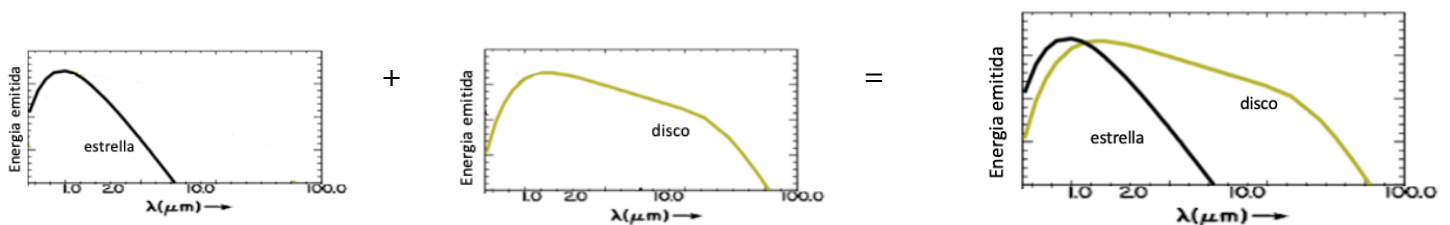


Figura 64: Ejemplos de SED (Créditos: Zadelhoff, G.-J. (2002). *Shaping disks*)

Conforme el disco evoluciona y se va quedando sin material, su contribución energética disminuye hasta que solo emite la estrella central (como es el caso de nuestro Sol). Al leer la contribución de la estrella y el disco en la SED, podemos deducir en qué estado evolutivo se encuentra la estrella.

Las SEDs de formación estelar se dividen en cuatro clases, diferenciadas por su distribución de emisión.

Cada clase corresponde a un paso evolutivo en la formación de la estrella.

- Clase 0: el paso inicial en la formación, no se aprecia contribución ni del disco ni de la estrella, solo de la envoltura
- Clase I: Las partículas de dentro del disco absorben la luz de la protoestrella, reemitiéndolo a longitudes de onda más largas (infrarrojo). Apenas se aprecia la contribución de la estrella en la SED,
- Clase II: la protoestrella se deja ver por primera vez en el visible. Sigue habiendo exceso de infrarrojo por parte del disco. En este momento la protoestrella es una T Tauri clásica,
- Clase III: el material del disco se acaba y ahora la emisión mostrada en la SED es en gran parte de la protoestrella. En esta fase la protoestrella se encuentra en fase llamada T Tauri débil.

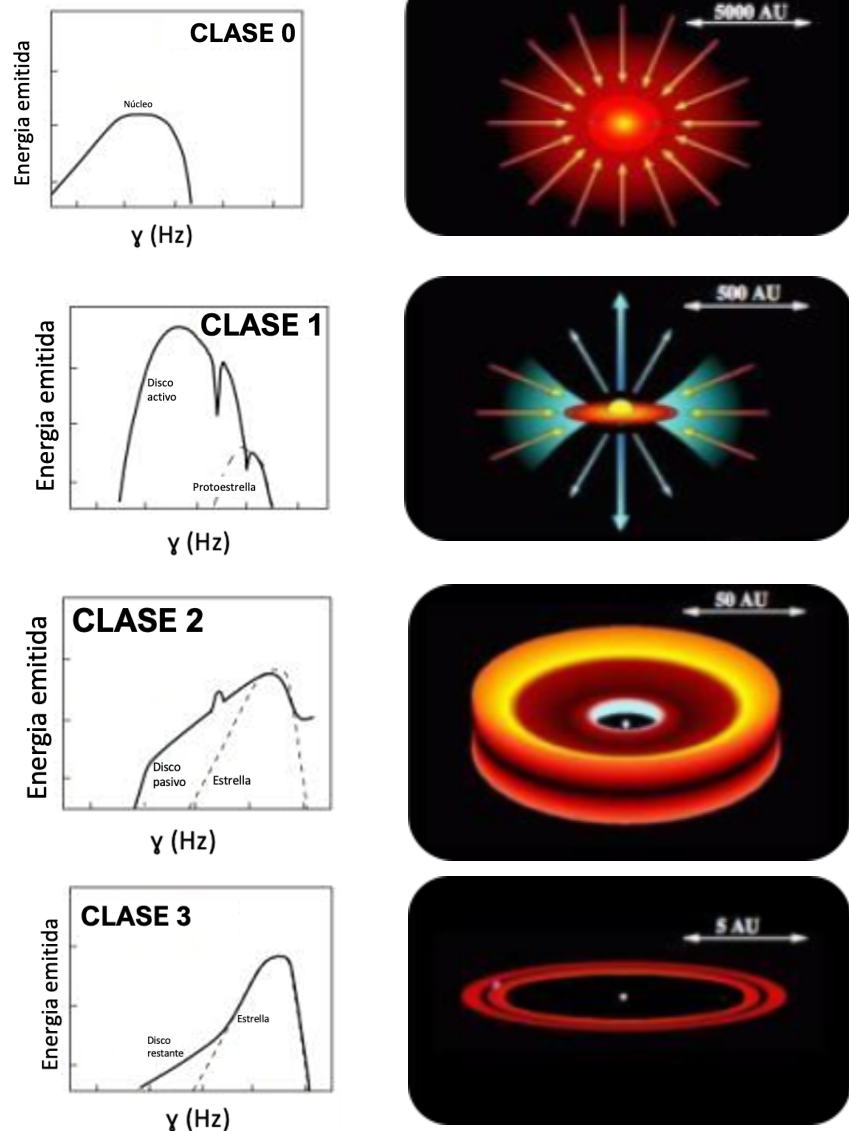


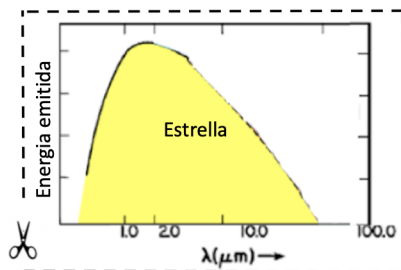
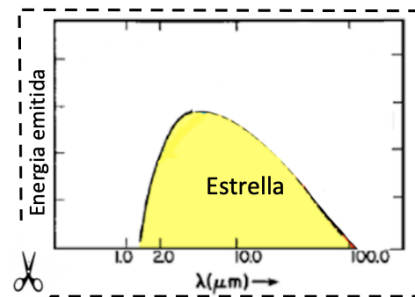
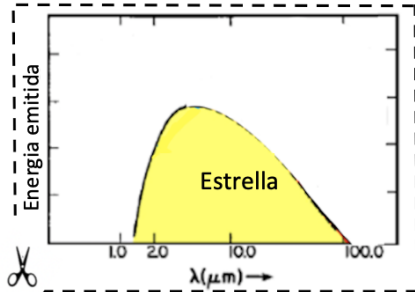
Figura 65: SEDs de pasos de formación estelar (Créditos: Harvard astronomy, [link](#))

1. Revisa la [Actividad 4](#) y la Figura 37 donde se describen los pasos de formación estelar.
2. Construye las SED de clase I, II y III de la siguiente manera:
 - a. De la Tabla 2, elige una contribución que represente a la estrella y otra al disco para formar la SED combinada.
 - b. Empareja la SED que has formado en el apartado a con la que corresponda de la Tabla 3.

Pista 1: En el paso 2.b. ten en cuenta que la SED en la Tabla 2 está en función de la longitud de onda (λ), mientras que en en la Figura 65 (y por lo tanto en la Tabla 3) se da en función de frecuencia (γ). ($\gamma = c / \lambda$, c siendo la velocidad de la luz)

Pista 2: Recuerda, con el tiempo, el material del disco se acaba y la energía re-emita por este se ve reducida hasta que domina la emisión estelar.

Contribución estelar



Contribución del disco

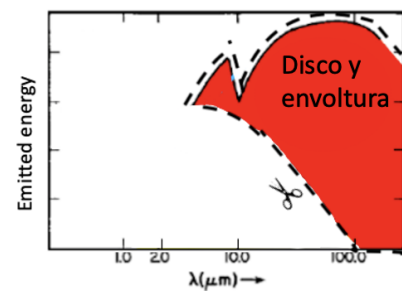
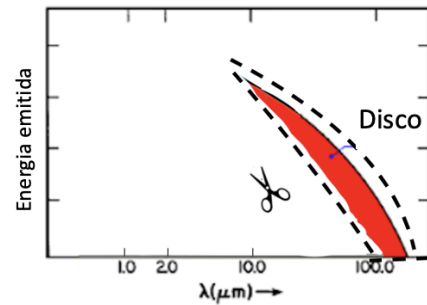
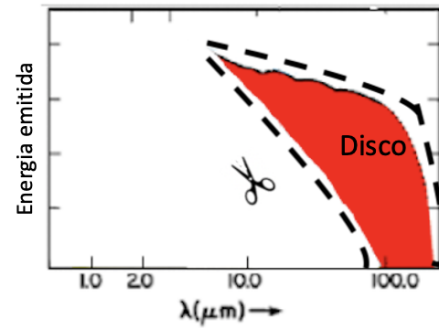


Tabla 2: SED de contribución estelar y de disco (Créditos: Preibisch 2020)

Inserta tu respuesta obtenida con la Tabla 2 aquí:

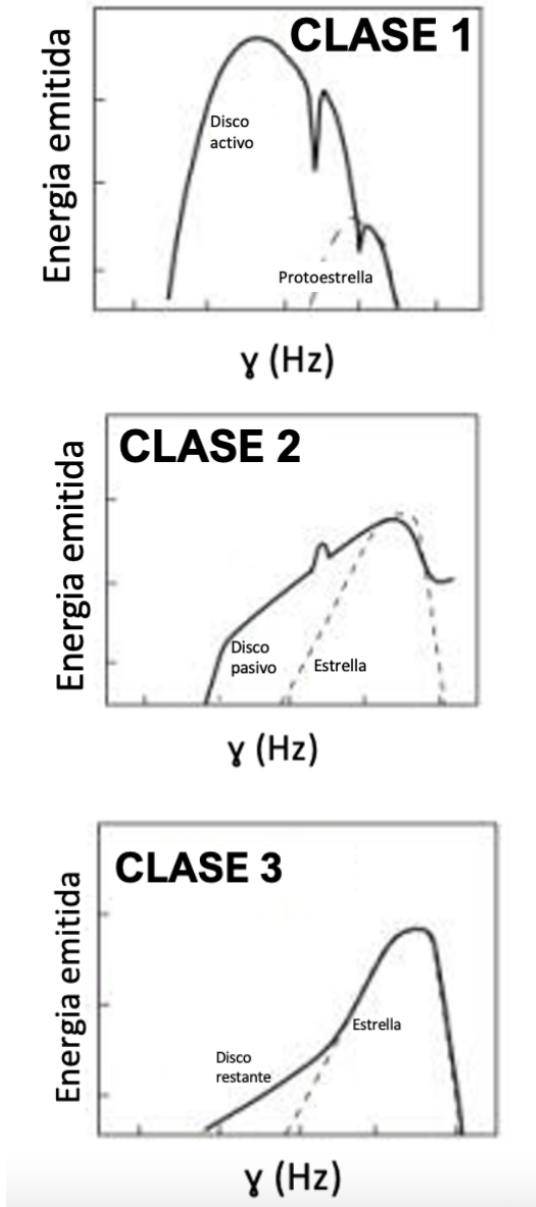


Tabla 3: Clases de SED (Créditos: Harvard astronomy, [link](#))

Actividad 6: ¿Cómo detectan los astrofísicos la formación estelar?

Ya hemos aprendido los pasos de formación estelar y como identificarlos a partir de sus distribuciones de energía. El siguiente paso es aprender cómo diferenciar las estrellas que se están formando de las ya existentes. Cuando los astrofísicos buscan zonas donde las estrellas se forman, intentan detectar la radiación de las protoestrellas y de sus discos. En particular buscan en tres rangos de emisión electromagnética. Estas emisiones se conocen como “rastreadores de formación estelar”.

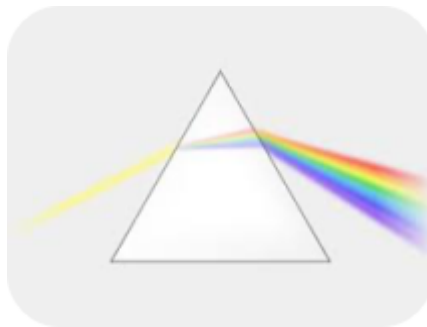


Figura 66: Dispersión de la luz (Créditos: Wikipedia)

Los rastreadores de formación estelar son: detección de H-alpha en el visible, con ciertas características, el exceso de infrarrojo y de emisión en rayos X.

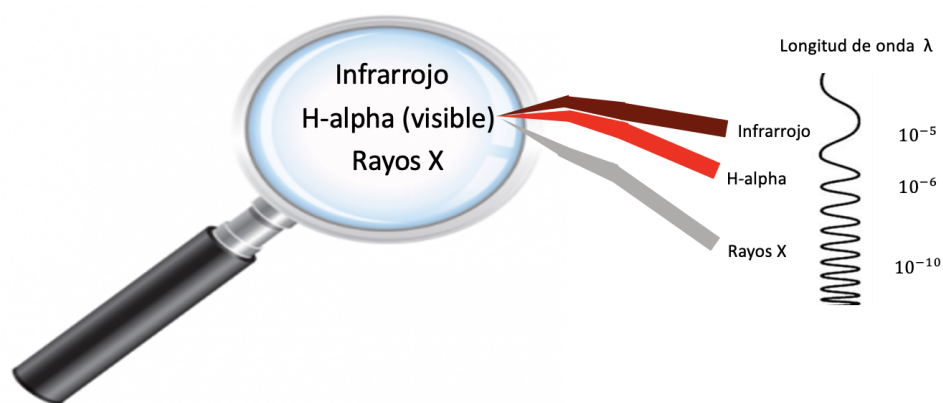


Figura 67: Lupa con rastreadores de formación estelar (Créditos: CanStockFoto)

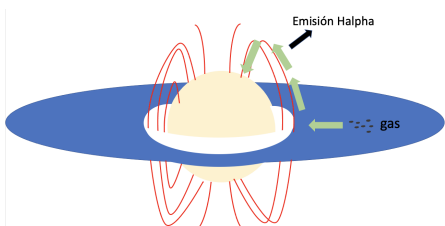
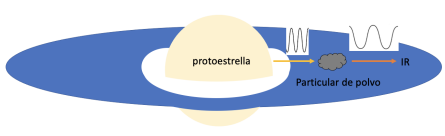
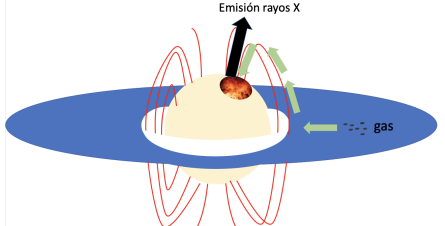
Metodo de deteccion	Explicacion	Imagen	Longitud de onda
Emisión Halpha	Esto ocurre cuando el material acretado cae sobre la superficie protoestelar, canalizado por el fuerte campo magnético estelar que acelera el gas y da lugar a la emisión de Halpha. Cuando un electrón se recombina con un átomo de hidrógeno y cae del nivel 3 al 2, emite Halpha.		$656 \times 10^{-9} m$
Exceso de infrarrojo	El exceso de infrarrojo lo causan las partículas de polvo en el disco de acreción. Estas absorben la luz emitida por la protoestrella central y la remiten con una mayor longitud de onda. La detección de exceso de infrarrojo es señal de que hay un disco circumstelar presente.		$800 - 2500 \times 10^{-9}$
Emisión de rayos X	La emisión de rayos X se debe tanto a los shock de acreción, como al aumento de temperatura del gas en la superficie estelar a muy alta temperatura que acaba emitiendo en rayos X dada su alta temperatura.		$0.5 - 2.5 \times 10^{-10} m$

Tabla 4: Rastreadores de formación estelar

Identifica la región del espectro que corresponde a la emisión infrarroja, Halpha y a rayos X en la Figura 68 y escríbelo.

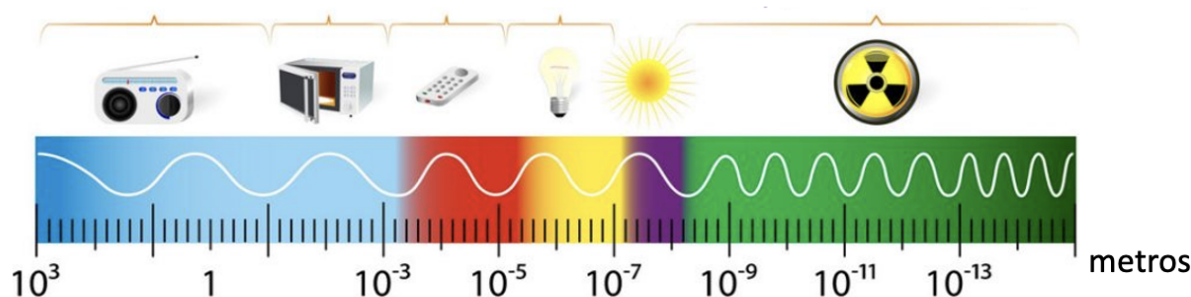


Figura 68: Espectro electromagnético en función de longitud de onda en metros (Créditos: VectorStock)

La Figura 69 muestra cómo se comporta la atmósfera de la Tierra frente a los distintos rangos del espectro electromagnético. Decimos que cuando la opacidad es de un 100% la atmósfera bloquea que la luz llegue a la Tierra.

Mira la Figura 69 y piensa si los rangos de longitud de onda que empleamos para detectar formación estelar pueden detectarse desde la Tierra o tiene que ser desde el espacio.

Pista: los rangos espectrales para la detección de formación estelar son visible, infrarrojo y rayos X.

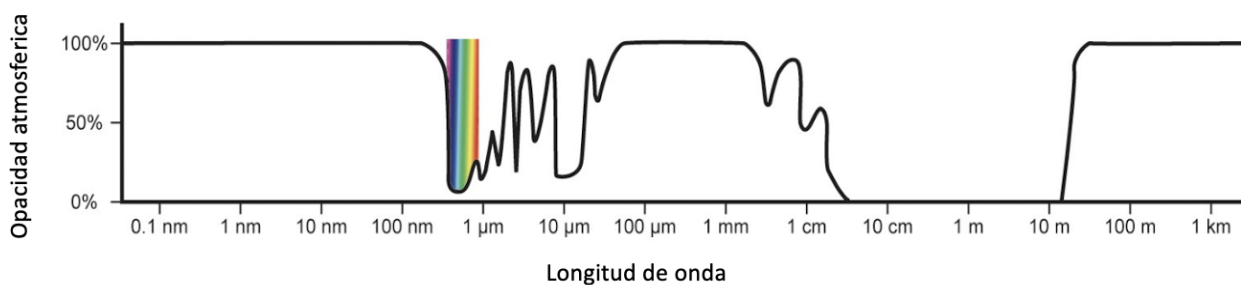
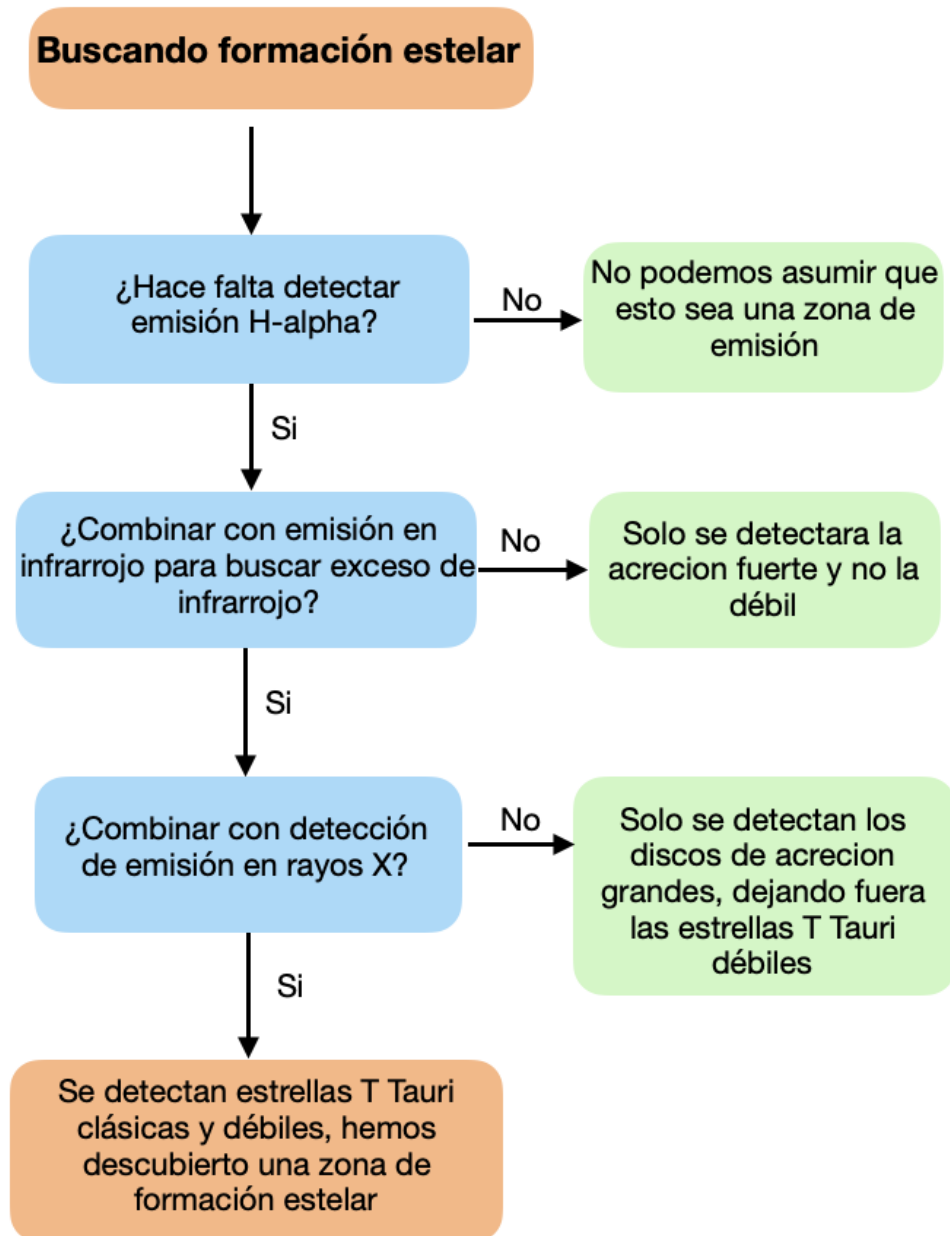


Figura 69: Opacidad atmosférica (Créditos: NASA)

Los rastreadores de formación estelar funcionan cuando se combinan, no en solitario.

Aquí tienes el porque:





Actividad 6.1: Emisión Halpha

La emisión de Halpha ocurre en hidrógeno, que tiene símbolo H. El hidrógeno es el átomo más simple del Universo, consistiendo sólo de un protón que forma el núcleo, y un electrón que lo orbita. Aquí tienes un esquema simplificado de un átomo de hidrógeno:

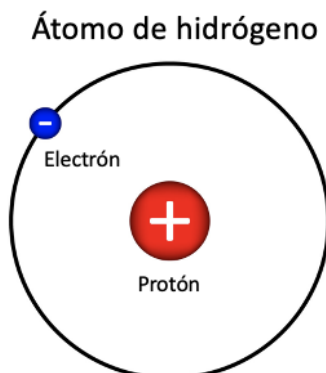


Figura 70: Átomo de hidrógeno (Créditos: VectorStock)

Imagínate que nuestro electrón se encuentra en la órbita número 2. Si el átomo de hidrógeno interactúa con la luz que le rodea, puede entrar en contacto con el electrón y le hace un regalo (un paquete de energía!). El electrón, felizmente lo acepta y absorbe esta energía, lo cual hace que salte tanto de emoción que se sale del átomo. Se dice que el hidrógeno ahora está **ionizado** y se designa H II (H dos).

Podemos imaginar al átomo de hidrógeno como si fuese un “sistema solar” con el Sol en el núcleo y el electrón como un planeta que tiene varias órbitas que puede seguir alrededor del núcleo y cada una de estas tienen un número y una energía asignada.

Tras el paso del tiempo, el átomo captura de nuevo al electrón. Este hace una breve parada por algunas de las otras órbitas antes de regresar a la suya original. En este caso, el átomo para en la órbita número 3 durante un tiempo.

Como la naturaleza tiende a estar en un estado de equilibrio, baja energía, el electrón pasará de estar en la órbita 3 a caer en la 2. En esta transición emitirá un fotón (energía en forma de luz), como muestra la Figura 71.

La luz emitida tiene una longitud de onda de **656 nm**. La emisión se llama emisión H α y corresponde a la luz con tono **rojizo**.

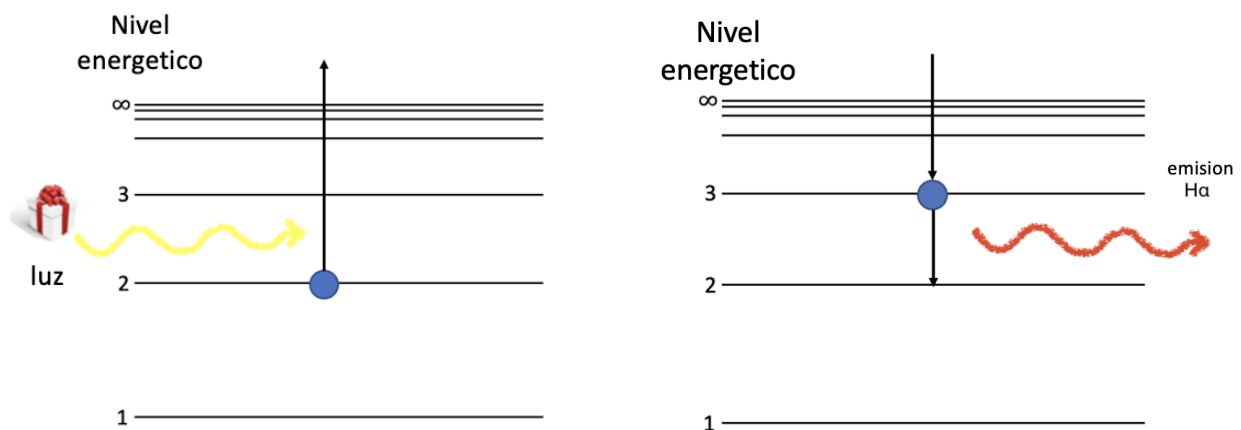


Figura 71: Absorción y emisión de luz H α

Recuerda, nos encontramos en el rango visible del espectro electromagnético cuando se trata de emisión H α .

El proceso de absorción y emisión que lleva a la emisión de H α se ve reflejado en el espectro de absorción y de emisión (Figura 72) del hidrógeno.

El **espectro de absorción** se produce al pasar la luz blanca (compuesta de todas las longitudes de onda en el visible) de un emisor por un medio (gas) más frío. Las energías (o longitudes de onda) absorbidas por los átomos se verán reflejadas como bandas negras en el espectro. Los fotones han sido absorbidos y por lo tanto no aparecen.

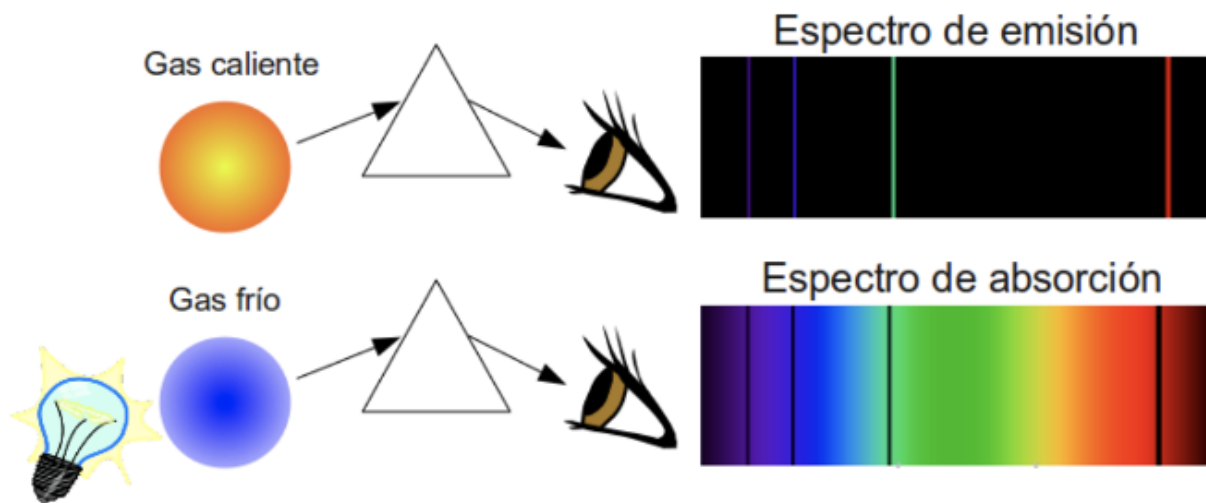


Figura 72: Espectro emisión y absorción al pasar por gas caliente y gas frío (Créditos: <http://elfisicoloco.blogspot.com/2012/11/espectros-atomicos-emision-y-absorcion.html>)



Figura 73: Espectro de absorción de hidrógeno (Créditos: Siyavula)

Cuando la luz de un foco emisor se hace pasar por un gas caliente, los electrones son excitados. Estos al volver a su estado de menor energía emiten luz, que es lo que llamamos líneas de emisión.



Figura 74: Espectro de emisión de hidrógeno (Créditos: Siyavula)

La Figura 75 muestra el espectro de absorción del Sol. ¿Encuentras alguna similitud con el espectro del hidrógeno (ver Figura 74)?

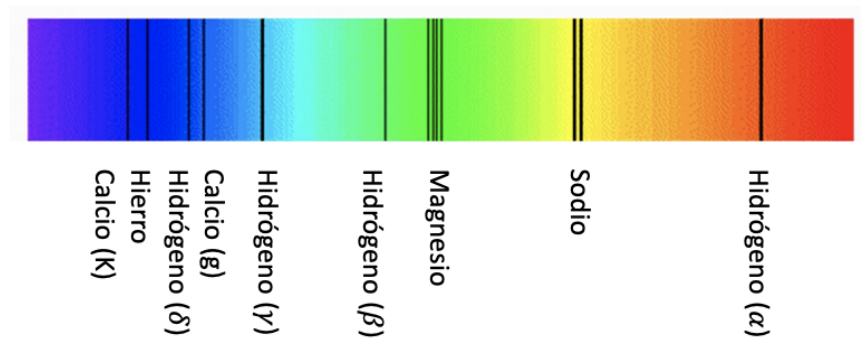


Figura 75: Espectro solar (Créditos: *Studying the Sun*, Charlie Fagg.)

¡Así es la atmósfera del Sol! También tiene la línea de Halpha en absorción!

Esta longitud de onda de Halpha se puede calcular gracias al físico danés Niels Bohr, quien inventó la idea de tratar al átomo de hidrógeno como un modelo planetario y desarrolló la ecuación 8 para calcular las longitudes de onda de las emisiones procedentes del movimiento de electrones entre órbitas.

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \quad \text{(Ecuación 8)}$$

donde R_H es la constante de Rydberg y equivale a $1.097 \times 10^7 m^{-1}$, n_f es la órbita final a la que el electrón cae (en el caso de Halpha igual a 2) y n_i es la órbita inicial desde donde el electrón cae (en el caso de Halpha igual a 3).

1. Emplea la Ecuación 8 y calcula la longitud de onda de la emisión Halpha.

Repasa la Tabla 4 para recordar por qué en formación estelar sucede la emisión Halpha. La intensidad de la emisión Halpha podemos obtenerla a partir de fotometría (extracción del flujo detectado o magnitud de un objeto a partir de los fotones recogidos por los CCDs de un instrumento con filtro Halpha).

Otro método de medida de la intensidad de la línea Halpha (o de cualquier otra línea de transición de otro elemento químico) es a partir de sus líneas de emisión.

Las líneas espectrales, son el resultado de hacer pasar la luz de un objeto a través de una rendija o red de difracción, llamado espectrógrafo.

Puedes encontrar los diferentes tipos de espectrógrafos pinchando en este [link](#) y leyendo la sección 3.3.

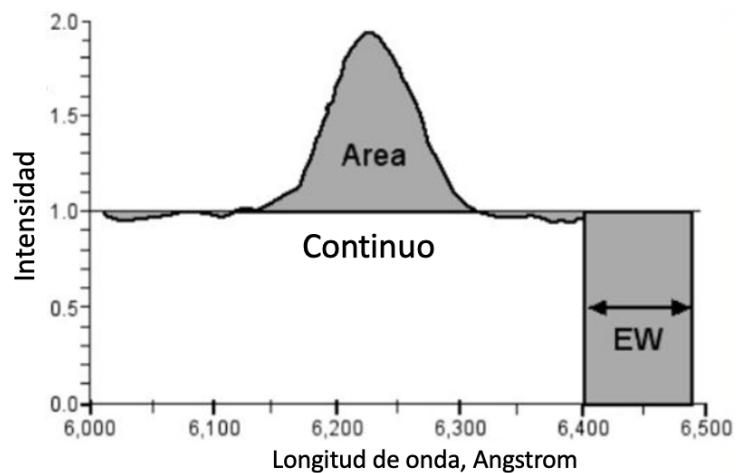


Figura 76: Ancho Equivalente

(Créditos: Hopkins Phoenix Observatory)

El tamaño de las líneas espectrales nos indica cómo de fuerte es la emisión y se mide como el Ancho Equivalente (EW por sus siglas en inglés).

El Ancho Equivalente de una línea de emisión mide el área debajo de la curva y lo aproxima a un rectángulo, como se ve en la Figura 76.

Cuando no se dispone de un espectro de emisión, pero si de un catálogo fotométrico como es nuestro caso, podemos obtener la Anchura Equivalente fotométrica, para medir la intensidad de la emisión.

El Ancho Equivalente fotométrico de una línea se calcula como

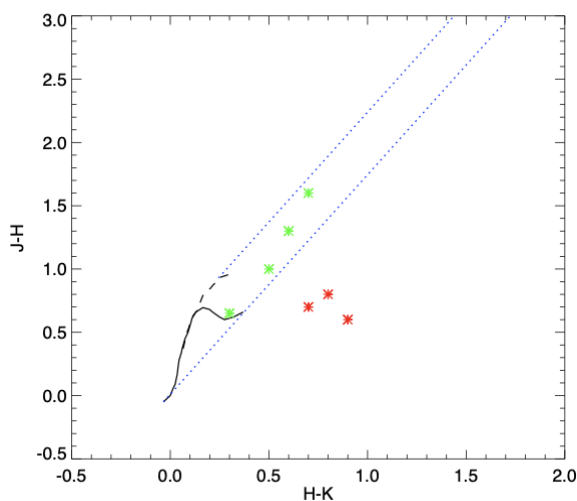
$$EW_{H\alpha} = W \times [1 - 10^{0.4 \times (r - H\alpha)_{\text{exceso}}}] \quad (\text{Ecuación 9})$$

donde $EW_{H\alpha}$ representa la anchura equivalente, W es la anchura del filtro que se esté utilizando y $(r - H\alpha)_{\text{exceso}}$ es el exceso de color.



Actividad 6.2: Emisión infrarroja

Mira la Tabla 4 para recordar el motivo de la detección de exceso infrarrojo en formación estelar. La emisión infrarroja aparece en la SED e informa a los astrónomos de la presencia de un disco de acreción.



Al dibujar un diagrama color-color, los astrónomos pueden estudiar este exceso de infrarrojo procedente del disco. La Figura 77 es un ejemplo de tal diagrama en el que se usan tres bandas o filtros en el infrarrojo llamadas J, H y K con las que se calcula el color.

Figura 77: Diagrama color color (Créditos: Preibisch)

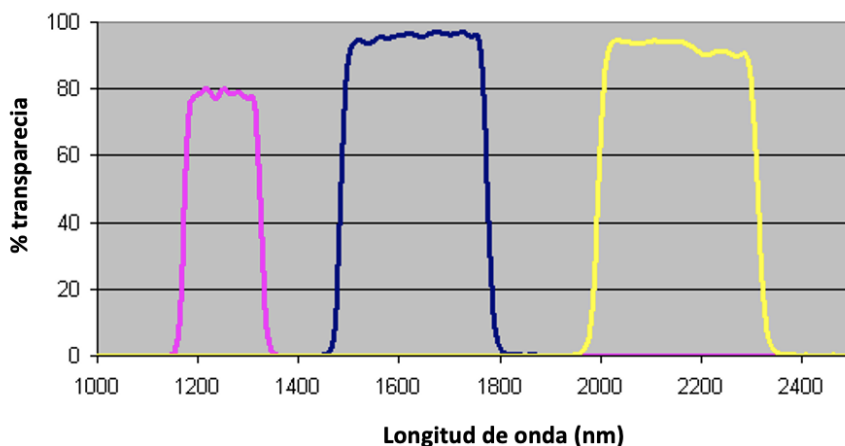


Figura 78: Rangos de longitud de onda de filtros J,H,K (Créditos:

traducido de

<http://www.rem.inaf.it/remir.html>)

Observa la Figura 77. Como vimos en la [Actividad 2.5.2](#), el exceso de infrarrojo sería si

$$(J-H) > 0, (H-K) > 0$$

Las estrellas adultas, que ya no tienen disco, no tienen exceso de infrarrojo (símbolos verdes) ocupan un lugar muy específico en el diagrama, delimitado por las líneas punteadas. Cualquier objeto que se encuentre a la derecha de esa región,

$$(H-K) > 0, H > K$$

se considera que tiene exceso de infrarrojo (símbolos rojos), ya que los objetos a la derecha tendrán un menor valor de K (por lo tanto brillarán más en la banda K). Puesto que esta banda tiene la longitud de onda más larga, se puede considerar “más infrarroja”. Por lo tanto, estos objetos tienen un “exceso” de emisión infrarroja.

Nota: Recordamos que cuando menor es la magnitud de un objeto más emite el objeto en esa longitud de onda



Actividad 6.3: Emisión de rayos X

Al igual que las estrellas, y en particular nuestro Sol, las protoestrellas tienen líneas de campo magnético. Mediante la rotación de la protoestrella, estas líneas se enredan entre sí, creándose puentes que interactúan con el gas de la superficie de la protoestrella y lo calientan a temperaturas de millones de grados.

Figura 79: Mapa magnético del Sol
(Créditos: Solar Orbiter)



Mira este [video](#) para entender mejor este proceso.

Los **shocks de acreción** también producen emisión de rayos X pero a menor escala que la emisión producida por la actividad magnética.

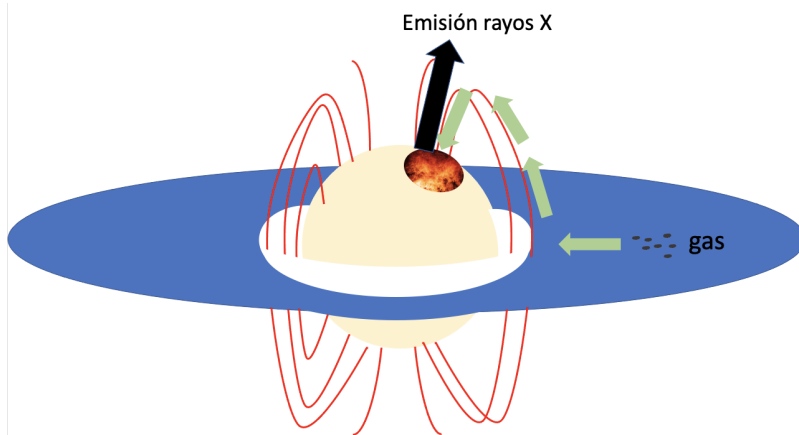


Figura 80: Emisión de rayos X por acreción

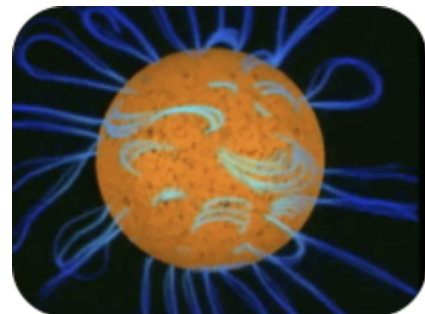


Figura 81: Loops en la superficie de una protoestrella (Créditos: [link](#))



Hemos visto que podemos identificar candidatos de formación estelar a partir de la emisión H α , exceso de infrarrojo y emisión de rayos X.

Sin embargo, tienes que tener cuidado, ya que hay otros objetos en el Universo que también emiten en estas franjas y pueden ser clasificados como formación estelar equivocadamente. Por ejemplo, los agujeros negros también están rodeados de un disco de acreción y también emiten rayos X, en el infrarrojo y en el visible.

Actividad 7: La exploración de la formación estelar

La Agencia Espacial Europea coordina una amplia variedad de misiones espaciales con el fin de comprender mejor el Universo, las cuales contribuyen en gran medida a la comunidad científica internacional. Uno de los campos que investiga es la formación estelar visto en la [Actividad 6](#), empleamos al menos tres rangos del espectro como rastreadores de estos. En este Reto Científico usaremos datos de tres importantes misiones de la ESA relacionadas con la formación de las estrellas: XMM-Newton, GAIA y Herschel.

Actividad 7.1: La exploración de la formación estelar por la Agencia Espacial Europea

Misión: XMM-Newton

Rango de trabajo: $1 - 120 \times 10^{-10} m$

El nombre de esta misión científica espacial, XMM-Newton, se debe a la composición de dos factores. "XMM" son las siglas en inglés de X-ray Multimirror Mission. "Newton" es en honor al gran físico y matemático Sir Isaac Newton. Fue lanzada por el vehículo Ariane 5 y puesta en órbita en 1999. Actualmente sigue en pleno funcionamiento. Ya que la atmósfera absorbe los rayos X (¡por suerte!), la única manera de detectarlos es desde el espacio. XMM es el satélite científico más grande construido en Europa ($\sim 11 m \times 16 m$) y ayuda a los científicos a desvelar los secretos del Universo a muy altas temperaturas (millones de grados). Por ejemplo el como se forman las galaxias, como interactúan los agujeros negros con su entorno o como se forman las estrellas. Para ello lleva a bordo 7 instrumentos científicos (cámaras y espectros de rayos X, medidor de radiación y un monitor óptico-UV).

Si quieres saber más mira este [video](#)!

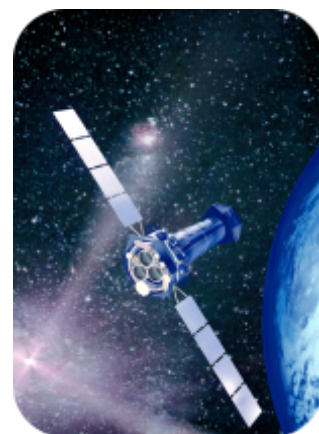


Figura 82: XMM-Newton
(Créditos: ESA)

Misión: GAIA

Rango de trabajo: $330 - 1050 \times 10^{-9} m$

GAIA es un satélite de la Agencia Espacial Europea que está haciendo un barrido del cielo. Este satélite es capaz de identificar un orden de magnitud de 10^9 más estrellas que su predecesor, Hipparcos. Para estos objetos identifica su distancia a nosotros (método de paralaje estudiado en la [Actividad 2.2](#)), su posición, velocidad radial, fotometría,... El estudio de la variación de la posición de las estrellas y otros objetos celestes con el tiempo nos permiten conocer mejor sus trayectorias y en ocasiones su lugar de origen e identificar "estrellas hermanas", con la misma composición química y edad, que se dispersaron en la Galaxia con el tiempo (por ejemplo: estrellas hermanas a nuestro Sol).

Mira este [video](#) sobre GAIA para aprender mas!

Las líneas que se muestran en la Figura 84 junto a las fuentes de GAIA son sus trayectorias a 90° de la línea de visión entre nosotros y las fuentes.

Misión: Herschel

Rango de trabajo: $55 - 672 \times 10^{-6} m$

El Observatorio Espacial Herschel, coordinado por la Agencia Espacial Europea ha sido el telescopio espacial con el espejo primario mayor puesto en órbita ($D = 3.5 m$). Debido a que los observatorios infrarrojos necesitan estar refrigerados, su tiempo útil de vida depende de que éste fluido refrigerante conserve sus propiedades. En el caso de Herschel, el satélite tuvo un tiempo de vida útil de 2009 a 2013. El objetivo de Herschel era estudiar las zonas más frías y distantes del

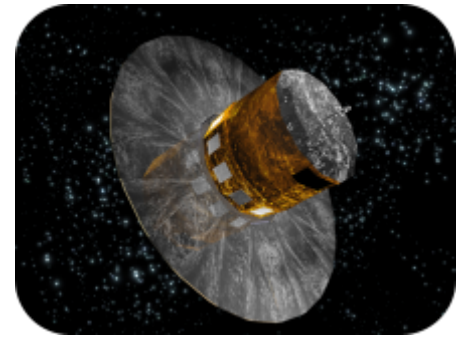


Figura 83: GAIA (Créditos: ESA)



Figura 84: Trayectoria estelar



Figura 85: Herschel (Créditos: ESA)

Universo y dentro de nuestra galaxia, en especial en la formación de estrellas y planetas y su interacción con el medio interestelar. Herschel detectaba la radiación del polvo en las nubes moleculares y por lo tanto mostraba las zonas densas donde se forman las estrellas llamadas “guarderías de estrellas”. ¡Mira este [video](#) si te apetece aprender más!

Aquí tienes todas las misiones de la ESA. Puedes ver la imagen en grande pinchando [aquí](#).

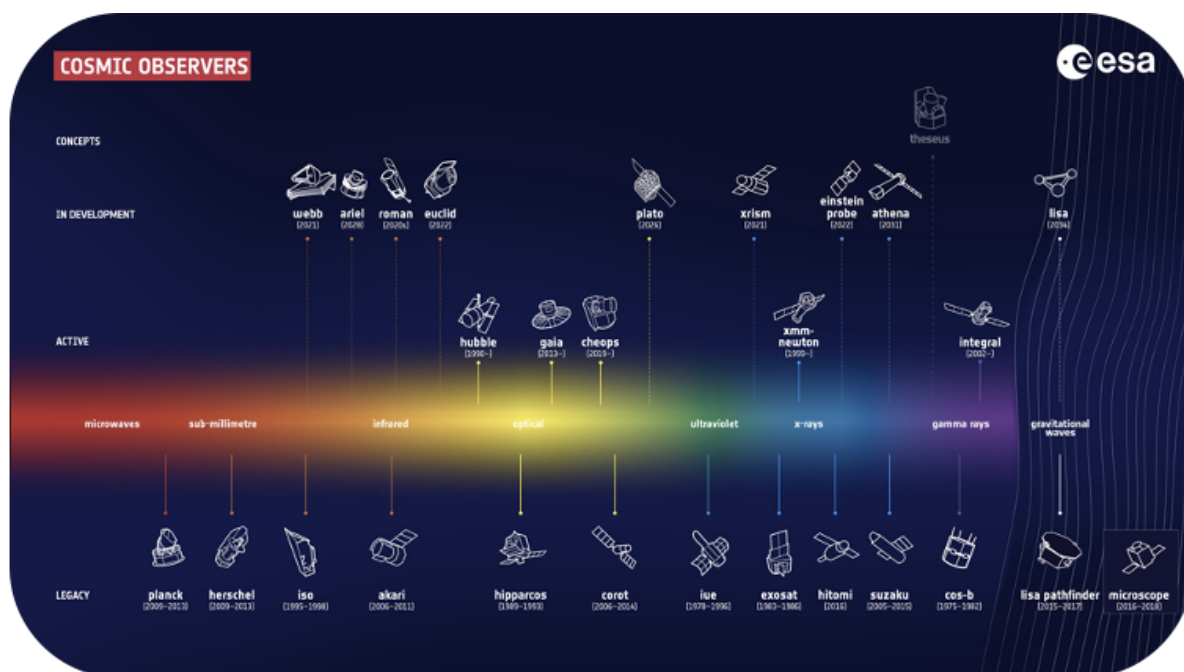


Figura 86: Misiones ESA (Créditos: ESA)

La colaboración entre entidades científicas de todo el mundo hace que la exploración científica avance cada vez más rápido. Los investigadores suelen emplear datos de varias misiones espaciales para un mismo proyecto. En este Reto Científico usaremos también datos del Observatorio Europeo Austral (ESO) en combinación con los datos de la ESA para alcanzar nuestro objetivo: estudiar la formación estelar.

Actividad 7.2: La exploración de la formación estelar por los Observatorio de Tierra

Misión: 2MASS

Rango de trabajo: $1.25 - 2.17 \times 10^{-6} m$

2MASS son las siglas en inglés de 2 Microns (=micrómetros) All Sky Survey. Los datos en esta muestra son el resultado de una colaboración realizada entre varias organizaciones americanas incluida NASA durante (1997-2001). Para ello se emplearon dos telescopios que observan en el infrarrojo, uno en el hemisferio norte (Estados Unidos) y otro en el hemisferio sur (Chile).

2MASS detectó más de 300 millones de objetos en el infrarrojo cercano. En su catálogo se encuentran enanas marrones, estrellas de baja masa, galaxias y zonas de formación estelar.

El rango espectral empleado en esta muestra contiene las bandas J, H y K (revisa la [Actividad 6.2](#)) que tienen las siguientes longitudes de onda:

Banda	Longitud de onda ($\times 10^{-6} m$)
J	1.25
H	1.65
K	2.17

Tabla 5: Bandas de 2MASS

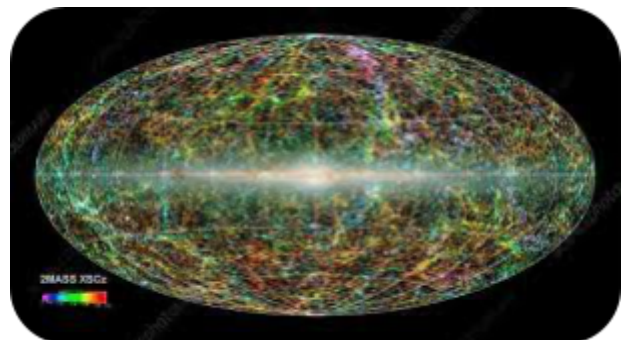


Figura 87: 2MASS (Créditos: Caltech)

Misión: VLT y VST

Rango de trabajo: $300 - 1100 \times 10^{-9} m$

VLT son las siglas en inglés de Very Large Telescope. Es uno de los observatorios del Observatorio Europeo Austral y se encuentra en Chile (Paranal). Estas instalaciones están compuestas de 4 telescopios de unos 8 m de diámetro, con la instrumentación más avanzada en el rango visible. Cada uno de estos telescopios tienen una resolución de 50 milisegundos de arco (esto sería como ver un DVD sujetado por un astronauta desde la estación espacial internacional!).

Cuando los 4 telescopios trabajan a la vez, pueden llegar a obtener una resolución de 2 milisegundos de arco. El VLT es responsable de muchos avances científicos, como por ejemplo la obtención de la primera imagen de un exoplaneta o el estudio de cómo se comportan las estrellas cerca de un agujero negro. El conjunto de telescopios empezó a funcionar en 1999.

Desde el 2011, a este conjunto se le ha sumado otro telescopio llamado VST, de las siglas en inglés de Very Large Survey Telescope. Este telescopio de 2.6 m de diámetro se emplea para barridos del cielo (llamados surveys) y crear mapas estelares.

La sensibilidad de la cámara de este telescopio permite estudiar las estrellas que están acretaando materia como las protoestrellas dentro de las nubes moleculares.

La cámara del VST tiene 5 filtros que se usan para medir magnitudes y estudiar el color de los objetos (ver [Actividad 2.5.2](#) sobre el color) en 5 bandas diferentes:

Figura 88: VST (Créditos: ESO)

Banda	Longitud de onda ($\times 10^{-9} m$)
Ultravioleta (u)	354.3
Verde (g)	477.0
Rojo (r)	623.1
H-alpha	658.8
Infrarrojo cercano (i)	762.5

Tabla 6: Bandas de VST



Para más información consulta este [video](#)!

La ciencia avanza gracias a la colaboración entre científicos y misiones. Los datos científicos de la Agencia Espacial Europea son accesibles a través del portal científico gratuito llamado ESASky. Este portal permite a los científicos y a los aficionados de la astrofísica acceder a estos datos, así como utilizarlos como recursos educativos y para la comunicación científica.

ESASky da acceso a los datos científicos de las misiones científicas y espaciales de la ESA y, poco a poco, contendrá datos de los observatorios terrestres de 2MASS o ESO.

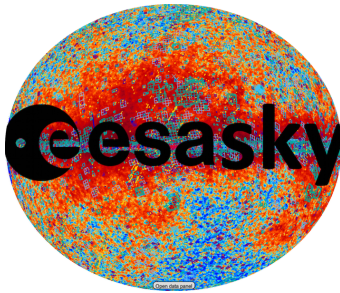


Figura 89: ESASky (Créditos: ESDC)

Fase 2

Actividad 8: ¿Qué has aprendido hasta ahora?

Responde a este [cuestionario](#) para evaluar lo aprendido hasta ahora.

Actividad 9: Actualidad



AstroESFM
@AstroEsfm

...

hydrogen burning. The contracting phase is called pre-main sequence. If the stars have a mass smaller than $2M_{\odot}$ is called a T Tauri while is a Herbig Ae/Be if the mass is between 2 & $8 M_{\odot}$.
In the image the premain sequence star HBC1 by ESA/Hubble



AstroESFM @AstroEsfm · 2 Aug

...

#MistyMonday

When the protostars have blown away most of its envelope it might become visible although the hydrogen burning in its core has not yet starts. No more mass will be accreted. On the contrary, it will contract until the temperature inside get the value to ignite the

1

1

2



Fase 3

Tu mision

Hemos estudiado los pasos para que se forme una estrella. Hemos aprendido que

- una protoestrella acreta materia de su disco de acreción hasta que el material se acaba
- El disco de acreción proporciona material durante 1 a 10 millones de años
- Durante la mayor fase de acreción la protoestrella es una T Tauri clásica. El proceso de acreción se detecta con la emisión $H\alpha$.
- Después el material se empieza a agotar y la protoestrella se convierte en T Tauri débil.

El misterio es que los astrónomos han detectado emisión de $H\alpha$ de protoestrellas mayores de 30 millones de años, cuando se supone que ya no tienen un disco de acreción. Pero, ¿cómo puede ser? Esta observación parece contradecir la teoría y cuando esto ocurre en la ciencia, la única manera de salir de dudas es investigando!

Tu misión es ayudarnos a entender qué está pasando. A lo largo de estas actividades buscaras estrellas T Tauri clásicas en la zona de Trumpler 14 para ver si la teoría y la observación cuadra.

Actividad 10: La Nebulosa de Carina

En este Caso Científico vamos a investigar una zona del cielo específica, la Nebulosa de Carina. Lee los siguientes extractos sobre esta zona e intenta extraer toda la información posible! Resume tus hallazgos en el espacio de abajo.

This Nebula is filled with baby stars like our Sun

Jade Boyd-Rice

1 INTRODUCTION

A new study of one of the most active star-forming regions in the galactic neighbourhood is helping astronomers better understand the processes that may have contributed to the formation of the sun 4.5 billion years ago. "Most stars form in giant molecular clouds, regions where the density of matter is sufficient for hydrogen atoms to pair up and form H₂ molecules," said Patrick Hartigan, professor of physics and astronomy at Rice and lead author of the new study. "The Carina Nebula is an ideal place to observe how this happens because there are dozens of examples of forming stars at various stages of development." The Carina Nebula spans more than 100 light-years and is visible to the naked eye as a bright glowing patch in the Milky Way for observers in the Southern Hemisphere. In addition to thousands of stars similar in mass to the sun, Carina contains more than 70 O-type stars, each with a mass between 15 and 150 times that of the sun. Young stars with a disk are present at the centre of globules. The entire evaporation process takes about a million years, and astronomers believe it is an essential aspect in the creation of solar systems like our own, Hartigan said.

The Carina star-formation region is about 7,500 light-years from Earth, about five times farther away than the Orion Nebula, which is visible

in the northern hemisphere but is only about one-tenth the size of the Carina Nebula.

New images of Carina show multiple examples of each of the different stages of cloud destruction.

"There is huge variety in Carina, in part because it is so large," Hartigan said. "It spans more than a degree on a side, which means that it covers more of the sky than four full moons. In addition, Carina is young enough to have a great deal of ongoing star formation. But it is also old enough that the most massive stars have cleared away enough material to reveal a dizzying array of globules and pillars."

In the new survey, Hartigan and colleagues used the National Optical Astronomy Observatory's Extremely Wide-Field Infrared Imager and its Mosaic camera to photograph the entire Carina region from the four-meter telescope at Cerro Tololo in northern Chile. Both the optical and near-infrared imagers use large-format detectors to obtain high-resolution shots of wide swaths of the sky. Each of the images isolates a specific wavelength of infrared or optical light. By looking at these wavelengths separately and in composite, Hartigan and colleagues were able to penetrate Carina's nebular dust. Hartigan said the new images reveal details about the underlying physics of the region.

"Our images are sharper and deeper than previous ones, and they provide the best snapshot so far of a star-formation region at one point in time," he said.

Nota: Un *globule* (o glóbulo) es una concentración de polvo

Este extracto ha sido adaptado del artículo original publicado en Futurity, que puedes leer [aquí](#).

A Census of the Carina Nebula – II. Energy Budget and Global Properties of the Nebulosity

Nathan Smith^{1*} and Kate J. Brooks^{2†}

¹*Astronomy Department, University of California, 601 Campbell Hall, Berkeley, CA 94720, USA*

²*Australia Telescope National Facility, CSIRO, PO Box 76, Epping, NSW 1710, Australia*

1 INTRODUCTION

The Carina Nebula (NGC 3372) is the nearest massive star-forming region that satisfies three criteria which distinguish it from other Galactic giant HII regions: (1) it harbours the most extreme grouping of massive stars within a few kpc of the Sun, including ~ 70 O stars initially (some, like η Carinae (η Car), have now moved off the main sequence) that are in the process of creating a giant superbubble; (2) it is young enough that active star formation is still ongoing within a few parsecs of these massive stars and (3) unlike any comparable massive cluster in our Galaxy, our sightline to it suffers little interstellar extinction, allowing it to be studied across the electromagnetic spectrum and not just at infrared (IR) and radio wavelengths.

This last point is critical, because it offers the potential to construct a relatively complete picture

of the massive star-forming environment and the stellar content. The first two indicate that Carina is our nearest suitable analogue of more extreme regions like 30 Doradus (30 Dor). Finally, unlike many Galactic regions, the distance to Carina (2.3 kpc) is known to within a few per cent from the expansion parallax of η Car's circumstellar nebula so that the properties one derives are reliable.

Carina is an ideal laboratory for comprehensive multiwavelength studies of an environment much like that where our own Solar system may have formed, where young protoplanetary discs will be bombarded by supernova (SN) ejecta. It also represents the early stages of the birth of an OB association, and it is an environment where this young OB association is triggering the birth of a second generation of stars as they destroy their own natal giant molecular cloud.

Nota:

Una región H II es una nube de gas que contiene una gran cantidad de hidrógeno ionizado (H II) - de ahí el nombre. En estas regiones se forman las estrellas masivas.

La *interstellar extinction* (o extinción interestelar) es el oscurecimiento de la luz proveniente de las estrellas debido a la absorción por el polvo de alrededor..

Una asociación OB es un tipo de asociación estelar (o cúmulo de estrellas) formado por estrellas de tipo espectral O y B (son las más luminosas y calientes).

Este extracto ha sido adaptado del documento original que puedes leer [aquí](#).

Imaging study of NGC 3372, the Carina nebula – II. Evidence of activity in the complex Trumpler 14/Car I photodissociation region

M. Tapia,^{1*} P. Persi,² J. Bohigas,¹ M. Roth³ and M. Gómez⁴

¹*Instituto de Astronomía UNAM, Apdo. Postal 877, 22800 Ensenada, BC, Mexico*

²*Istituto Nazionale di Astrofisica – IASF, Via del Foso del Cavaliere, I-00133 Roma, Italy*

³*Las Campanas Observatory, Carnegie Institution of Washington, Casilla 601, La Serena, Chile*

⁴*Observatorio Astronómico de Córdoba, Laprida 854, 5000 Córdoba, Argentina*

Accepted 2005 December 16. Received 2005 December 16; in original form 2005 October 27

1 INTRODUCTION

The Great Carina nebula is not only one of the greatest celestial spectacles of the Southern skies but also a very important natural laboratory for studying the birth and evolution of the brightest and most massive stars in the Galaxy. In this huge H II region, dozens of O–B0-type stars produce a large ultraviolet (UV) radiation field which, together with strong stellar winds, interact heavily with the material in its parental giant molecular cloud.

The nebula extends more than four square degrees on the sky and, as a result of the evidently complex mass motions, it presents peculiar morphologies at all scales. These include clumps, filaments, arcs, and all sorts of chemical, kinematical and density inhomogeneities..

There is mounting observational evidence that the process of massive star formation has been active for several million years and has not ceased. Recent observations of the nebula indicate that massive stars

are being born in several regions within molecular condensations, located mainly to the SE and NW of the cluster Trumpler 16 (Tr 16), whose most famous member is η Carinae. It is becoming evident that the new generations of stars now being born are the result of the momentum inserted into the medium by the large-scale winds and UV radiation from the ‘older’ generations of stars.

In the northern part of the Carina nebula, the stellar population is dominated by the three clusters: Tr 14 and Tr 16, near the brightest part of NGC 3372, and Tr 15, a less rich stellar cluster now free of dense ambient material. The stellar population in this region has been widely studied photometrically and spectroscopically in the optical for the

last three decades supplemented at near-IR wavelengths.

The most extensive proper motion study of the region is that of Cudworth, Martin & DeGioia-Eastwood (1993) who provided membership probabilities for nearly 600 stars in the field of Tr 14 and Tr 16. In spite of all this work, the fundamental parameters that characterize the Tr 14 and Tr 16 clusters, such as the interstellar, or more precisely, the reddening and thus, distances and ages, are still subject to controversy.

Near-IR *JHK* aperture photometry of more than 200 of the visually brightest stars in Cr 228, Tr 14, Tr 15 and Tr 16 was reported by Tapia et al. (1988) who compared their *JHK* with available *UBVRI* colours of all stars in their sample. These authors concluded that the interstellar extinction towards the cluster Tr 15, in the northern end of the Great Carina nebula, is identical to the Galactic average from 0.33 to 2.5 μm . This is not surprising, as the environment around this cluster is devoid of nebular or obscuring material.

Nota:

Una región H II es una nube de gas que contiene una gran cantidad de hidrógeno ionizado (H II) - de ahí el nombre. En estas regiones se forman las estrellas masivas.

Este extracto ha sido adaptado del documento original que puedes leer [aquí](#).

The Carina Nebula and Gum 31 molecular complex – I. Molecular gas distribution, column densities, and dust temperatures

David Rebolledo,^{1,2★} Michael Burton,² Anne Green,¹ Catherine Braiding,² Sergio Molinari,³ Graeme Wong,^{4,5} Rebecca Blackwell,⁶ Davide Elia³ and Eugenio Schisano³

¹Sydney Institute for Astronomy, School of Physics, The University of Sydney, NSW 2006, Australia

²School of Physics, The University of New South Wales, Sydney, NSW 2052, Australia

³INAF – Istituto di Astrofisica e Planetologia Spaziali, via Fosso del Cavaliere 100, I-00133 Rome, Italy

⁴School of Computing Engineering and Mathematics, Western Sydney University, Locked Bay 1797, Penrith, NSW 2751, Australia

⁵CSIRO Astronomy and Space Science, PO Box 76, Epping, NSW 1710, Australia

⁶Department of Physics, School of Physical Sciences, University of Adelaide, Adelaide, SA 5005, Australia

Accepted 2015 November 23. Received 2015 November 23; in original form 2015 September 28

1 INTRODUCTION

The Carina Nebula Complex (NGC 3372, hereafter CNC) is the Southern hemisphere's largest and brightest nebula. Located at 2.3 kpc away, it provides a laboratory to study ongoing star formation in the vicinity of some of the most massive stars known, including our Galaxy's most luminous star, Eta Carinae (η Car). Across the entire CNC there are more than 65 O stars and several hundred protostars making it a rich environment to study the interplay between clustered star formation, massive star feedback, and triggered star formation. Two young stellar clusters, Trumpler 14 and Trumpler 16, dominate the central region and the CNC is home to three high-mass-loss Wolf–Rayet stars. For comparison, Orion nebula is dominated by just a single O-type star.

Until the mid-1990s, the prevailing view was that the CNC was an evolved star-forming region, with a few remnant gas clouds that had been shredded by the energy input from the massive stars.

In recent years, and with the new wide-field, high-resolution images at X-ray, optical, and IR wavelengths, this view has changed dramatically. We now recognize that the CNC is a hotbed of active star formation, with a reservoir of quiescent molecular gas where new bursts of star formation may one day occur. The stunning images from *HST* and *Spitzer* reveal numerous gigantic pillars of dust (sometimes called ‘elephant trunks’ because of their morphology), situated around the periphery of the ionized nebula associated with η Car and which point towards the central massive star clusters. Star formation appears to have been triggered recently in these pillars, as there are hundreds of protostars of ages $\sim 10^5$ yr, possibly formed as a result of the impact of winds from the massive stars on the dust clouds.

The region also shows extended, diffuse X-ray emission which may be from a previous supernova. If so, the supernova's expanding blast wave could have triggered the new generation of star formation, but this also raises an intriguing question as to the location of the precursor star.

Este extracto ha sido adaptado del documento original que puedes leer [aquí](#).

Escribe todo lo que hayas averiguado sobre la Nebulosa de Carina:

Actividad 10.2: La región Trumpler 14

Seguramente te hayas fijado en que los extractos previos mencionan varias veces una zona en particular, Trumpler 14 (Tr 14). Es uno de los cúmulos de formación estelar más jóvenes y se conoce como una zona activa de formación estelar en la Nebulosa de Carina. Las coordenadas de Trumpler 14 son RA: 10h 43m 55.92s and DEC: $-59^{\circ}32'60.00''$. A lo largo de este Caso Científico nos centraremos en buscar estrellas en proceso de formación dentro de este famoso cúmulo.



Figura 90: Trumpler 14.

(Créditos: <https://hubblesite.org/image/3693/news>)

Actividad 11: Inspecciona zonas de formación estelar

En la ETAPA 1 de la formación estelar hablamos sobre **nubes moleculares**, también llamadas guarderías de estrellas. En esta actividad tendrás la oportunidad de inspeccionar algunas nubes, ¡disfruta!

Actividad 11.1: Familiarízate con las nebulosas en ESASky

PROCEDIMIENTO EN INSTRUCCIONES:

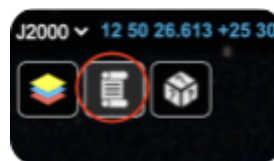
1. Entra en este link a ESASky: <https://sky.esa.int>
2. Selecciona el modo explorador
3. Haz clic sobre el icono de pergamino
4. Haz clic en la lista de objetos
5. Selecciona las nebulosas brillantes (bright nebula) u oscuras (dark nebula) de la lista.
6. Explora las diferentes nebulosas, verás que para cada una de ellas aparece una imagen espectacular.
7. Cada objeto muestra información adicional. ¡Tómate tu tiempo para explorar!

PROCEDIMIENTO EN IMÁGENES:

2.



3.



4.



5.



6.



7.



Actividad 11.2: Clasifica nebulosas

Ya que las nebulosas de reflexión y emisión normalmente se observan a la vez, las trataremos como una sola categoría: nebulosas brillantes.

Identifica si las siguientes nebulosas son brillantes u oscuras. Escribe una B, si las clasificas como brillantes, y una O, si las clasificas como oscuras.

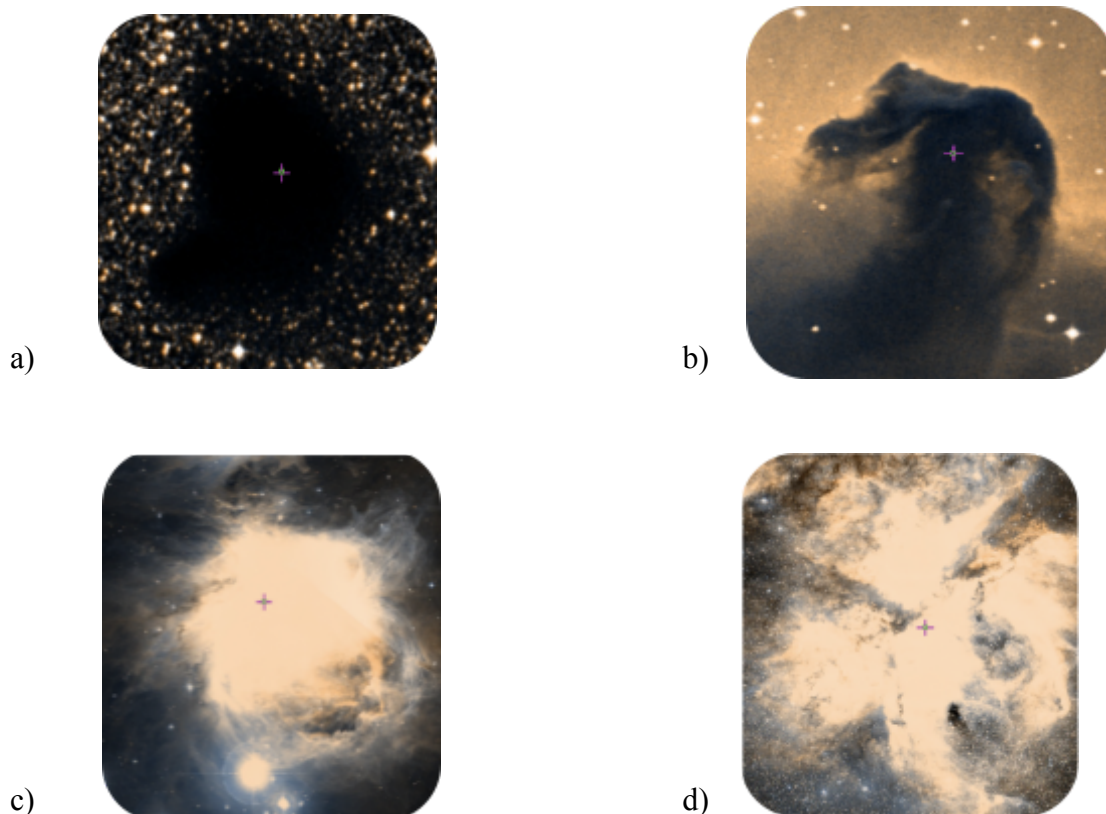


Figura 91: Nebulosas en ESASky (Créditos: ESASky)

Intenta reconocer las nebulosas de la Figura 91 en la lista de nebulosas brillantes y oscuras creadas por ESASky y anota sus nombres y coordenadas en la Tabla 6. Escribe también las coordenadas RA, DEC del centro de la nebulosa. Puede revisar la [Actividad 2.1](#) para refrescar los conceptos de RA y DEC si lo ves necesario.



Nombre de la nebulosa	Coordenada central

Tabla 6: Nebulosas de ESASky

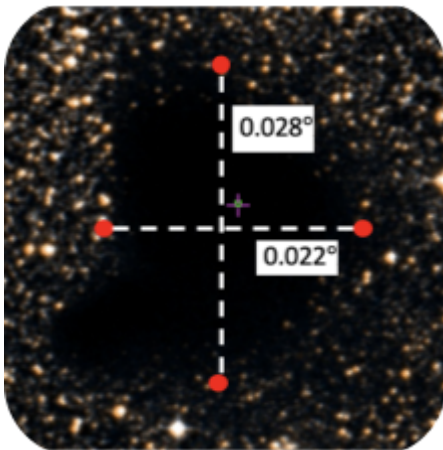
Recuerda que siempre puedes acceder a ESASky y buscar una región del cielo en la cajita buscador de arriba a la derecha, por sus coordenadas o su nombre técnico (en la base de datos de AladinLite).

Nota: Escribe en google el nombre de tu objeto y AladinLite y te dará este resultado.

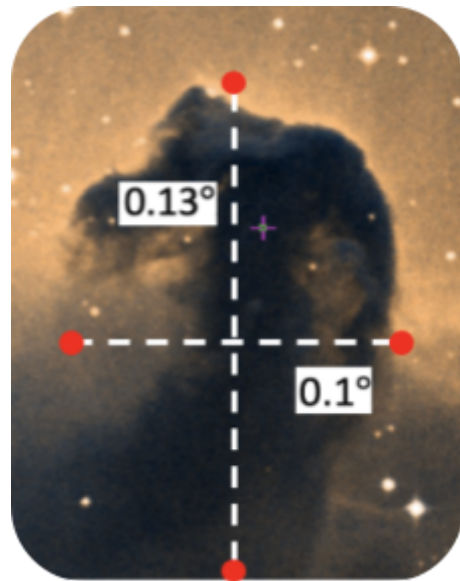
Actividad 11.3: Calcula el tamaño de objetos no circulares

Aquí tienes los tamaños angulares de las nebulosas. Ya que estas no son circulares, el tamaño se expresa en altura y anchura de la nube.

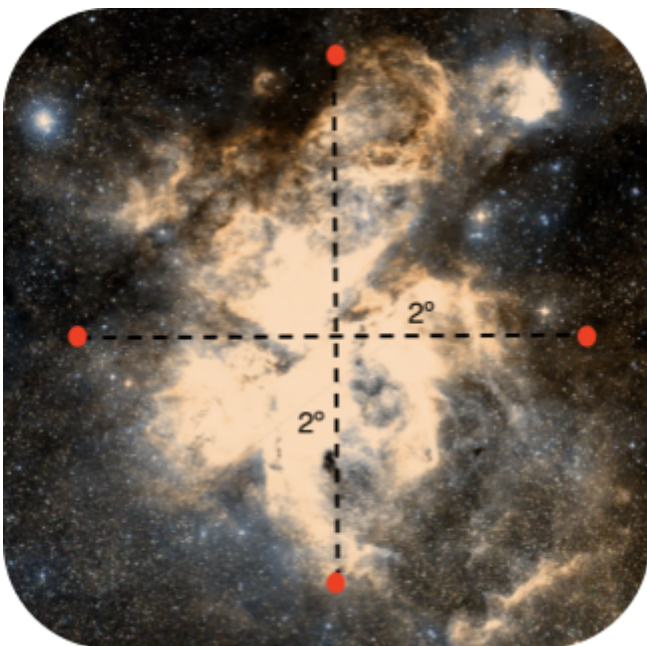
Barnard 68 (a 500 al)



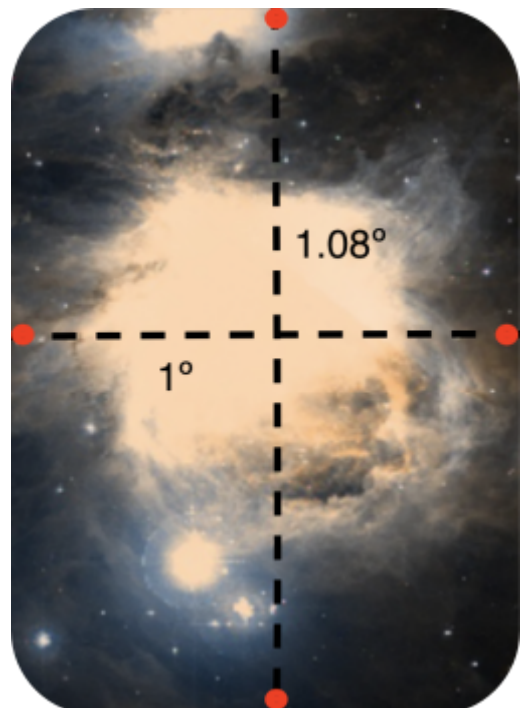
Nebulosa Cabeza de Caballo (a 1500 al)



Carina (a 7500 al)



Orion (a 1334 al)



1. Elegid cada Equipo una nebulosa.

Opciones:

- Barnard 68
- Nebulosa de la Cabeza del Caballo
- Carina
- Orion

2. Calculad a partir de los diámetros angulares dados y las distancias a la que se encuentran de nosotros los tamaños que tienen estas nebulosas en kilómetros.

3. En vez de en kilometros, ¿en que unidades podría ser más apropiado dar el tamaño de estas nubes?

Para Barnard 68:

Nebulosa Cabeza de Caballo:

Carina:

Orion:

Actividad 11.4: Descarga imágenes de ESASky y visualízalas en SAOImage DS9

Actividad 11.4.1: Descarga SAOImage DS9

1. Accede a uno de los siguientes links para descargar SAOImage DS9 según tu ordenador:
 - MacOSX: [link](#)
 - Windows: [link](#)
 - Linux: [link](#)

Ahora que hemos investigado un poco sobre diferentes nebulosas, nos vamos a centrar en la Nebulosa de Carina, más concretamente en Trumpler 14. Para ello, utilizaremos imágenes de Herschel en ESASky que visualizaremos con el programa astronómico SAOImage DS9, un programa que se usa en astronomía para visualizar datos. Sigue los pasos del procedimiento:

PROCEDIMIENTO EN INSTRUCCIONES:

1. Haz clic en el link para entrar en ESASky: <https://sky.esa.int> y selecciona el **modo científico**.
2. Arriba a la derecha verás la barra de búsqueda. Introduce el nombre de “Trumpler 14” o sus coordenadas centrales.
3. Disminuye el zoom presionando tres veces sobre el símbolo ‘-’.
4. Haz clic sobre el icono de arriba a la izquierda con forma de galaxia, “examina las imágenes de esta región”.
5. Selecciona el bloque donde ponga “Herschel (IR lejano a submilimétrico)”.
6. Tendrían que haber aparecido unos cuadrados en tu imagen con el nombre de una de las colecciones de observaciones. El tamaño del recuadro indica el número de imágenes disponibles para esa región en dicha colección.
7. Selecciona la observación con la numeración (ObsId) “1342211615” y Nombre del objeto (Target name) “Carina Nebula Complex-1” del instrumento “PACS”.

8. Previsualiza dicha imagen haciendo clic sobre el icono de lupa
9. Descarga la imagen haciendo clic sobre el botón lateral izquierdo (una flecha hacia abajo).
10. Obtendrás un archivo comprimido (con formato .tar) en la zona de Descargas de tu ordenador.
11. Abre este archivo y obtendremos un nuevo archivo. Abre este último para ver los **dos** documentos que contiene.
12.
 - a. Si tienes un ordenador Windows puedes abrir este tipo de ficheros con un programa llamado 7ZIP. Este programa te permite descomprimir los ficheros tar en fits.gz y de fits.gz en fits.
 - b. Si tienes un Mac o Linux, haz clic sobre el fichero tar y se descomprimirá automáticamente en ficheros fits.gz. Haciendo de nuevo doble clic sobre estos ficheros obtendrás los ficheros fits.

Los nombres de los ficheros a visualizar en SAOImage DS9 son:

- hpacs_25HPPJSMAPB_blue_1043_m5925_00_v1.0_1471643665627.fits
 - hpacs_25HPPJSMAPR_1043_m5925_00_v1.0_1471643689343.fits
13. Por simplicidad, renombra el fichero para poder encontrarlo con facilidad a:
 - Trumpler14_blue.fits
 - Trumpler14_red.fits
 14. Abre el programa SAOImage DS9 y visualiza las imágenes. Para ello en el menú principal sigue los pasos:
File → Open as → Mosaic Segment WCS → (Busca tu fichero para abrirlo)
Trumpler14_blue.fits.
 15. Selecciona estos parámetros para una mejor visualización:
 - “Zoom” = “Fit”
 - “color” = “bb”
 - “scale” = “sqrt” & “zscale”.

16. Puedes definir un poco más en detalle los parámetros de la escala de visualización en el menú principal del siguiente modo:

“Scale” → “Scale parameters”.

Ajusta los parámetros:

low = 0

max = 10

y pincha en “Apply”.

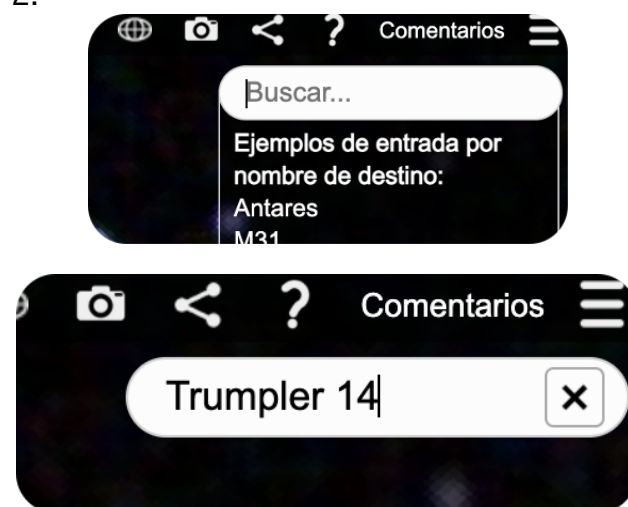
17. Repite esto para el fichero Trumpler14_red.fits

PROCEDIMIENTO EN IMÁGENES:

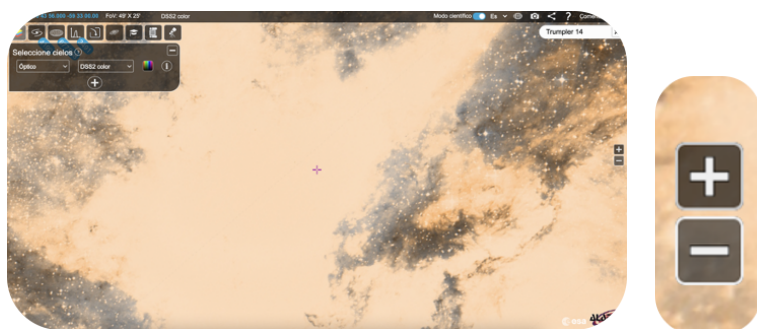
1.



2.



3.



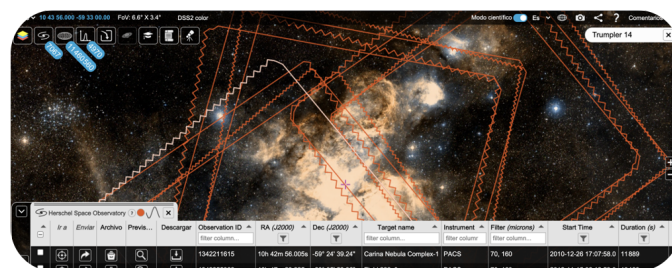
4.



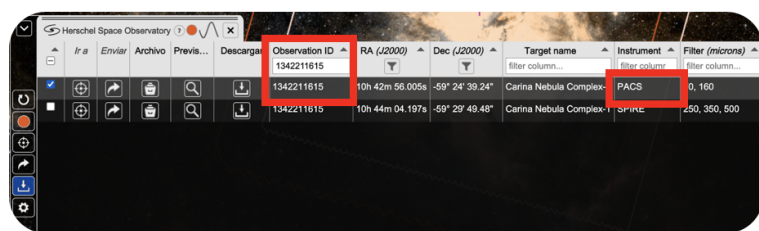
5.



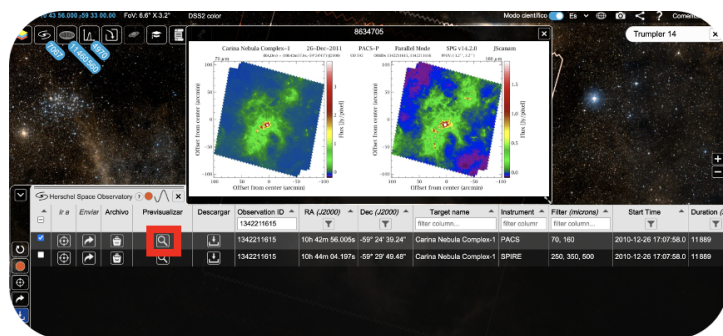
6.



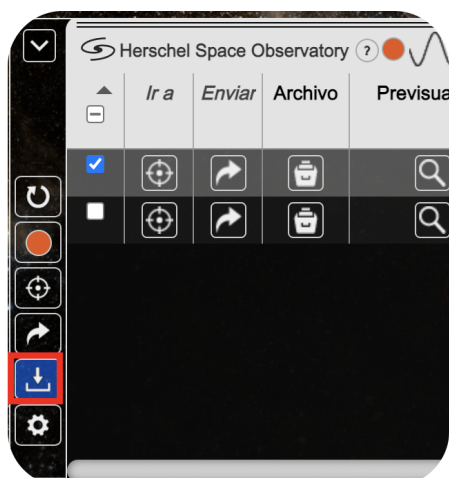
7.



8.



9.



10.



anonymous16295
31378.tar

11.



anonymous16295
31378



hpacs_25HPPJS
MAPB_...27.fits.gz



hpacs_25HPPJS
MAPR_1...3.fits.gz



README.pdf

12.



hpacs_25HPPJS
MAPB_...5627.fits



hpacs_25HPPJS
MAPR_1...343.fits

13.

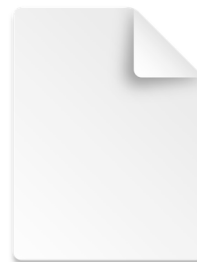
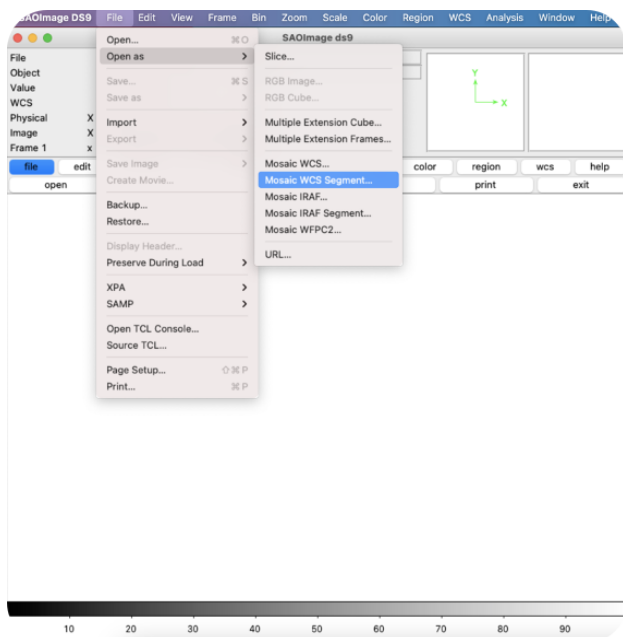


Trumpler14_blue.f
its



Trumpler14_red.fi
ts

14.



Trumpler14_blue.fits

TextEdit Document - 366,4 MB

Information

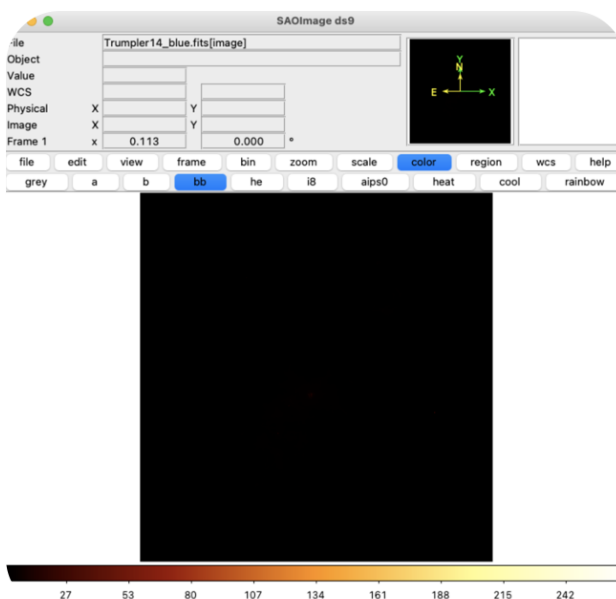
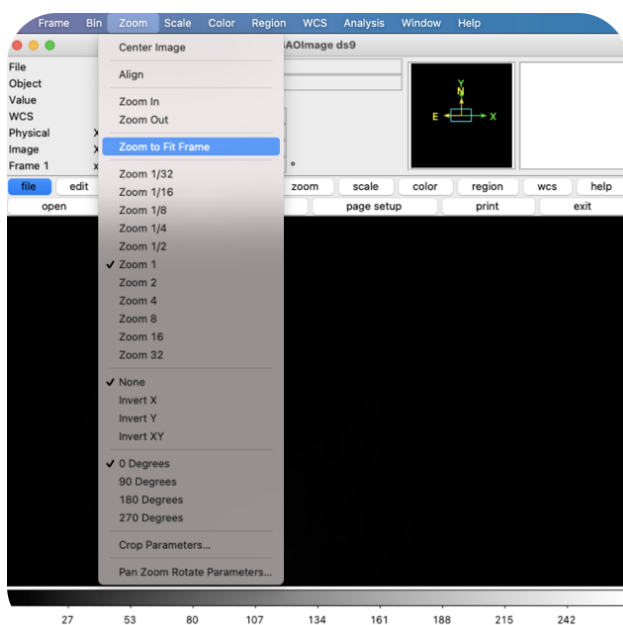
Created

Today, 00:40

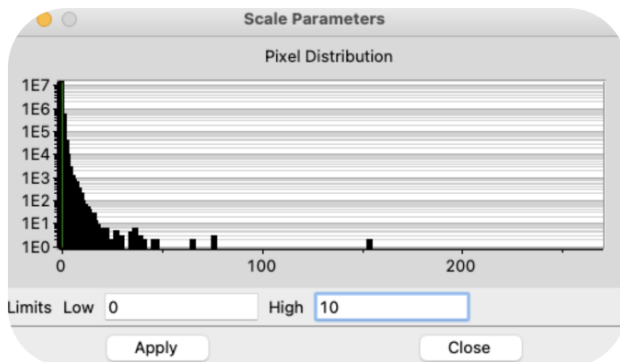
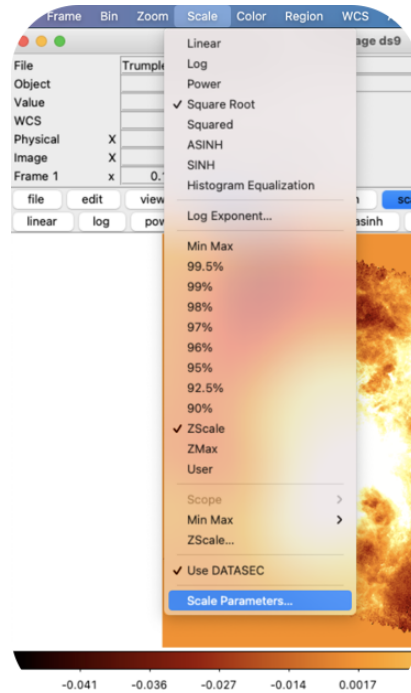
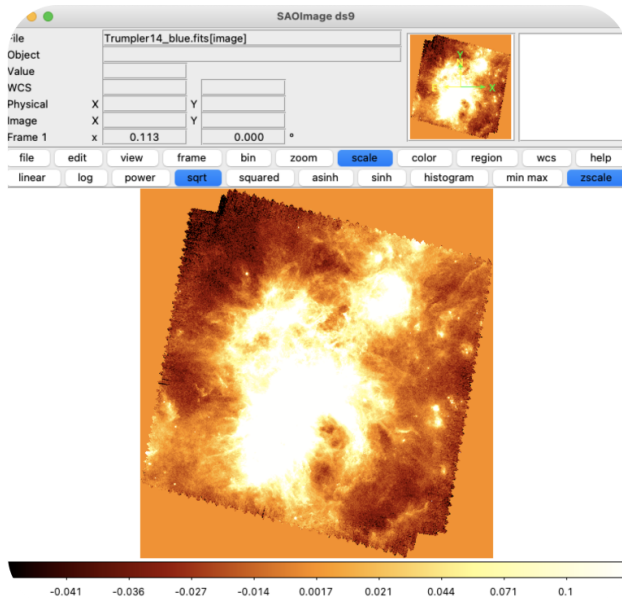
Cancel

Open

15.



16.



La imagen que has conseguido es de Herschel, en el infrarrojo (micrómetros) y muestra la densidad de las nubes en Trumpler 14.

1. ¿Sabrías identificar en esta imagen la zona de material más denso?

Actividad 11.5: Combina imágenes astronómicas de varios filtros (imagen RGB)

Ahora que ya has producido tú primera imagen astronómica, puedes ir un paso más allá. Seguramente hayas visto alguna vez una imagen de colores espectacular de objetos celestes, pero estos colores normalmente no son “reales” sino más bien están alterados para mejor visualización.

Las imágenes astronómicas se suelen tomar con detectores CCDs (Charged Couple Device) que se encuentran en los telescopios y las imágenes son en blanco y negro. Sin embargo, los CCDs se pueden usar junto a filtros de colores. En ese caso, en la imagen se resalta el color del filtro, como en la Figura 92.

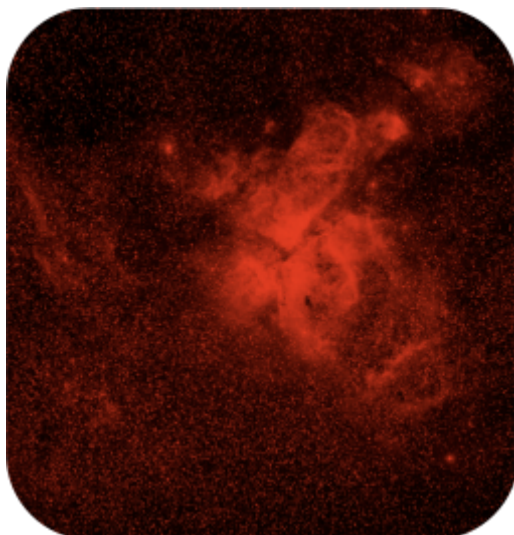


Figura 92: Imagen en banda roja de la Nebulosa de Carina del Digitized Sky Survey

Al combinar la misma imagen tomada con filtros diferentes, se puede obtener una imagen de colores. La imagen combinada recibe el nombre de imagen RGB, de la combinación de red, green y blue.

El modelo RGB se aproxima a cómo los humanos percibimos el color gracias a los receptores de nuestros ojos, que son sensibles a las longitudes de onda rojas, verdes y azules.

En la Figura 93 se ven las tres imágenes tomadas a través de los tres filtros diferentes. Estas imágenes combinadas forman la Figura 94 con los colores “reales” que percibimos si pudiéramos ver esta zona a simple vista.

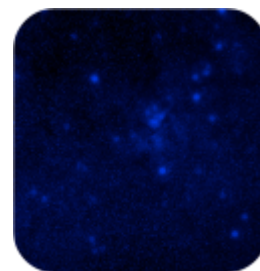
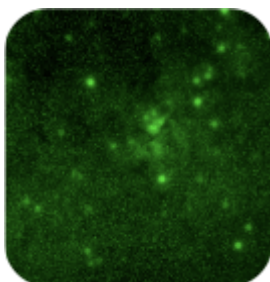
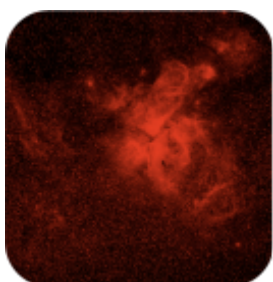


Figura 93: Imágenes en banda roja, verde y azul de la Nebulosa de Carina Digitized Sky Survey

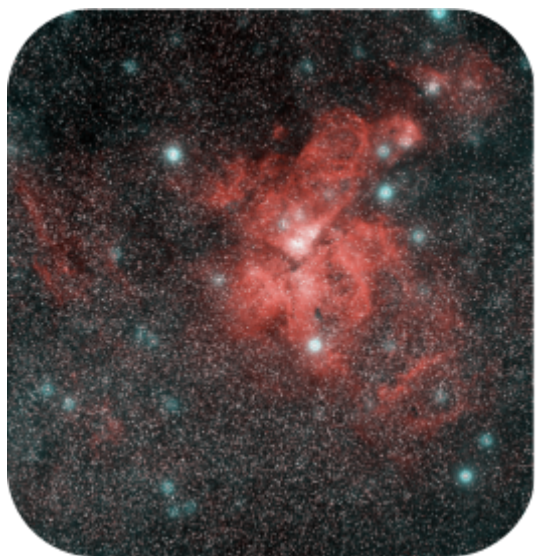


Figura 94: Imagen RGB de la Nebulosa de Carina

Sigue el procedimiento en instrucciones y el procedimiento en imágenes.

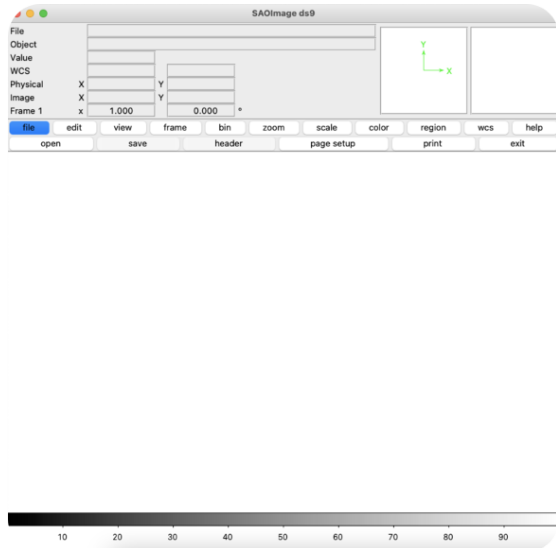
PROCEDIMIENTO EN INSTRUCCIONES:

Descarga los tres ficheros en este [link](#) llamados “dss-verywide-r.fits”, “dss-verywide-g.fits” y “dss-verywide-b.fits”.

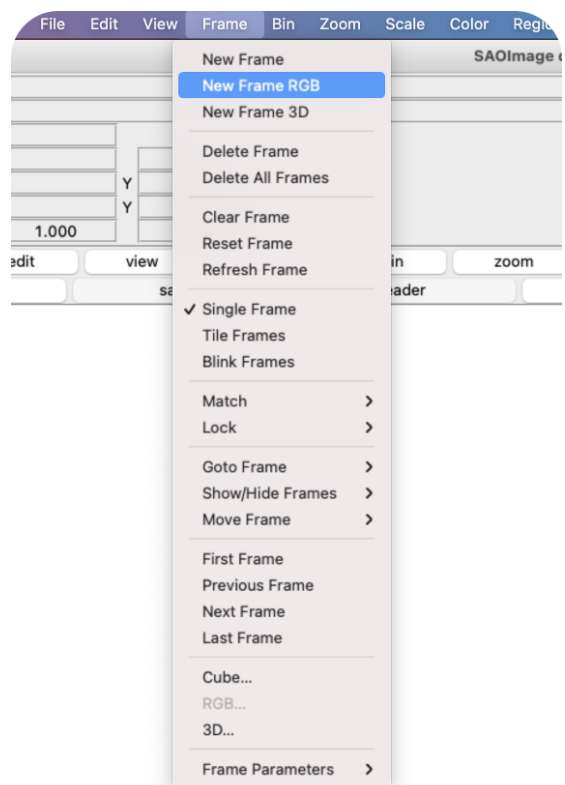
1. Abre SAOImage DS9.
2. Haz clic en “Frame” → “New Frame RGB”.
3. Se abrirá una ventana llamada RGB donde seleccionarás “Red” (rojo).
4. Haz clic en “File” → “Open as” → “Mosaic WCS Segment”.
5. Selecciona el fichero “dss-verywide-r.fits” y dale a “Open” para abrirlo.
6. Haz clic en “Ok”.
7. Deberías obtener una imagen como la del Paso 7 de el Procedimiento de imágenes.
8. Haz clic en “Zoom” → “Zoom fit”, para ver la imagen completa.
9. Selecciona “Frame” → “RGB” → “Green”.
10. Repite los Pasos 5 y 6, cargando el fichero “dss-verywide-g.fits” para obtener las imágenes roja y verde combinadas.
11. Selecciona “Frame” → “RGB” → “Blue”.
12. Repite el Paso 11 esta vez con el fichero “dss-verywide-b.fits”.

PROCEDIMIENTO EN IMÁGENES:

1.



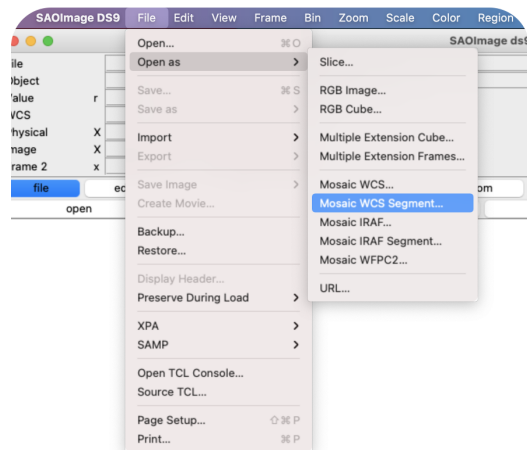
2.



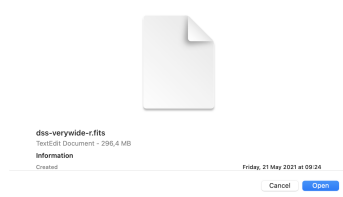
3.



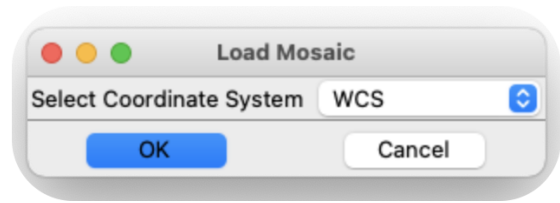
4.



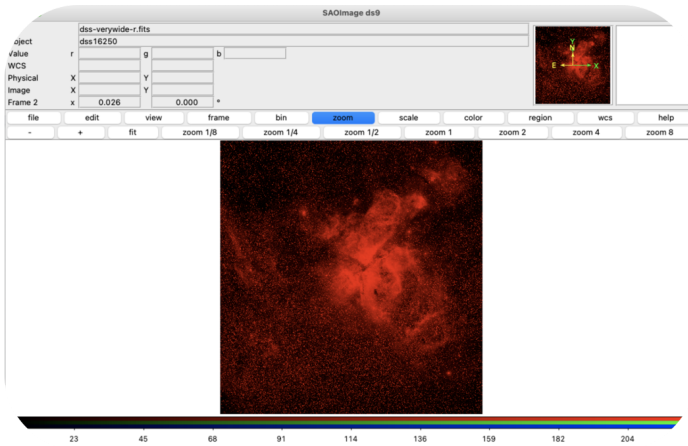
5.



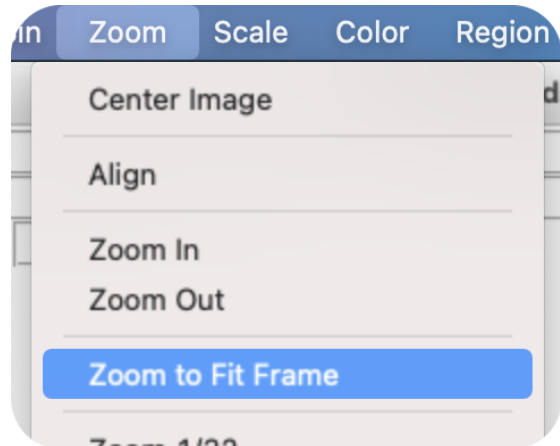
6.



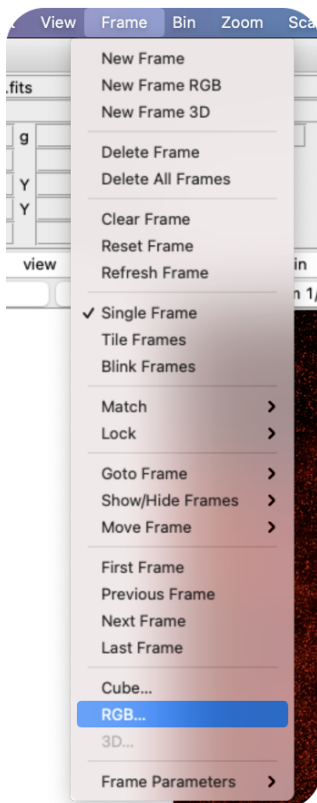
7.



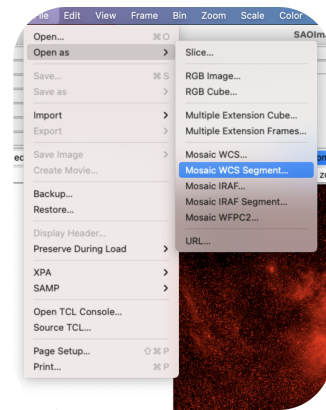
8.



9.



10.

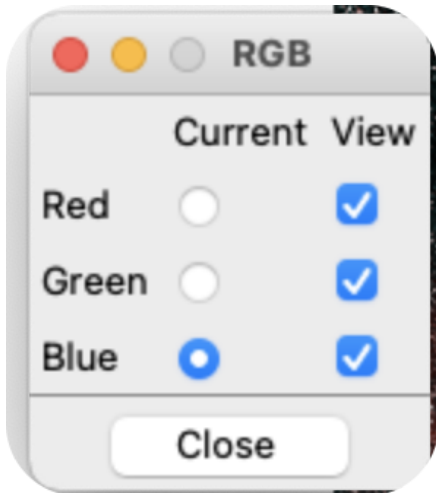


dss-verywide-g.fits
TextEdit Document - 296.4 MB
Information

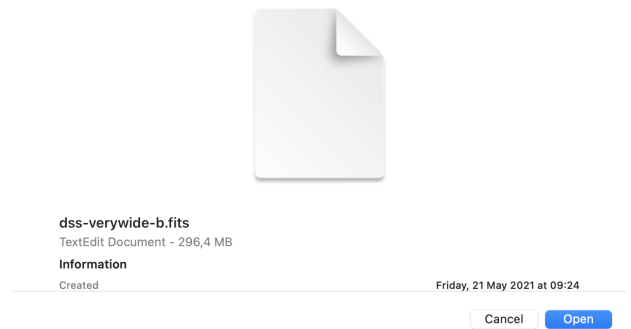
Friday, 21 May 2021 at 09:24

Cancel Open

11.



12.



1. Ahora que ya tienes tu imagen RGB, según sus coordenadas, localiza Trumpler 14.
Si necesitas ayuda puedes hacer clic en “Analysis”, y “Coordinate Grid”.
2. Para averiguar si estas en lo cierto, dibuja un círculo alrededor de Trumpler 14
siguiente estos pasos:
 1. Descargate el fichero “Trumpler14.reg”
 2. En SAOImage DS9 haz clic en “Region” → “Load regions” y selecciona la
región de Trumpler 14 que acabas de descargar dándole a “open”.

¿Habías acertado con la posición de Trumpler 14?

Actividad 11.6: Explora imágenes astronómicas con el programa SAOImage DS9.

Ahora que ya has localizado la región de Trumpler 14, investiguemos algunas de las fuentes que se encuentran por la zona.

PROCEDIMIENTO EN INSTRUCCIONES:

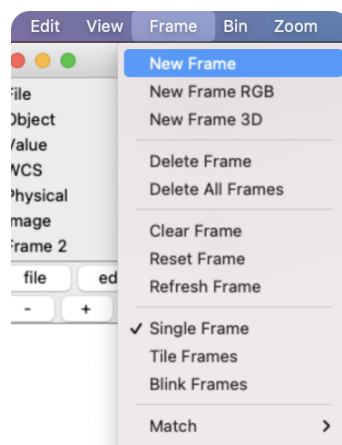
1. Descarga el fichero “XMM2.vot” ([link al fichero](#)) en tu ordenador. Esto es un catálogo, con lo que trabajaremos más tarde en la [Actividad 12](#).
2. En SAOImage DS9 haz clic en “Frame” → “New Frame”
3. Vamos a usar una imagen directamente del servidor de SAOImage DS9 haciendo clic sobre “Analysis” → “Image Servers” → “ESO-DSS I/II” o “DSS(ESO)” (depende de la versión que tengas instalada)
4. En la ventana que aparece escribe “Trumpler 14” en el Object y dale a “Retrieve”
5. Haz clic en “Zoom” → “Zoom Fit”
6. Seguramente hayas obtenido una foto en blanco y negro. Puedes cambiar el color seleccionado haciendo clic en “Color” → “bb”
7. Haz clic en “Analysis” → “Catalog Tool”. Aparecerá una nueva ventana
8. Arriba a la izquierda dale a “File” → “Load”
9. Selecciona el fichero “XMM2.vot” que descargaste previamente y haz click en “open”. Este fichero es un catálogo que contiene 20 fuentes, cuyas posiciones se muestran como círculos verdes.

PROCEDIMIENTO EN IMÁGENES:

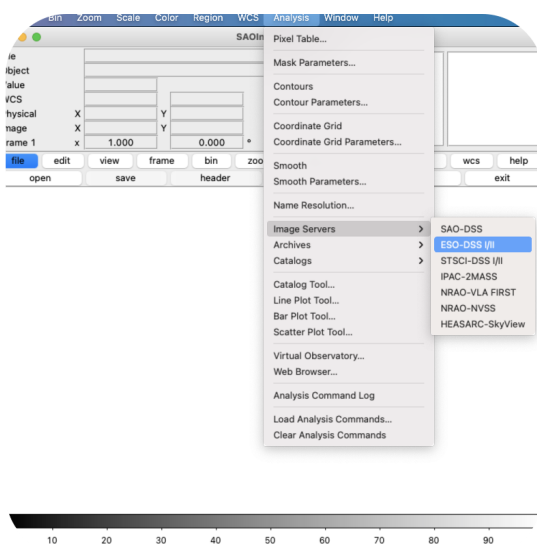
1.



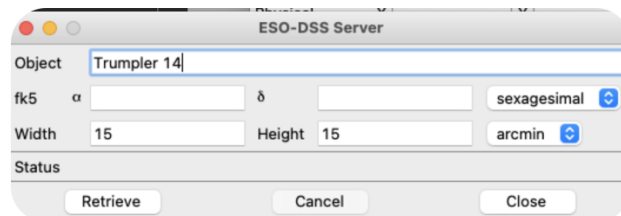
2.



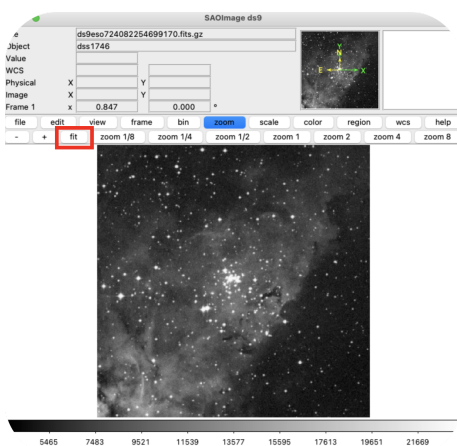
3.



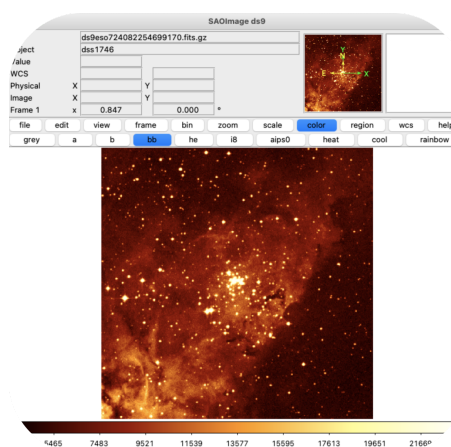
4.



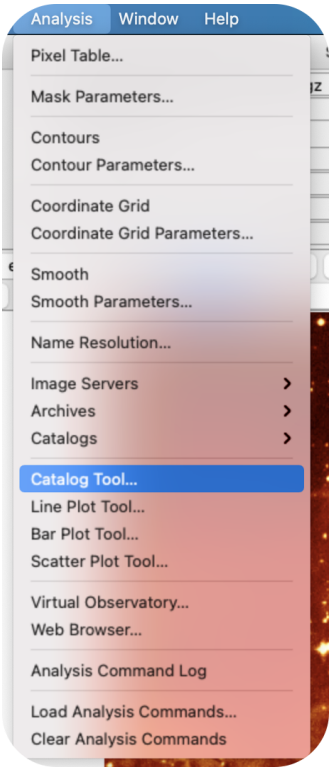
5.



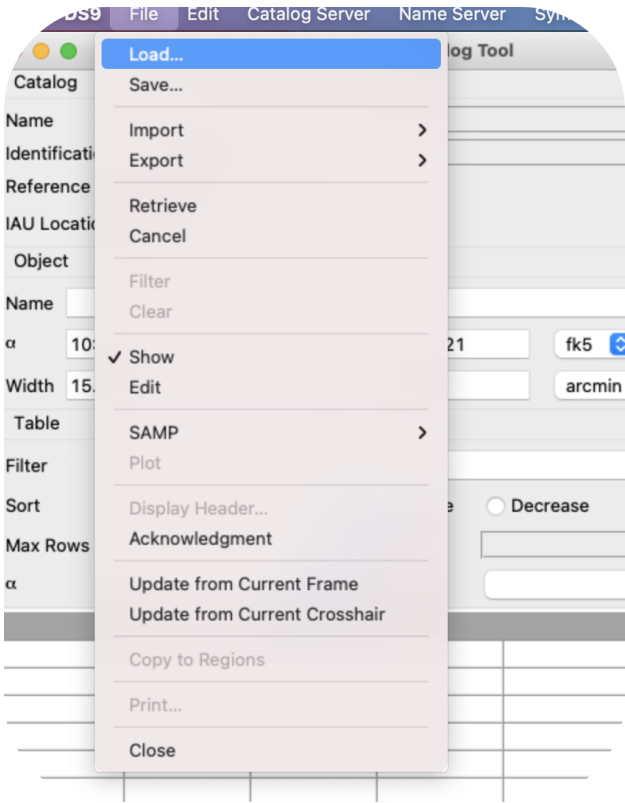
6.



7.



8.



9.



XMM2.vot
Document - 181 KB

Information [Show More](#)

Created Thursday, 20 May 2021 at 18:43

[Cancel](#) [Open](#)

Resuelve las siguientes preguntas:

1. Identifica la fuente que está más centrada. Apunta las coordenadas que podrás leer en la zona de RA y DEC en el apartado FK5 de SAOImage DS9.

2. Las coordenadas están en hh:mm:ss y grados, minutos de arco, segundos de arco. Conviértelas a grados. Revisa la [Actividad 2.2](#) para recordar cómo hacer esto.

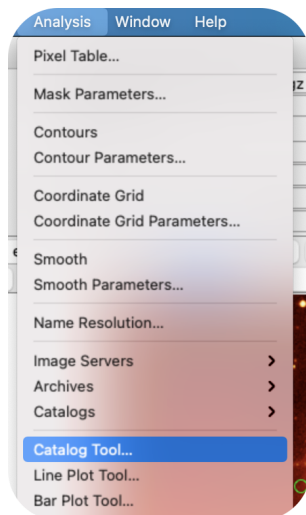
3. Ahora que sabes en unidades de grados la posición de la Fuente X, vas a obtener el nombre de dicha fuente. Para ello sigue los Pasos del Procedimiento en instrucciones y del Procedimiento en Imágenes.

PROCEDIMIENTO EN INSTRUCCIONES:

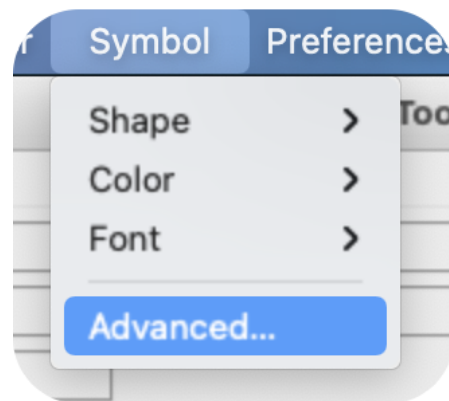
1. Abre de nuevo en SAOImage DS9 la opción “Catalog Tool” que obtuviste al cargar el catálogo “XMM2.vot”
2. Haz clic en “Symbol” → “advanced”
3. En el apartado de “Text” escribe el nombre de la columna que contiene los nombres de las fuentes: \$iauname (que es el nombre de la fuente según la IAU, Unión Astronómica Internacional).
4. Deberías ver todos los nombres sobre las fuentes en la imagen. Haz zoom sobre la fuente que nos interesa para apuntarte su nombre.

PROCEDIMIENTO EN IMÁGENES:

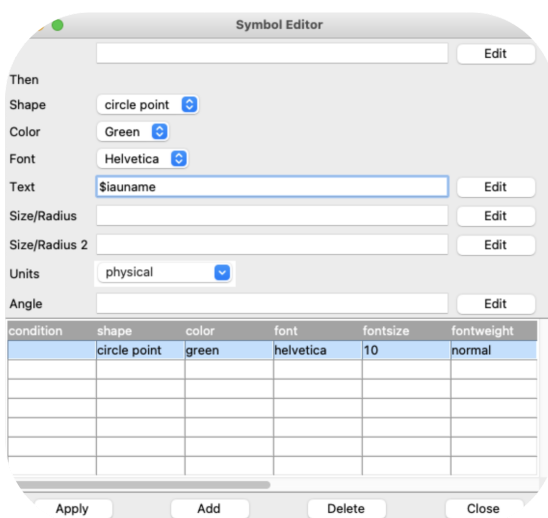
1.



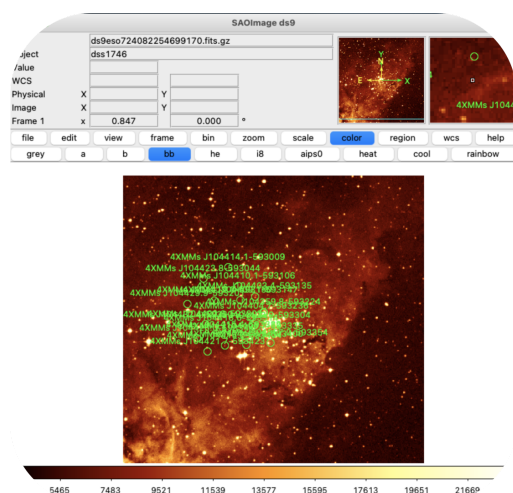
2.



3.



4.



Nombre de la fuente:

Actividad 12: Trabaja con catálogos astronómicos

Vamos a descargar catálogos astronómicos, a partir de ESASky, para buscar estrellas TTauri clásicas. Estos catálogos son: de XMM-Newton, 2MASS y GAIA. También usaremos datos de VST de los archivos de ESO.

Actividad 12.1: Descarga catálogos astronómicos de ESASky

Sigue estos pasos para descargarte el catálogo 2MASS:

PROCEDIMIENTO EN INSTRUCCIONES:

1. Haz clic en este link para entrar en ESASky: <https://sky.esa.int>
2. Selecciona el modo científico
3. Arriba a la derecha tendrás la barra de búsqueda
4. Introduce el nombre de “Trumpler 14” como se muestra en el Paso 4 del “Procedimiento en Imágenes”
5. Disminuye el Zoom apretando 5 veces sobre el símbolo ‘-’
6. Una vez tienes localizado Trumpler 14, haz clic en el símbolo de los filtros en la parte izquierda de la pantalla
7. Selecciona la opción “Óptico” y filtro “DSS2 color”
8. Deberías ver una imagen en el rango espectral del visible de Carina Nebula, con la cruz indicando la posición de Trumpler 14. (Nota: Cuidado porque si pinchas y arrastras la imagen, la cruz también se moverá y tendrás que hacerlo todo otra vez).
9. Aumenta el zoom pinchando 2 veces el símbolo ‘+’.
10. El siguiente paso es explorar los catálogos de la zona pinchando sobre el icono de catálogos que tiene forma de elipse. Deberían aparecer todos los catálogos disponibles
11. Haz click en el cuadrado de 2MASS
12. Debería aparecer una pestaña vacía y el fondo estar dividido en cuadraditos amarillos

13. Pincha con el raton derecho el cuadrado que contenga la cruz y haz clic en “load data”
14. Los datos de esa zona aparecerán en una pestaña nueva y las posiciones de las fuentes estarán señaladas en la imagen
15. Arrastra la pestaña hacia abajo para poder visualizar la imagen mejor
16. Selecciona la cuadrícula a la izquierda de la que ya has seleccionado previamente y de nuevo pincha en “cargando datos”. Aparecerá otra pestaña más.
17. En este momento deberías tener dos cuadrículas seleccionadas con las fuentes de 2MASS y las dos pestañas correspondientes, la primera con 918 filas y la segunda con 706. Cada fila corresponde a una fuente en esa zona. Puedes chequear el número de fuentes en la esquina abajo a la derecha
18. Pincha sobre el primer catálogo y selecciona todas las fuentes haciendo clic sobre la primera columna como en la imagen 18
19. Pincha en el icono de descargar
20. Selecciona la opción VOTable y el catálogo empezará a descargarse en tu ordenador. No cierres ESASky
21. Repite la descarga en los pasos 18-20 con el segundo catálogo
22. Repite los pasos 13-20 con las cuadrículas arriba y abajo de las que ya has seleccionado
23. En la carpeta de descargas de tu ordenador tendrás **los 6** archivos
24. Renombra los archivos con nombre como “2MASS1”, “2MASS2”, etc. y cambia las terminaciones de “.vot” a “.fits”. Ya estás listo para trabajar con catálogos 2MASS en TopCat.
25. Descargar el catálogo de XMM es muy similar. Desde donde acabaste en ESASky, pincha sobre el icono de catálogos de nuevo para obtener los catálogos disponibles.
26. Selecciona el catálogo 4XMM-DR10.
27. De nuevo, selecciona las fuentes de XMM, indicadas como cuadrados lilas. Haz click en el botón de descargas y descarga la tabla en formato VOTable. Una vez

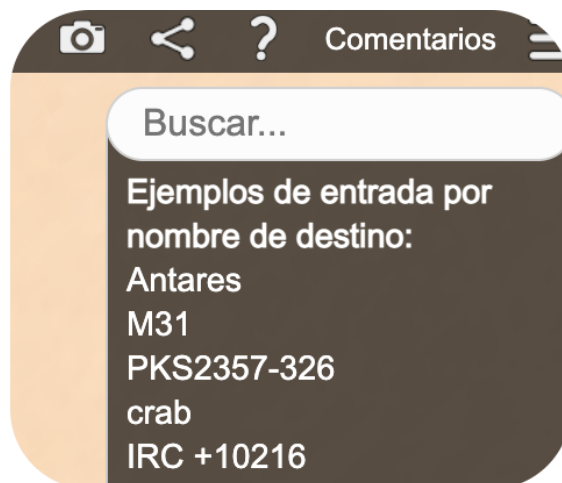
esté descargado el fichero, renombrarlo a “XMM” y cambia la terminación a .fits, de manera que tu fichero se llame “XMM.fits”

PROCEDIMIENTO EN IMÁGENES:

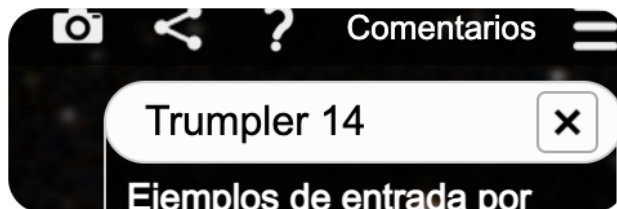
2.



3.



4.



5.



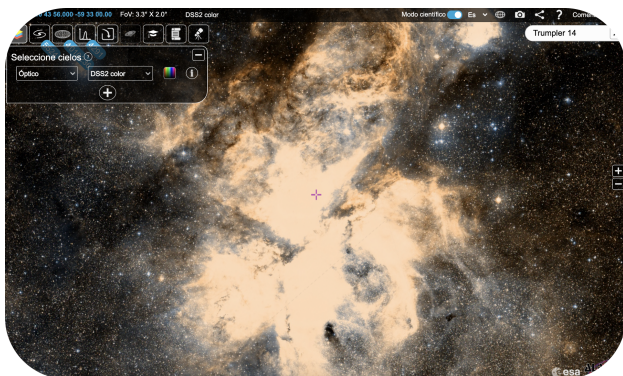
6.



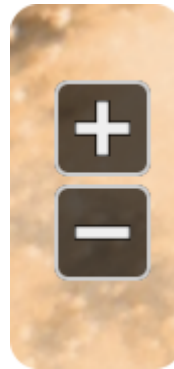
7.



8.



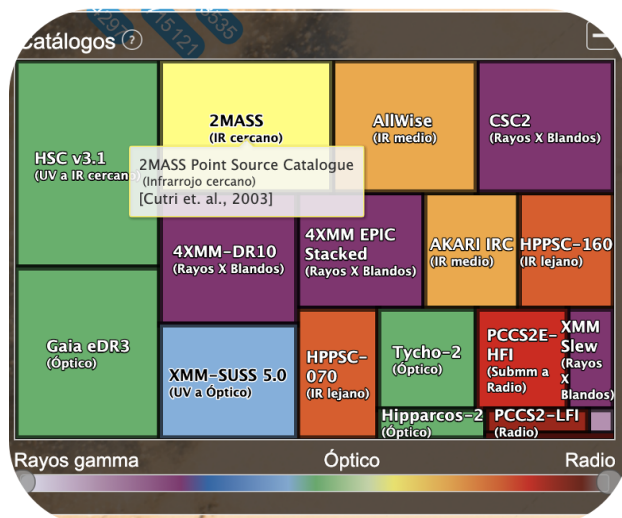
9.



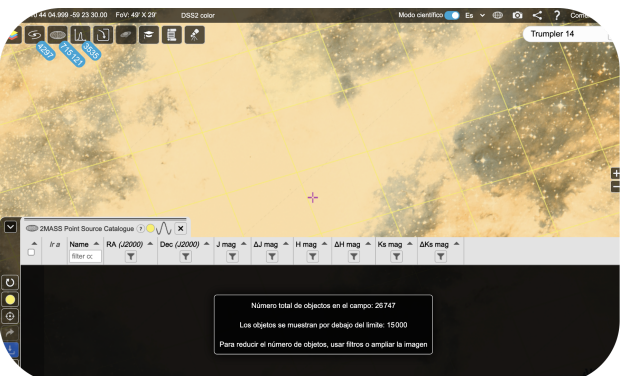
10.



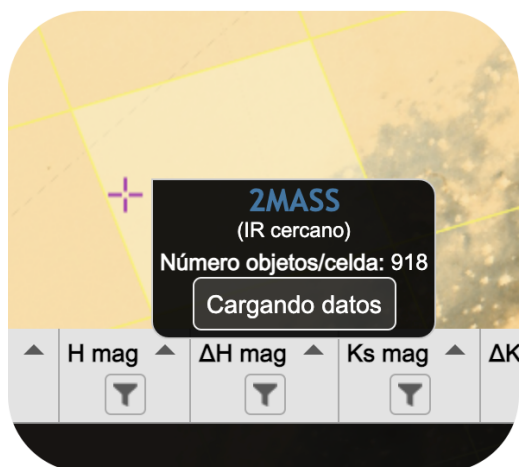
11.



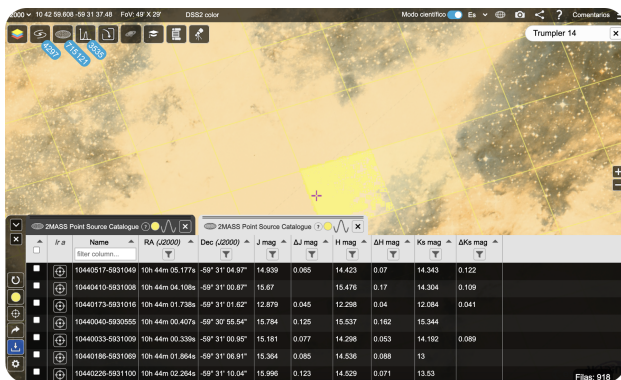
12.



13.



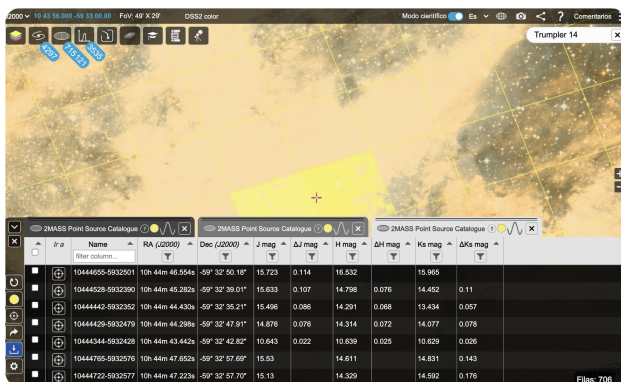
14.



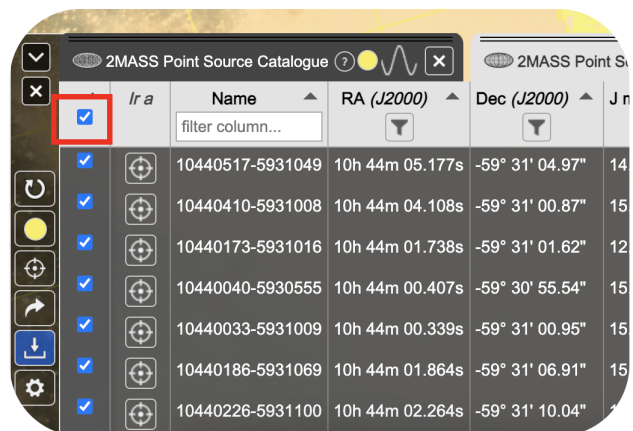
16.



17.



18.



19.



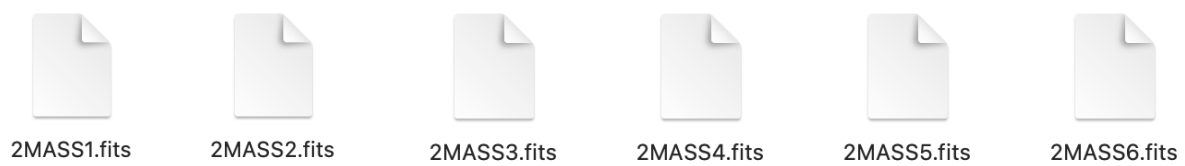
20.



22.



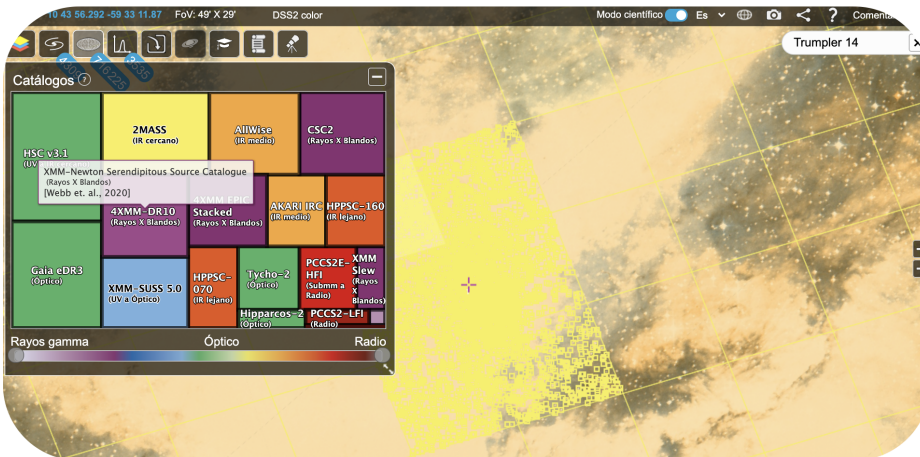
24.



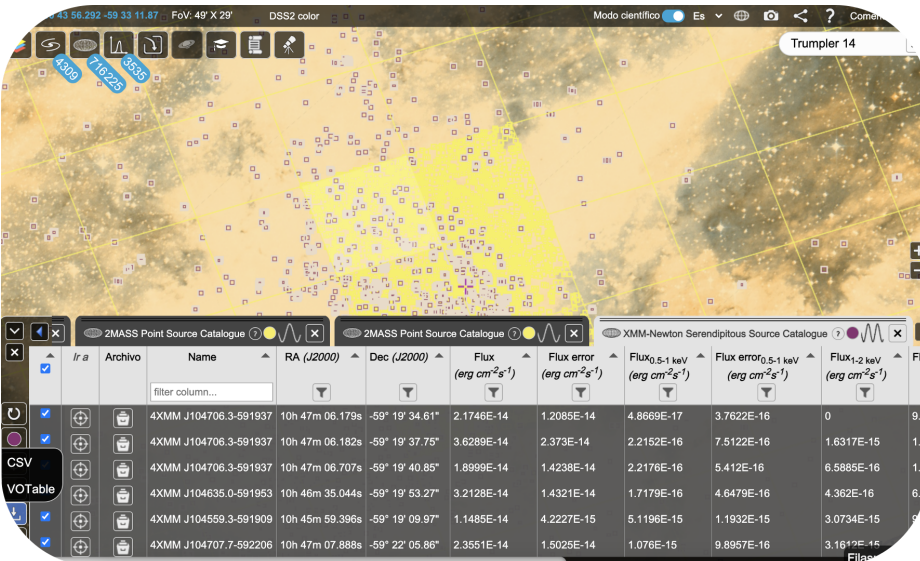
25.



26.



27.



Actividad 12.2: Manipula catálogos astronómicos en TopCat

Usa el resultado de [Actividad 12.1](#). Si no has realizado esta Actividad, emplea los ficheros de este [link](#).

Actividad 12.2.1: Descarga TopCat

1. Accede a la página web de TopCat: star.bris.ac.uk/~mb/opcat
2. Elige la versión “Standalone-Full.tar” y descargala en tu ordenador.

TopCat es un programa para analizar y manipular catálogos y se emplea en astronomía por su capacidad para trabajar con extensas bases de datos.

Actividad 12.2.2: Concatena tablas

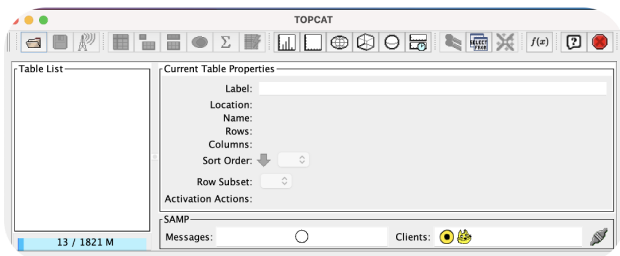
En la [Actividad 12.1](#) nos hemos descargado **seis** catálogos de 2MASS que queremos combinar para que sea solo uno. TopCat ofrece la posibilidad de concatenar tablas. Sigue estos pasos.

PROCEDIMIENTO EN INSTRUCCIONES:

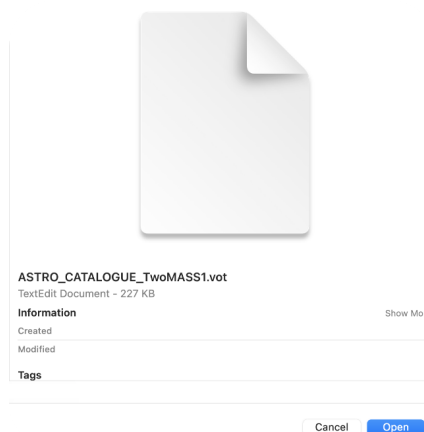
1. Lanza TopCat
2. Pincha en el símbolo de la carpeta y luego en “System Browser”. Selecciona todos los archivos y haz clic en “Open”
3. Una vez tienes todos los catálogos en TopCat pincha en “Joins” → “Concatenate Tables”
4. Para la “Base Table” selecciona el primer catálogo de “2MASS1.fits” y para la “Appended Table” el segundo catálogo, “2MASS2.fits”
5. Pincha en “Concatenate”. La tabla conjunta se guarda directamente en TopCat, en este caso con el nombre “concat(1+2)”
6. Repite la concatenación entre la nueva tabla “concat(1+2)” y el tercer catálogo de 2MASS, “2MASS3.fits”.
7. Repite este proceso siempre concatenando la última tabla producida y el catálogo de 2MASS siguiente. Acabarás con un catálogo final de 4420 fuentes.
8. Guarda el catalogo final como “2MASStotal.fits”

PROCEDIMIENTO EN IMÁGENES:

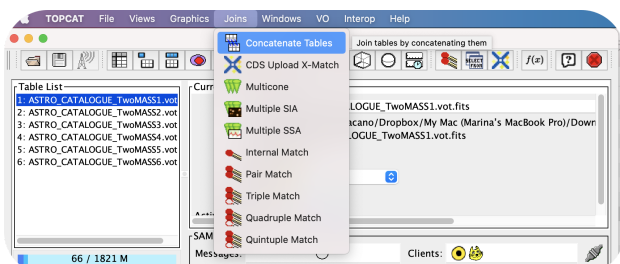
1.



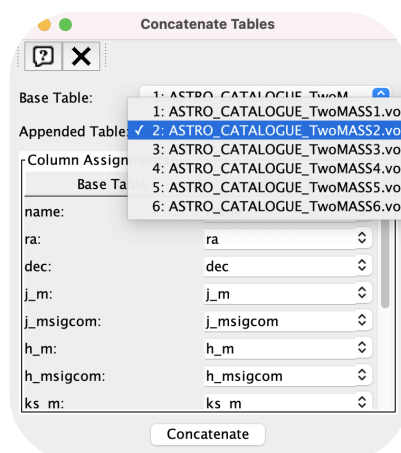
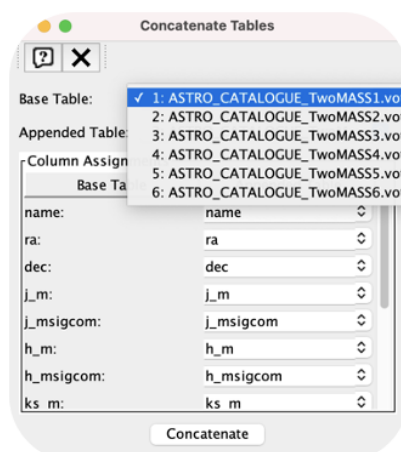
2.



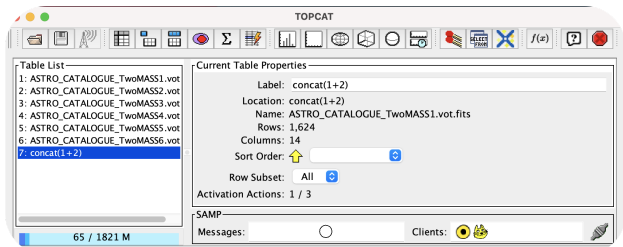
3.



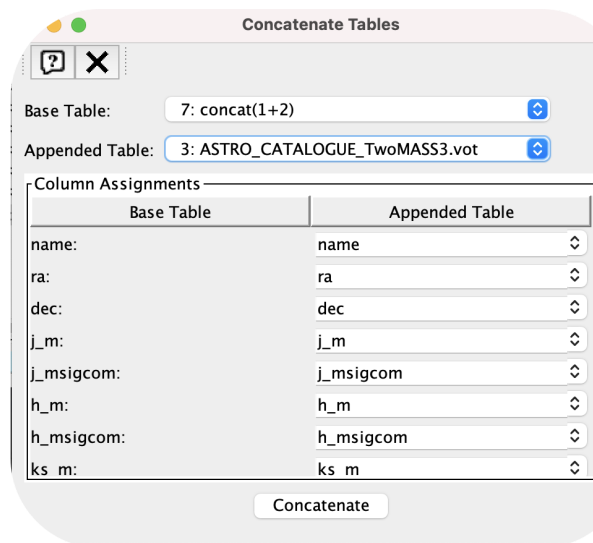
4.



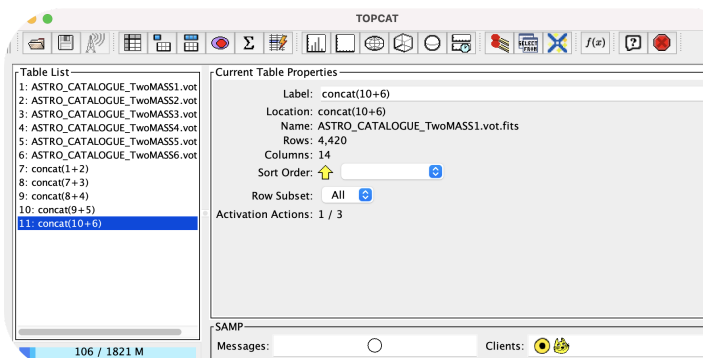
5.



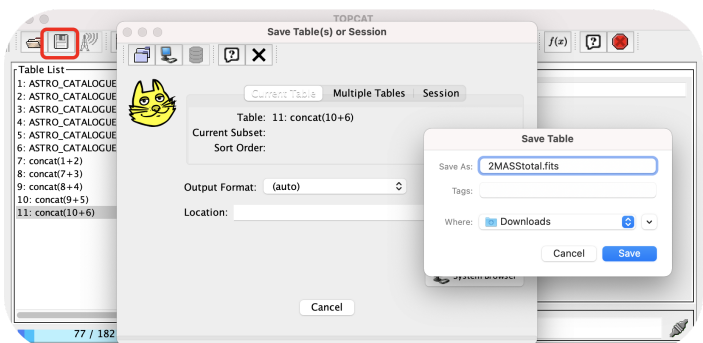
6.



7.



8.



Actividad 12.3: Selecciona estrellas T Tauri clásicas en la región Trumpler 14

La primera selección de posibles estrellas T Tauri clásicas será ver si están en la fase principal de acreción. Como sabemos estos objetos emiten en H α , por lo que usaremos datos del catálogo VST.

El catálogo de VST de la zona de Trumpler 14 contiene 30964 fuentes, no habiendo valores de magnitud para todas.

Descarga el catálogo VST_initial.csv del [link](#) y ábrelo con Google Sheet. Obtendrás una tabla con todos los objetos clasificados en columnas.

De cada object destacaremos las siguientes columnas:

- IAUNAME: Nombre dado para ese objeto por la Unión de Astrónomos International (IAU), usando la nomenclatura vphas+coordenadas
- RA2000: Ascensión recta en unidades J2000
- DEC2000: Declinación en unidades J2000
- UAPERMAG3: magnitud en filtro u
- UAPERMAG3ERR: error en la medida de la magnitud en filtro u
- UCLASS: clasificación del objeto, en función de su morfología en la banda u, ver la clasificación en la Tabla 7
- GAPERMAG3: magnitud en filtro g
- GAPERMAG3ERR: error en la medida de la magnitud en filtro g
- GCLASS: clasificación del objeto, en función de su morfología en la banda g, ver la clasificación en la Tabla 7
- RAPERMAG3: magnitud en filtro r
- RAPERMAG3ERR: error en la medida de la magnitud en filtro r
- RCLASS: clasificación del objeto, en función de su morfología en la banda r, ver la clasificación en la Tabla 7.
- R2APERMAG3: magnitud en el segundo filtro r
- R2APERMAG3ERR: error en la medida de la magnitud en el segundo filtro de r

- R2CLASS: clasificación del objeto, en función de su morfología en la banda r, ver la clasificación en la Tabla 7.
- IAPERMAG3: magnitud en el filtro i
- IAPERMAG3ERR: error en la medida de la magnitud en filtro i
- ICLASS: clasificación del objeto, en función de su morfología en la banda i, ver la clasificación en la Tabla 7.
- HAVPHASAPERMAG3: magnitud en el filtro Halpha
- HAVPHASAPERMAG33ERR: error en la medida de la magnitud en filtro Halpha
- HAVPHASCLASS: clasificación del objeto, en función de su morfología en la banda Halpha, ver la clasificación en la Tabla 7

Siempre que medimos algo en ciencia, esta medida tiene un margen de error.

La Tabla 7 muestra la decodificación de las clases del catálogo de VST. Las columnas que contienen las “clases” pueden tener los siguientes valores. Dependiendo del valor, el objeto en cuestión es probablemente una estrella, una galaxia o simplemente ruido.

VALOR en columna CLASS	OBJETO CLASIFICADO COMO...
0	ruido
1	galaxia
-1	estrella
-2	probablemente estrella
-3	probablemente galaxia
-9	saturado

Tabla 7: Clases en el catálogo VST

Si por ejemplo tienes una fuente que tiene UCLASS = 0, quiere decir que esa fuente ha sido clasificada como “ruido” y no nos interesa.

Como vimos en la [Actividad 11.5](#), los distintos objetos del catálogo son detectados por los CCDs de los instrumentos. Cada fotón que llega a un CCD genera un electrón que es registrado como un evento. Los CCDs están compuestos por unidades más pequeñas, llamadas pixeles. El concepto de “UVERAGECONF” o “GVERAGECONF” describe la probabilidad de que un píxel haya interpretado la luz entrante de manera correcta y se pueda confiar en la medición.

Actividad 12.3.1: Criterio de selección

Para la primera selección de posibles estrellas T Tauri clásicas seleccionaremos todas aquellas fuentes que cumplan con los siguientes requisitos:

- ✓ Magnitudes r (RAPERMAG3) y r_2 (R2APERMAG3) (magnitud con ambos filtros de r) > 13.0 mag. De este modo descartamos los objetos demasiado brillantes que hayan podido saturar el detector.
- ✓ el error < 0.1 mag en las bandas g (GAPERMAG3ERR), r (RAPERMAG3ERR), r_2 (R2APERMAG3ERR), i (IAPERMAG3ERR) y $H\alpha$ (HAVPHASAPERMAG3ERR)
- ✓ clasificadas como *estrellas* en las bandas g y i (GCLASS = ICLASS = -1)
- ✓ clasificadas como *estrellas o probablemente estrellas* en las bandas r y r_2 (RCLASS y R2CLASS con los valores -1 o -2)
- ✓ clasificadas como *estrellas, probablemente estrellas o galaxias* en $H\alpha$ y u (HAVPHASCLASS y UCLASS entre alguno de los valores 1, -1 o -2)
- ✓ confianza de pixeles > 90.0 en u , g , r , r_2 , i (UVERAGECONF, GVERAGECONF, RVERAGECONF, R2VERAGECONF, iAVERAGECONF $> 90.0\%$)
- ✓ confianza de pixeles > 95.0 en la banda $H\alpha$ (HAVPHASAVERAGECONF $> 95.0\%$)

Actividad 12.3.1.1: Con Google Sheets

[\(Link al video tutorial\)](#)

Copia el catálogo de VST en un fichero de Google Sheets. Filtra cada columna con los criterios mencionados y deshazte de las fuentes que no los cumplan. Para ellos siguen el procedimiento en instrucciones o en imágenes.

PROCEDIMIENTO EN INSTRUCCIONES

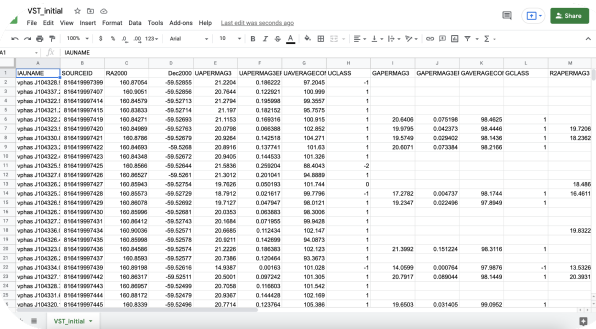
1. Abre el fichero “VST_initial.csv” en Google Sheet
2. Selecciona la primera fila con los nombre de cada columna
3. Luego haz click en el menú en “View” → “Freeze” → “1 row” / “1 fila”
4. Busca la columna “RAPERMAG3” y selecciónala entera haciendo clic derecho sobre la letra que describe la columna, en este caso debería ser la Q
5. Selecciona la opción “Sort sheet A → Z”. Esto hará que veas la columna en orden ascendente. Verás que hay muchos valores por debajo de 13.0. Estos son los que queremos borrar.
6. Haz click sobre el rincón izquierdo superior de la tabla para seleccionarla entera. Toda la tabla quedará seleccionada.
7. Haz click sobre el icono de filtrado. La tabla saldrá en verde ahora y al lado del nombre de cada columna verás un símbolo.
8. Para hacer el filtrado, pincha sobre este símbolo en la columna que necesites filtrar. Por ejemplo, vamos a filtrar la columna “R2APERMAG3”. Queremos que los valores sean mayor que 13.0.
 - 8.1. Pincha sobre el símbolo en la columna “R2APERMAG3”.
 - 8.2. En la pantalla que aparezca, selecciona la opción “Filter by condition”.
 - 8.3. Elige la opción “Greater than” → escribe 13.0 → haz clic en “OK”.
 - 8.4. Repite los pasos 8.1 hasta 8.3 para el resto de criterios de selección, teniendo en cuenta si hay que usar “Greater than” o “Less than”.
 - 8.5. Para el criterio de “clases”, visto en la Tabla 8, haz click sobre el símbolo en la columna.

8.5.1. Elige la opción “Filter by values”.

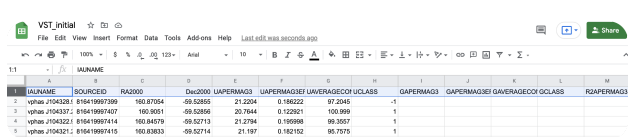
8.5.2. Selecciona sólo aquellos valores que quieras mantener.

PROCEDIMIENTO EN IMÁGENES:

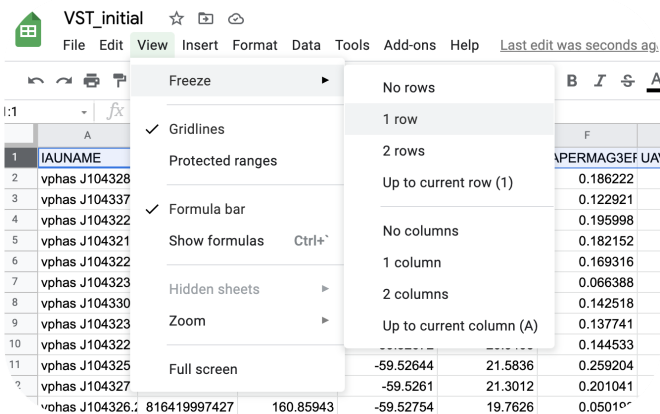
1.



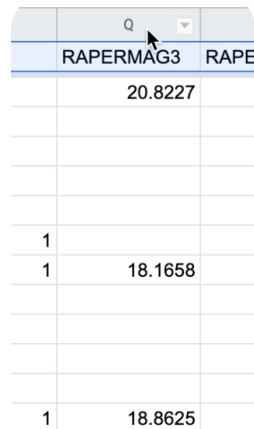
2.



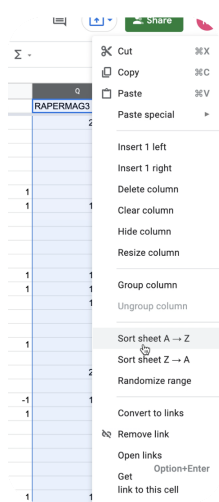
3.



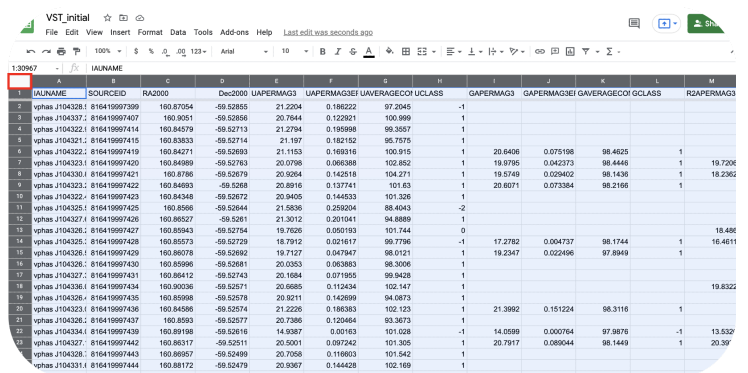
4.



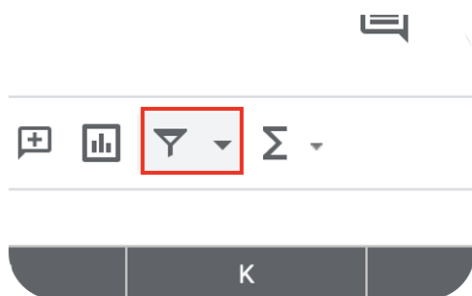
5.



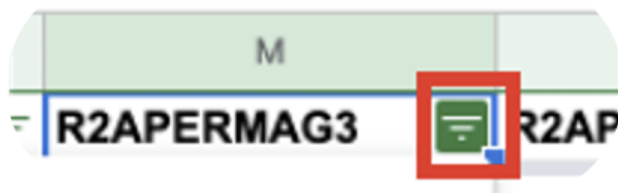
6.



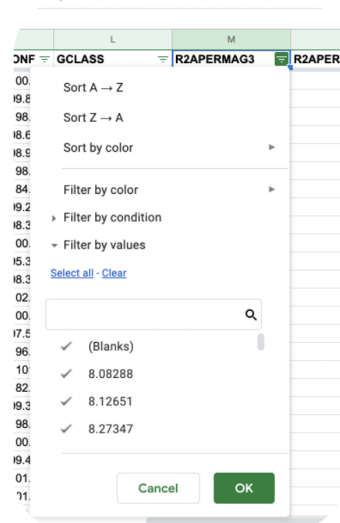
7.



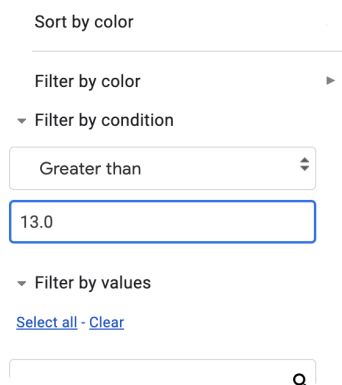
8.1.



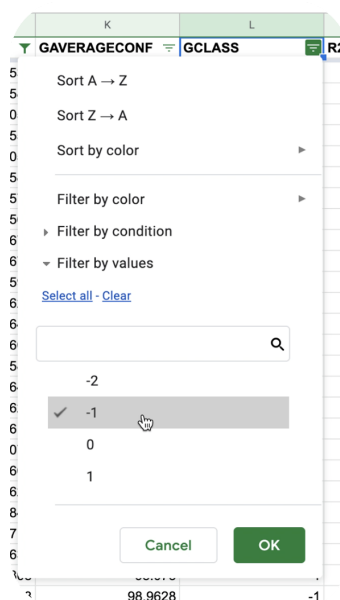
8.2.



8.3.



8.5.1



Actividad 12.3.1.2: Con Excel

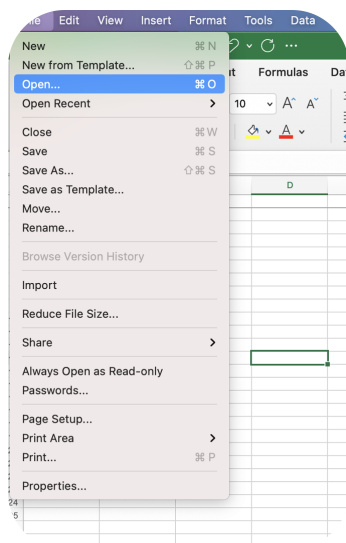
[\(Link al video tutorial\)](#)

PROCEDIMIENTO EN INSTRUCCIONES

1. Descarga el fichero “VST_initial” a tu ordenador
2. Abre el fichero en Excel haciendo clic en “Open” → selecciona tu fichero → open
3. Selecciona la primera fila con los nombre de cada columna
4. Luego haz clic en “View” → “Freeze Top Row”
5. Busca la columna “RAPERMAG3” entera y haz clic en el símbolo de filtrar llamado “Sort & Filter” → “Sort Smallest to Largest” → “Sort”
6. Selecciona la tabla entera haciendo clic en la celda arriba a la izquierda del principio de la tabla
7. Vuelve a hacer clic sobre el botón de filtrar → “Filter”. Cada columna tendrá ahora un símbolo de una flecha al lado de su nombre
 - 7.1. Pincha sobre el símbolo de la flecha de la columna “R2APERMAG3”.
 - 7.2. Elige la opción “Greater than” → escribe 13,0 → haz clic en “Apply filter” y cierra la ventana.
 - 7.3. Repite los pasos 7.1 y 7.2 para el resto de criterios de selección, teniendo en cuenta si hay que usar “Greater than” o “Less than”.
8. Para el criterio de “clases”, visto en la Tabla 8, haz click sobre el símbolo en la columna.
 - 8.1. Selecciona sólo aquellos valores que quieras mantener

PROCEDIMIENTO EN IMÁGENES:

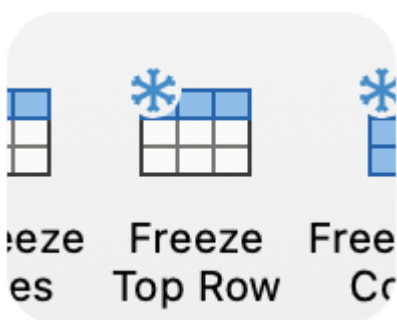
2.



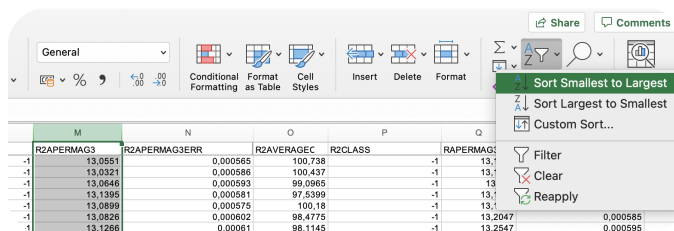
3.

	A	B	C	D
1	IAUNAME	SOURCEID	RA2000	Dec2000
2	vphas J1043	8,1642E+11	160,84078	-59,51765
3	vphas J1043	8,1642E+11	160,94723	-59,51881
4	vphas J1043	8,1642E+11	160,92206	-59,49049
5	vphas J1043	8,1642E+11	160,94808	-59,47845
6	vphas J1043	8,1642E+11	160,96313	-59,52909
7	vphas J1043	8,1642E+11	160,94938	-59,47915

4.

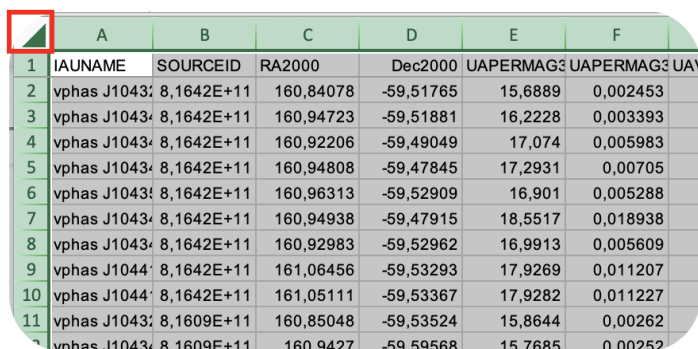


5.



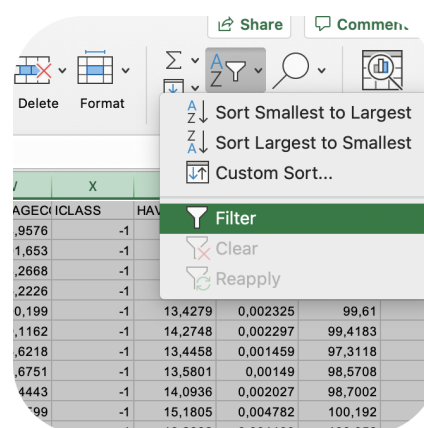
M	N	O	P	Q
RZAPERMAG3	RZAPERMAG3ERR	RZAPERAGEC	RZCLASS	RAPERMAG3
13,0551	0,000585	100,739	-1	13,1
13,0321	0,000586	100,437	-1	13,1
13,0646	0,000593	99,0965	-1	13,1
13,1355	0,000581	97,5399	-1	13,1
13,0899	0,000575	100,18	-1	13,1
13,0826	0,000602	98,4775	-1	13,2047
13,1266	0,00061	98,1145	-1	13,2547

6.



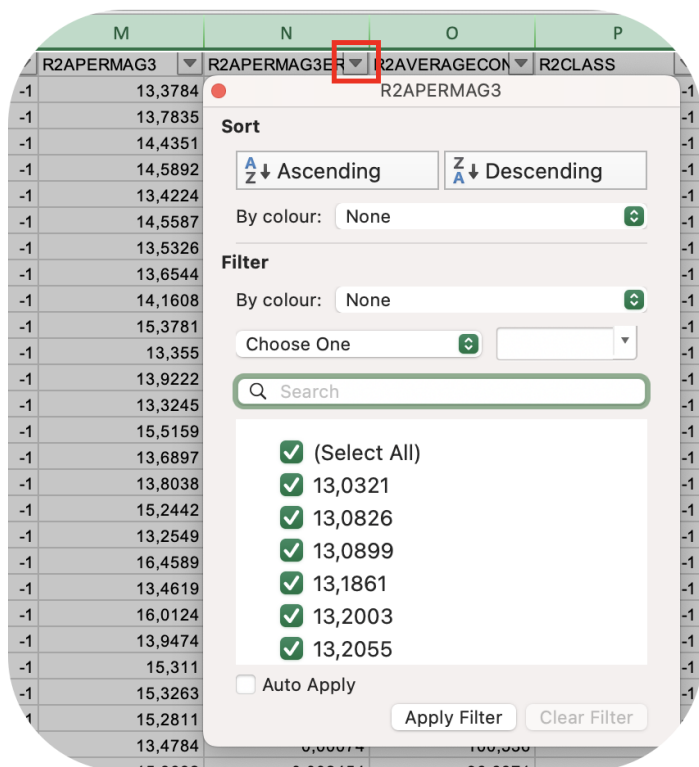
1	A	B	C	D	E	F
2	vphas J1043	8,1642E+11	160,84078	-59,51765	15,6889	0,002453
3	vphas J1043	8,1642E+11	160,94723	-59,51881	16,2228	0,003393
4	vphas J1043	8,1642E+11	160,92206	-59,49049	17,074	0,005983
5	vphas J1043	8,1642E+11	160,94808	-59,47845	17,2931	0,00705
6	vphas J1043	8,1642E+11	160,96313	-59,52909	16,901	0,005288
7	vphas J1043	8,1642E+11	160,94938	-59,47915	18,5517	0,018938
8	vphas J1043	8,1642E+11	160,92983	-59,52962	16,9913	0,005609
9	vphas J1044	8,1642E+11	161,06456	-59,53293	17,9269	0,011207
10	vphas J1044	8,1642E+11	161,05111	-59,53367	17,9282	0,011227
11	vphas J1043	8,1609E+11	160,85048	-59,53524	15,8644	0,00262
12	vphas J1043	8,1609E+11	160,9427	-59,59568	15,7685	0,00252

7.



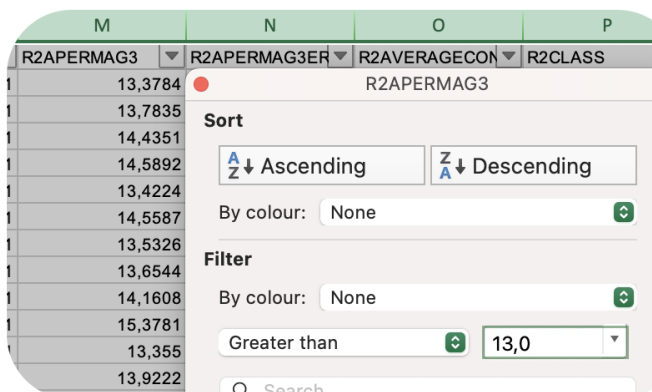
X
AGECLASS
9576
1,653
2668
2226
0,199
1,162
6218
6751
4443
99
13,2882

7.1



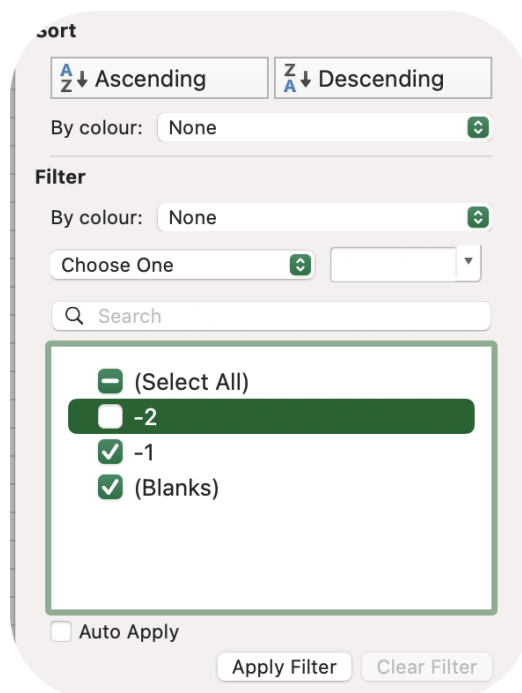
7.1 shows the CesaR interface with a data table. The 'R2APERMAG3' column is selected, and a filter dialog is open. The filter dialog shows a list of values with checkboxes, including '(Select All)', '13,0321', '13,0826', '13,0899', '13,1861', '13,2003', and '13,2055'. The 'Auto Apply' checkbox is unchecked.

7.2



7.2 shows the CesaR interface with a data table. The 'R2APERMAG3' column is selected, and a filter dialog is open. The filter dialog shows a list of values with checkboxes, including '(Select All)', '13,0321', '13,0826', '13,0899', '13,1861', '13,2003', and '13,2055'. The 'Auto Apply' checkbox is unchecked.

8.1



8.1 shows the CesaR interface with a data table. The 'R2APERMAG3' column is selected, and a filter dialog is open. The filter dialog shows a list of values with checkboxes, including '(Select All)', '-2', '-1', and '(Blanks)'. The 'Auto Apply' checkbox is unchecked.

Una vez has filtrado todas las fuentes, cuántas te quedan?

--

Guarda el fichero de objetos que cumple todos los criterios de selección y llámalo candidatos_finales.

Actividad 12.4: Construye diagramas color-color

Recordamos de la [Actividad 2.5.3](#) qué eran los diagramas color-color.

Vamos a usar uno de estos para representar los objetos que han pasado el criterio de selección de la [Actividad 12.3.1](#). Estos son nuestros candidatos a estrellas TTauri, por el momento.

Para ello sigue este procedimiento en tu tabla final Google Sheet que has nombrado en la [Actividad 12.3.1](#) como "candidatos_finales"

Actividad 12.4.1: Con Google Sheets

(Link al video tutorial)
--

PROCEDIMIENTO EN INSTRUCCIONES:

1. Abre la tabla "candidatos_finales"
2. Añade dos columnas al final de la tabla
3. Nombrarlas "R-I" y "R-Halpha"
4. En la primera fila de la columna "R-I" en blanco escribe la expresión $= (AX - BY)$ donde:
 - A = letra de la columna "RAPERMAG3"
 - X = número de esa primera fila en blanco de columna "R-I" (debería ser la 2)

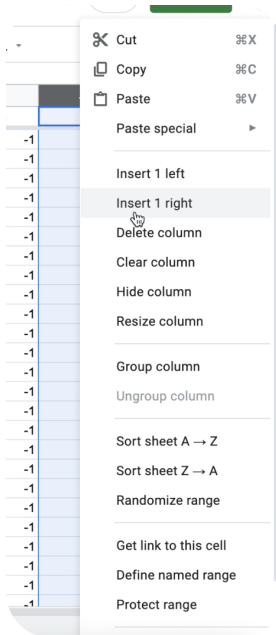
- B = letra de la columna "IAPERMAG3"
- Y = número de esa primera fila en blanco (debería ser 2)
- Te preguntará si quieres arrastrar la expresión para el resto de la columna. Haz clic en aceptar.

De este modo, se sustrae el valor de la banda i del valor de la banda r para la primera fuente, dando así el color (r-i).

5. Repite el paso 4 para la columna "R-Halpa", esta vez para obtener el color (r-Halpa) con las correspondientes columnas
6. Selecciona ambas columnas nuevas, "R-I" y "R-Halpa"
7. Pincha sobre el icono de gráficos
8. En "formato" selecciona "Scatter plot"
9. Para el eje X, selecciona el color (r-i)
10. En el apartado de "Series", pincha sobre los tres puntitos de "R-I" y haz clic en "Remove". De este modo, el eje Y es el color (r-Halpa)
11. Añade los títulos de los ejes y del gráfico pinchando el menú del gráfico, en "Customize" → "Chart & Axis title" → rellena el "Title text" con el título del gráfico → En vez de "Chart title" elige "Horizontal axis title" y rellena con R-I. Repite para el eje Y (vertical)
12. Haz clic en "Series" → "Point size" y elige la opción 2px
13. Deberías obtener un diagrama color-color como en paso 13 del procedimiento en imágenes

PROCEDIMIENTO EN IMÁGENES:

2.



3.

	AA	AB	AC	AD	AE
HASAVEF	HAVPHASAVEF	HAVPHASCLASS	R-I	R-Halpha	
0.003262	99.1738	-1			
0.004098	98.6069	-1			
0.003439	99.6647	-1			
0.004426	96.5849	-1			
0.007017	98.6581	-1			
0.007564	100.276	-1			
0.003736	100.966	-1			
0.003692	100.21	-1			
0.00588	98.824	-1			

4.

	AB	AC	AD	AE
AVPHASCLASS		R-Halpha		
-1	=Q2-U2			
-1				
-1				
-1				

5.

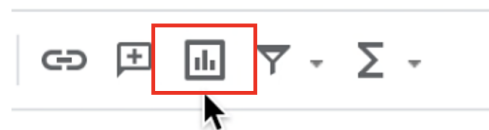
	AC	AD	AE
R-I			
-1	0.0961	=Q2-Y2	
-1	0.3324		
-1	0.1664		
-1	0.0151		
-1	0.2298		
-1	0.2257		
1	0.1588		

AA	AB	AC	AD	AE
HASAVEF	HAVPHASCLASS	R-I	R-Halpha	
100.367	-1	0.0961	0.0191	
100.395			0.1432	
99.2382			0.0994	
98.2064			-0.1031	
100.57			0.1167	
100.614			0.146	
98.9958			0.0252	
99.7286			0.0976	
101.51	-1	0.4026	0.1887	
100.824	-1	0.3342	0.1507	
99.022	-1	0.0421	0.0322	
99.1256	-1	0.2548	0.124	

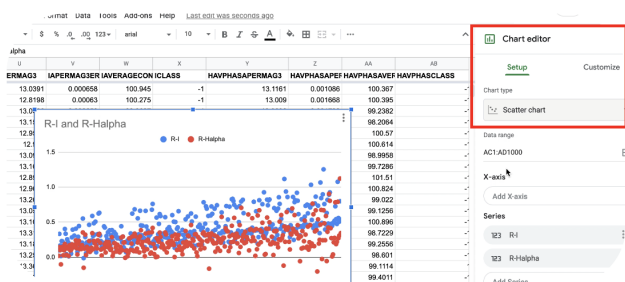
6.

AB	AC	AD	AE
HAVPHASCLASS	R-I	R-Halpha	
-1	0.0961	0.0191	
-1	0.3324	0.1432	
-1	0.1664	0.0994	
-1	0.0151	-0.1031	
-1	0.2298	0.1167	
-1	0.2257	0.146	
-1	0.1588	0.0252	
-1	0.1278	0.0976	
-1	0.4026	0.1887	
-1	0.3342	0.1507	
-1	0.0421	0.0322	
-1	0.2548	0.124	
-1	0.2161	0.1283	
-1	0.0115	0.0178	
-1	0.1903	0.169	

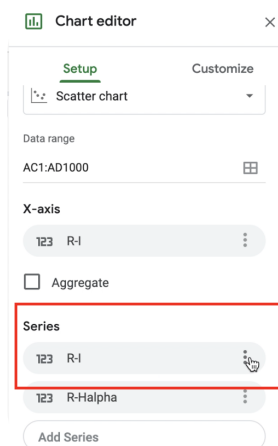
7.



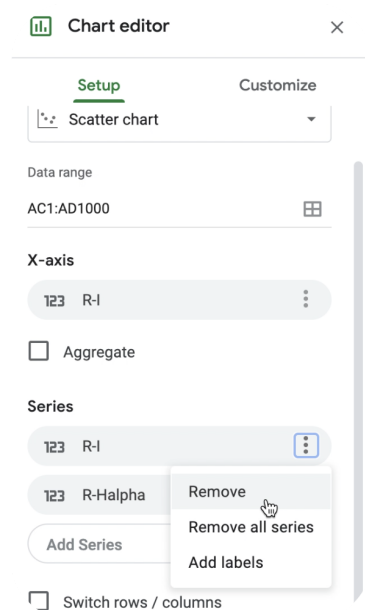
8.



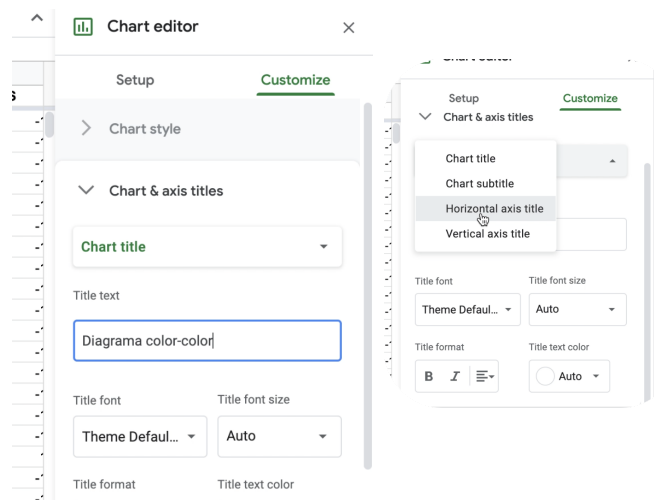
9.



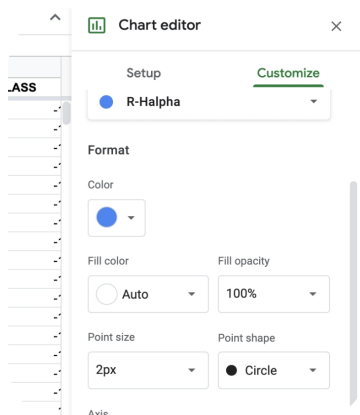
10.



11.

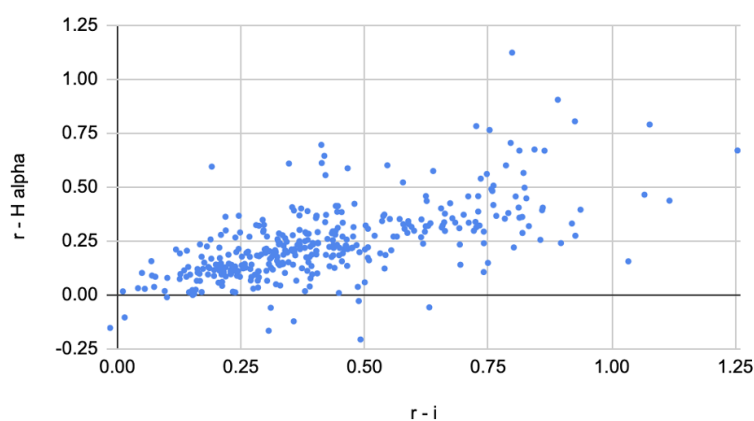


12.



13.

Diagrama color-color



Actividad 12.4.2: Con Excel

[\(Link al video tutorial\)](#)

PROCEDIMIENTO EN INSTRUCCIONES:

1. Abre la tabla "candidatos_finales", seleccionala y pégala a una nueva hoja de Excel
2. Selecciona la primera fila con los nombre de las columnas
3. Haz clic en "View" → "Freeze Top Row"
4. Añade dos columnas al final de la tabla

5. Nombrarlas “R-I” y “R-Halpha”
6. En la primera fila de la columna “R-I” en blanco escribe la expresión $= (AX - BY)$ donde:
 - A = letra de la columna “RAPERMAG3”
 - X = número de esa primera fila en blanco de columna “R-I” (debería ser la 2)
 - B = letra de la columna “IAPERMAG3”
 - Y = número de esa primera fila en blanco (debería ser 2)
 - Haz doble clic en el rincón derecho de abajo de la celda para que la expresión se aplique al resto de la columna

De este modo, se sustrae el valor de la banda i del valor de la banda r para la primera fuente, dando así el color (r-i).

7. Repite el paso 4 para la columna “R-Halpha”, esta vez para obtener el color (r-Halpha) con las correspondientes columnas
8. Selecciona ambas columnas nuevas, “R-I” y “R-Halpha”
9. Pincha sobre “Insert” y en el icono de gráficos de dispersión selecciona la primera opción
10. Haz doble clic en el título para cambiarlo
11. Para los títulos de los ejes x e y haz clic en “Add chart element” → “Axis titles” → “Primary horizontal” o “Primary vertical” y escribe el nombre de los ejes adecuado
12. Deberías obtener un diagrama color-color como el del paso 11 en el procedimiento en imágenes

PROCEDIMIENTO EN IMÁGENES:

3.

	A	B	C	D
1	IAUNAME	SOURCEID	RA2000	Dec2000
2	vphas J1043	8,1642E+11	160,84078	-59,51765
3	vphas J1043	8,1642E+11	160,94723	-59,51881
4	vphas J1043	8,1642E+11	160,92206	-59,49049
5	vphas J1043	8,1642E+11	160,94808	-59,47845
6	vphas J1043	8,1642E+11	160,96313	-59,52909
7	vphas J1043	8,1642E+11	160,94938	-59,47915

5.

Z	AA	AB	AC	AD
PHASAP	HAVPHASAP	HAVPHASCLASS	R-I	R-Halpha
,004171	98,1409		1	
,002297	99,4183		1	
,004782	100,192		1	
0,00484	100,557		1	
0,00398	99,0775		1	
,007513	100,678		1	
,004237	99,3976		1	
,00617	97,969		1	

6.

S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD
IGRAVERAGECLASS	IAPERMAG3	IAPERMAG3	IAPERMAG3	IAPERMAG3	IAPERMAG3	IAPERMAG3	IAPERMAG3	IAPERMAG3	IAPERMAG3	IAPERMAG3	IAPERMAG3
45	100,121	-1	13,0391	0,000658	100,945	-1	13,1161	0,001086	100,367	-1	=Q2-Y2
71	100,431	-1	12,8198	0,00063	100,275	-1	13,009	0,001668	100,395	-1	
77	98,6912	-1	13,0026	0,000659	99,9627	-1	13,0696	0,001732	99,2382	-1	
117	97,0351	-1	13,1588	0,000717	97,6273	-1	13,277	0,001254	98,2064	-1	
157	100,377	-1	12,9593	0,000634	101,242	-1	13,0724	0,00107	100,57	-1	
85	100,235	-1	12,979	0,000658	101,398	-1	13,0587	0,001736	100,614	-1	
95	98,3989	-1	13,0959	0,00069	100,117	-1	13,2295	0,001979	98,9958	-1	

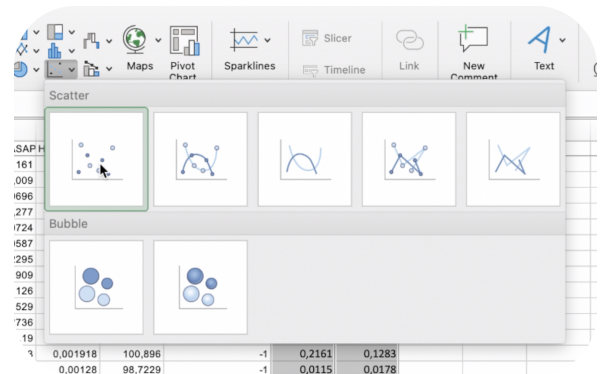
7.

	AC	AD
R-I		R-Halpha
-1	0,0961	=Q2-Y2
-1	0,3324	
-1	0,1664	
-1	0,0151	
-1	0,2298	
-1	0,2257	
	0,1588	

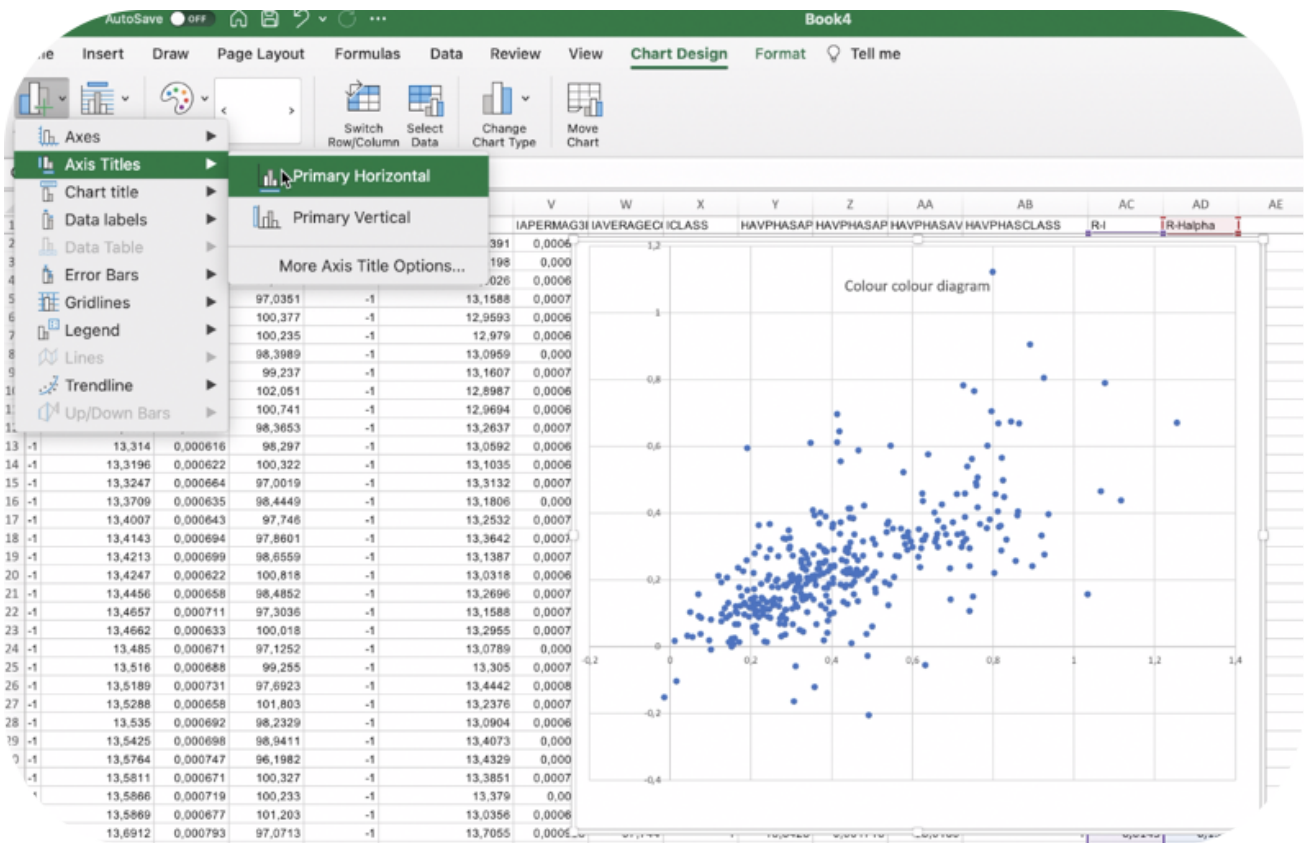
8.

	AB	AC	AD	AE
ASAV	HAVPHASCL	R-I	R-Halpha	
,1114	1	0,0501	0,1031	
,1522	1	0,0691	0,1575	
,1409	1	0,1189	0,2116	
,1553	1	0,1268	0,1934	
99,61	-1	0,1352	0,1146	
,4183	1	0,1409	0,2061	
,3118	-1	0,1435	0,1306	
,5708	-1	0,1624	0,1211	
,7002	-1	0,1627	0,1048	
0,192	1	0,1674	0,2352	
0,058	1	0,1707	0,178	
,8988	-1	0,1734	0,1218	
,1071	-1	0,176	0,151	
0,557	1	0,1814	0,2257	
527	-1	0,1842	0,131	
,4	-1	0,1864	0,1251	

9.



11.



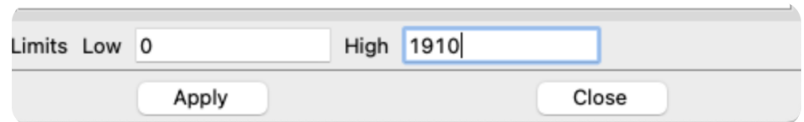
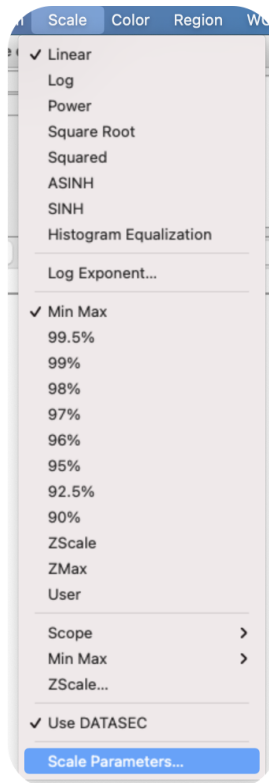
1. Comprueba si obtienes una gráfica como la Figura del paso 13 del procedimiento
2. Indica las 4 fuentes que tienen mayor emisión Halpha (Nota: recuerda que cuanto mayor es la emisión en una banda, menor es el valor de su magnitud).
3. Para estas 4 fuentes seleccionadas completa la Tabla 8 con sus coordenadas (RA, DEC) y color (r - Halpha). Obtendras esta información en la tabla de Google sheet.

(RA, DEC)	color (r - Halpha)

Tabla 8: Cuatro fuentes con mayor emisión Halpha

Actividad 12.5: Identifica fuentes del catálogo VST en el programa SAOImage DS9

1. Descargate la imagen “CarinaHalpha” en este [link](#). Esta imagen se encuentra comprimida.
2. Para poder trabajar con ella debemos descomprimirla dos veces
 - Si tu ordenador es Windows, puedes hacer uso de programas como “7ZIP” para ello
 - Si tu ordenador es un Mac, estos procesos de extracción y descompresión los puedes realizar con un sencillo doble click sobre éstos, hasta obtener el fichero con extensión *.fits
3. En SAOImage DS9 haz clic en “Frame” → “New frame”
4. Carga la imagen de Carina. Esta imagen está tomada por VST con el filtro de Halpha
5. En el menú busca “Zoom” y selecciona la opción “Align” para alinear la imagen
6. El color en el que ves tu imagen es en blanco y negro (opcion “greyscale”). Esto lo puedes regular en el menú en “Scale” → “Scale parameters”. Introduce en el límite superior (recuadro “High”) el valor 1910 y “Apply”



7. Selecciona en el menu la opcion “Analysis” → “Catalog tool” y
“candidatos_finales.VOT” ([link al fichero](#)) que contiene todas las fuentes
8. Asegurate de que seleccionas RA2000 and Dec2000 en los simbolos α y δ . Ignora cualquier mensaje de error. Veras dibujadas las fuentes sobre la imagen

able

Filter Edit

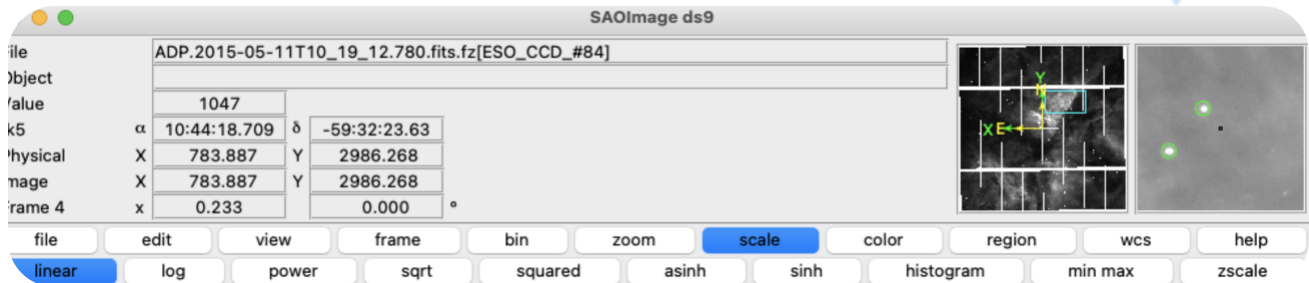
Sort ☒ Increase ☐ Decrease

Max Rows 5000 Found 360

α δ fk5

AUNAME	SOURCEID	RA2000	Dec2000	UAPERMAG3
vphas J104408.59-592941.97	816087678993	161.03578	-59.49499	19.5647
vphas J104325.86-593114.05	816419997505	160.85776	-59.52057	17.3291
vphas J104429.01-593054.42	816420006794	161.12089	-59.51512	14.5635
phas J104425.43-593227.44	816087678555	161.10594	-59.54095	19.2309

9. Pincha en “Analysis” → “Coordinate Grid”. Esto te ayudará a encontrar las fuentes más fácilmente. Si pasas el ratón por encima de las fuentes verás una versión ampliada a la derecha.



Ahora has de identificar las cuatros fuentes con mayor emisión Halpha en esta imagen. Para ello, utiliza las coordenadas que apuntaste antes y conviértelas de grados a horas, minutos, segundos y grados, minutos de arco, segundos de arco. Aquí tienes el cómo se hace:

¿Cómo convertir la ascensión recta (RA) de grados a (hh, mm, ss)?	¿Cómo convertir la declinación (DEC) de grados a (grados, minutos de arco, segundos de arco)?
1. Para dividir la coordenada de ascensión recta (RA) de grados a horas, puedes dividir el número de grados por 15. (Nota: esto es debido a que 360 grados son 24h) 2. Obtenemos un número decimal de horas 2.1. La parte entera del número son	1. Obtenemos un número decimal de grados 1.1. La parte entera del número son los grados 1.2. La parte decimal del número de grados, la pasamos a minutos de

las horas 2.2. La parte decimal del número de horas, la pasamos a minutos multiplicando por 60 (Nota: 1 hora son 60 minutos) 2.3. La parte decimal del número de minutos, la pasamos a segundos multiplicando por 60 (Nota: 1 minuto son 60 segundos) Ejemplo: 161.85776° $\frac{161.85776}{15} = 10.7905173 \rightarrow 10 \text{ h}$ $0.7905173 \times 60 = 47.43104 \rightarrow 47 \text{ min}$ $0.43104 \times 60 = 25.8624 \rightarrow 25.8 \text{ s}$ 161.85776° = 10h 47m 25.8 s	arco multiplicando por 60 (Nota: 1 grado son 60 minutos de arco) 1.3. La parte decimal del número de minutos de arco, la pasamos a segundos de arco multiplicando por 60 (Nota: 1 minuto de arco son 60 segundos de arco) Ejemplo: -59.52057° -59° $0.52057 \times 60 = 31.2342 \rightarrow 31 \text{ arcmin}$ $0.2342 \times 60 = 14.052 \rightarrow 14.052 \text{ arcsec}$
---	---

Rellena la Tabla 9 con la información necesaria sobre las 4 fuentes que has encontrado con mayor emisión Halpha.

Fuente	Color (r - Halpha)	RA (grados)	DEC (grados)	RA (hh, mm, ss)	DEC (°, ', ")
A					
B					
C					
D					

Tabla 9: Información sobre las cuatro fuentes con mayor emisión Halpha

Actividad 12.6: Refina la selección de candidatos a estrellas TTauri clásicas a partir del color (r-Halpha)

La Actividad 12.6 está dividida en tres partes.

Actividad 12.6.1: Parte 1

Acabamos de seleccionar posibles estrellas T Tauri clásicas basándonos en las magnitudes del catálogo de VST y hemos identificado cuatro de ellas en la imagen de Halpha.

El siguiente criterio que vamos a aplicar para afinar la selección de protoestrellas que se encuentran en proceso de acreción, es el buscar un valor de emisión de Halpha concreto. Para ello emplearemos el diagrama color-color de la [Actividad 12.4](#). Aquellas fuentes con mayor color (r - Halpha) tendrán una mayor emisión de Halpha (Nota: Recuerda que cuanto menor es el valor de una magnitud más brillante es el objeto en esa banda).

El color de las estrellas sigue una función específica llamada “curva de extinción”.

La extinción de la luz se refiere a la absorción de radiación electromagnética que proviene de objetos astronómicos. El gas y polvo interestelar que se encuentra entre el objeto y el observador absorbe parte de la luz. En el visible, la luz azul se ve más afectada por la extinción que la roja, resultando pues en que los objetos parecen más enrojecidos de lo normal. Por ello, este efecto también es conocido como “enrojecimiento interestelar”.

La curva de extinción o enrojecimiento define el límite de color (r - H-alpha) para nuestras estrellas T Tauri clásicas. Añade esta curva al diagrama color-color usando los datos de la tabla “reddening-curve”. Para ello sigue el procedimiento en instrucciones o en imágenes:

Actividad 12.6.1.1: Con Google Sheets

[\(Link al video tutorial\)](#)

PROCEDIMIENTO EN INSTRUCCIONES:

1. Abre el fichero “[reddening-curve](#)” en Google Sheets.
2. Copia la columna r-i y pegala al final de tu columna R-I en el documento “candidatos_finales”, dejando una fila en blanco entre medio.
3. Selecciona la columna r-Halpha del fichero “reddening-curve”. Copiala y pegala a una nueva columna a la derecha de tu columna R-Halpha en “candidatos_finales”. Nombra esta nueva columna “curva”.
4. Selecciona las tres columnas “R-I”, “R-Halpha” y “curva”
5. Haz clic en el icono de gráficos
6. Selecciona la opción “Scatter plot”
7. Para el eje X selecciona “R-I”
8. Para el eje Y, elimina la serie “R-I”
9. Personaliza los puntos de datos haciendo clic en “Customize” → “Series” → selecciona R-Halpha → “Point Size”: 2px → cambia R-Halpha por Data series 2 → “Point Shape”: square
10. Deberías obtener un diagrama como el del paso 9 en el procedimiento en Imágenes.

PROCEDIMIENTO EN IMÁGENES:

1.

reddening-curve

File Edit View Insert Format Data Tools Add-ons Help Last edit was seconds ago

100% 123 Default (ArL) 10 B I A

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	r-I	r-Halpha							
2	0.1000124366	0.1108695652							
3	0.1926624216	0.08695652174							
4	0.264724903	0.06956521739							
5	0.3093771764	0.09565217391							
6	0.3712018705	0.1304347826							
7	0.4742463436	0.1913043478							
8	0.549825888	0.247826087							
9	0.6082230624	0.2869565217							
10	0.6734852254	0.3260869565							
11	0.7971395881	0.4							
12	0.8932941996	0.4391304348							
13	1.01348622	0.4869565217							
14	1.109650781	0.5347826087							
15	1.205812854	0.5804347826							
16	1.295097503	0.6152173913							
17	1.408409611	0.65							
18	1.514861705	0.6891304348							
19	1.590398965	0.7086956522							
20	1.669376181	0.7347826087							
21	1.78958253	0.7739130435							
22	1.875395483	0.7956521739							
23	1.954347826	0.8							
24	2.026435181	0.8043478261							
25	2.098522535	0.8086956522							

Sheet1

2.

reddening-curve

File Edit View Insert Format Data Tools Add-ons Help Last edit was seconds ago

100% 123 Default (ArL) 10 B I A

A2:A25 = 0.1000124366/73475

1	A	B	C	D
1	r-I	r-Halpha		
2	0.1000124366	0.1108695652		
3	0.1926624216	0.08695652174		
4	0.264724903	0.06956521739		
5	0.3093771764	0.09565217391		
6	0.3712018705	0.1304347826		
7	0.4742463436	0.1913043478		
8	0.549825888	0.247826087		
9	0.6082230624	0.2869565217		
10	0.6734852254	0.3260869565		
11	0.7971395881	0.4		
12	0.8932941996	0.4391304348		
13	1.01348622	0.4869565217		
14	1.109650781	0.5347826087		
15	1.205812854	0.5804347826		
16	1.295097503	0.6152173913		
17	1.408409611	0.65		
18	1.514861705	0.6891304348		
19	1.590398965	0.7086956522		
20	1.669376181	0.7347826087		
21	1.78958253	0.7739130435		
22	1.875395483	0.7956521739		
23	1.954347826	0.8		
24	2.026435181	0.8043478261		
25	2.098522535	0.8086956522		

Sheet1

AB	AC	AD
HAVPHASCLASS	R-I	R-Halpha
-1	0.4741	0.2181
1	1.0768	0.7902
-1	0.5587	0.2715
1	0.5071	0.3075
-1	0.7986	1.1232
-1	0.5357	0.3431
	0.1000124366	
	0.1926624216	
	0.264724903	
	0.3093771764	
	0.3712018705	
	0.4742463436	
	0.549825888	
	0.6082230624	
	0.6734852254	
	0.7971395881	
	0.8932941996	
	1.01348622	
	1.109650781	
	1.205812854	
	1.295097503	
	1.408409611	
	1.514861705	
	1.590398965	

3.

reddening-curve

File Edit View Insert Format Data Tools Add-ons Help Last edit was seconds ago

100% 123 Default (ArL) 10 B I A

B2:B25 = 0.1108695652/739

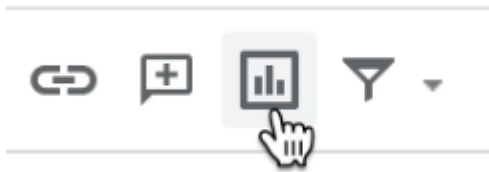
1	A	B	C	D
1	r-I	r-Halpha		
2	0.1000124366	0.1108695652		
3	0.1926624216	0.08695652174		
4	0.264724903	0.06956521739		
5	0.3093771764	0.09565217391		
6	0.3712018705	0.1304347826		
7	0.4742463436	0.1913043478		
8	0.549825888	0.247826087		
9	0.6082230624	0.2869565217		
10	0.6734852254	0.3260869565		
11	0.7971395881	0.4		
12	0.8932941996	0.4391304348		
13	1.01348622	0.4869565217		
14	1.109650781	0.5347826087		
15	1.205812854	0.5804347826		
16	1.295097503	0.6152173913		
17	1.408409611	0.65		
18	1.514861705	0.6891304348		
19	1.590398965	0.7086956522		
20	1.669376181	0.7347826087		
21	1.78958253	0.7739130435		
22	1.875395483	0.7956521739		
23	1.954347826	0.8		
24	2.026435181	0.8043478261		
25	2.098522535	0.8086956522		

	AC	AD	AE
R-I	R-Halpha	curva	
-1	0.4741	0.2181	
1	1.0768	0.7902	
-1	0.5587	0.2715	
1	0.5071	0.3075	
-1	0.7986	1.1232	
-1	0.5357	0.3431	
	0.1000124366	0.1108695652	
	0.1926624216	0.08695652174	
	0.264724903	0.06956521739	
	0.3093771764	0.09565217391	
	0.3712018705	0.1304347826	
	0.4742463436	0.1913043478	
	0.549825888	0.247826087	
	0.6082230624	0.2869565217	
	0.6734852254	0.3260869565	
	0.7971395881	0.4	
	0.8932941996	0.4391304348	
	1.01348622	0.4869565217	
	1.109650781	0.5347826087	
	1.205812854	0.5804347826	
	1.295097503	0.6152173913	
	1.408409611	0.65	
	1.514861705	0.6891304348	
	1.590398965	0.7086956522	

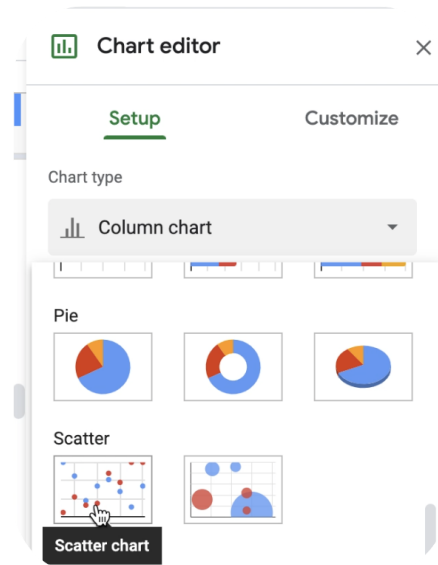
4.

	AC	AD	AE
SS	R-I	R-Halpha	curva
-1	0.4741	0.2181	
1	1.0768	0.7902	
-1	0.5587	0.2715	
1	0.5071	0.3075	
-1	0.7986	1.1232	
-1	0.5357	0.3431	
	0.1000124366	0.1108695652	
	0.1926624216	0.08695652174	
	0.264724903	0.06956521739	
	0.3093771764	0.09565217391	
	0.3712018705	0.1304347826	
	0.4742463436	0.1913043478	
	0.549825888	0.247826087	
	0.6082230624	0.2869565217	
	0.6734852254	0.3260869565	
	0.7971395881	0.4	
	0.8932941996	0.4391304348	
	1.01348622	0.4869565217	
	1.109650781	0.5347826087	
	1.205812854	0.5804347826	
	1.295097503	0.6152173913	
	1.408409611	0.65	
	1.514861705	0.6891304348	
	1.590398965	0.7086956522	

5.



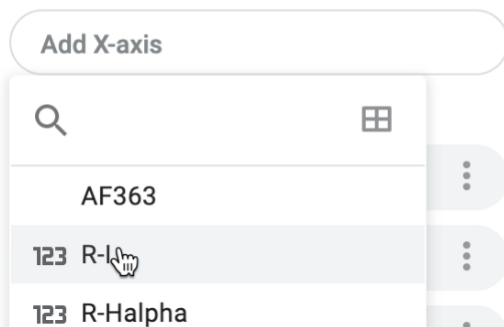
6.



7.

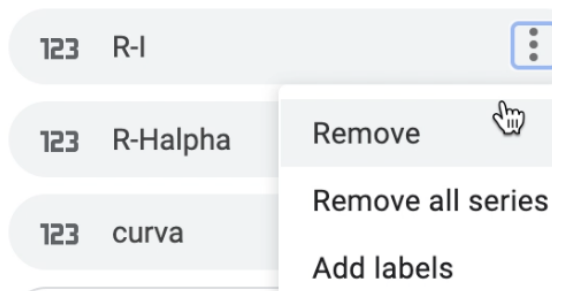
Horizontally

X-axis

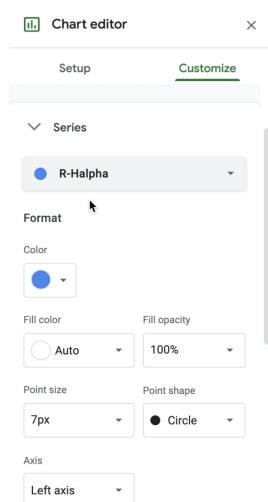


8.

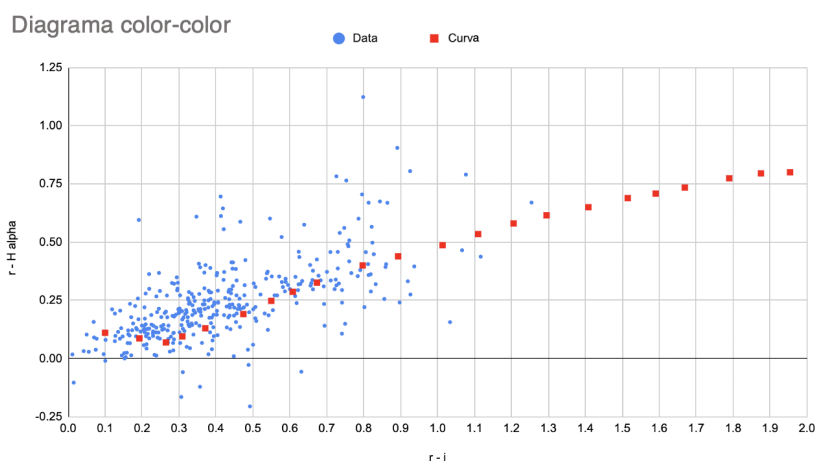
Series



9.



10.



Actividad 12.6.1.2.: Con Excel

[\(Link al video tutorial\)](#)

PROCEDIMIENTO EN INSTRUCCIONES:

1. Descarga el fichero “[reddening curve](#)” en tu ordenador y ábrelo con Excel
2. Copia la columna r-i y copiala al final de tu columna R-I en “candidates_final” dejando una fila en blanco
3. Copia la columna “r-Halpha” en el fichero “reddening curve”. En tu tabla de “candidates_final” añade una nueva columna al final llamada “curve” y pega los datos que has copiado
4. Selecciona las columnas R-I y R-Halpha de tu “candidates_final” sin seleccionar los nuevos datos que has insertado de “reddening curve”
5. Haz clic en “Insert” → selecciona la opción de gráfico de dispersión → la primera opción. Deberías obtener el diagrama color-color de r-Halpha en función de r-i
6. Haz clic en “Select data”
7. En la ventana que aparezca, haz clic en el símbolo “+” para añadir una nueva serie de datos a tu diagrama
 - 7.1. Para los valores de x, pincha sobre el espacio llamado “x values”, seguidamente en tu tabla selecciona los valores que has añadido de



“reddening curve” a la columna r-i. Pincha sobre la primera celda y arrastra hacia abajo para seleccionarlos todos

7.2. Vuelve a la ventana y pincha en el espacio llamado “y values”. Vuelve a tu tabla y esta vez selecciona los datos de la columna “curve”

7.3. Haz clic en “OK”

8. Deberías obtener un diagrama color color con la curva de enrojecimiento

9. Para nombrar los datos y la curva, haz clic en “Select data”

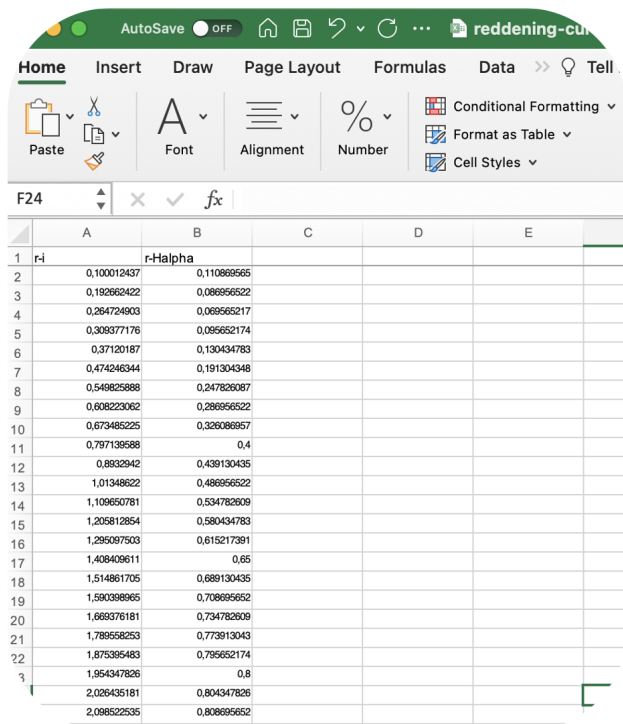
9.1. Selecciona la “Series 1” y escribe el nombre “Data points”

9.2. Haz lo mismo para la “Series 2” y escribir “curve”

10. Deberías obtener un diagrama como el de la imagen 10 en el procedimiento en imágenes

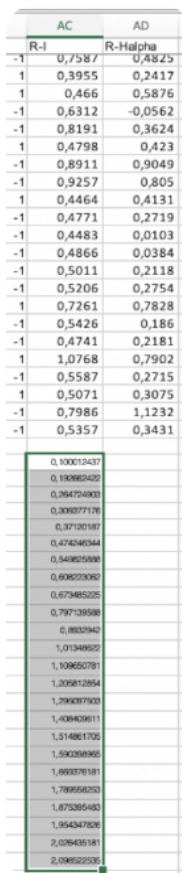
PROCEDIMIENTO EN IMAGENES::

1.



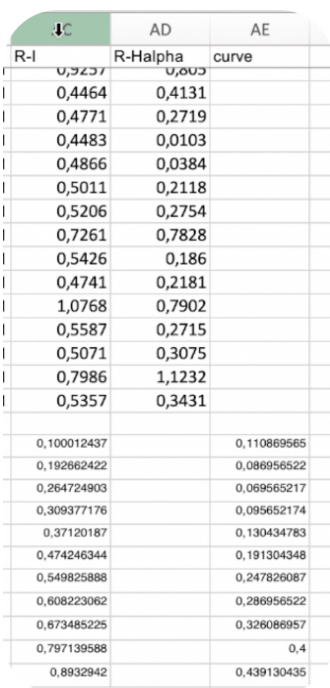
	A	B	C	D	E
1	r-I	r-Halphi			
2	0,100012437	0,110869565			
3	0,192662422	0,086956522			
4	0,264724903	0,069565217			
5	0,309377176	0,095652174			
6	0,37120187	0,130434783			
7	0,474246344	0,191304348			
8	0,549825888	0,247826087			
9	0,608223062	0,286956522			
10	0,673485225	0,326086957			
11	0,797139588	0,4			
12	0,8932942	0,439130435			
13	1,01348622	0,486956522			
14	1,109650781	0,534782609			
15	1,205812854	0,580434783			
16	1,295097503	0,615217391			
17	1,408409611	0,65			
18	1,514861705	0,689130435			
19	1,590398965	0,708695652			
20	1,669376181	0,734782609			
21	1,789558253	0,773913043			
22	1,875395483	0,795652174			
23	1,954347826	0,8			
24	2,026435181	0,804347826			
25	2,098522535	0,808695652			

2.



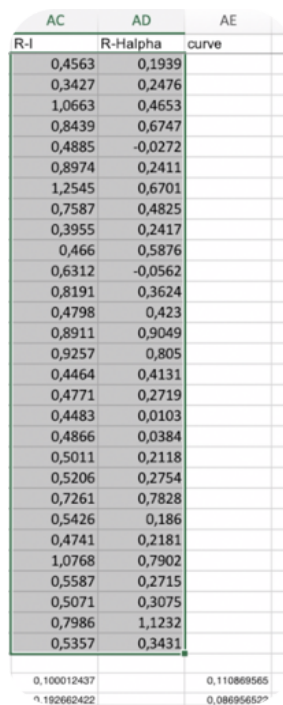
	AC	AD
R-I	R-Halphi	
-1	0,7587	0,4825
1	0,3955	0,2417
1	0,466	0,5876
-1	0,6312	-0,0562
-1	0,8191	0,3624
1	0,4798	0,423
-1	0,8911	0,9049
-1	0,9257	0,805
1	0,4464	0,4131
-1	0,4771	0,2719
-1	0,4483	0,0103
-1	0,4866	0,0384
-1	0,5011	0,2118
-1	0,5206	0,2754
1	0,7261	0,7828
-1	0,5426	0,186
-1	0,4741	0,2181
1	1,0768	0,7902
-1	0,5587	0,2715
1	0,5071	0,3075
-1	0,7986	1,1232
-1	0,5357	0,3431

3.



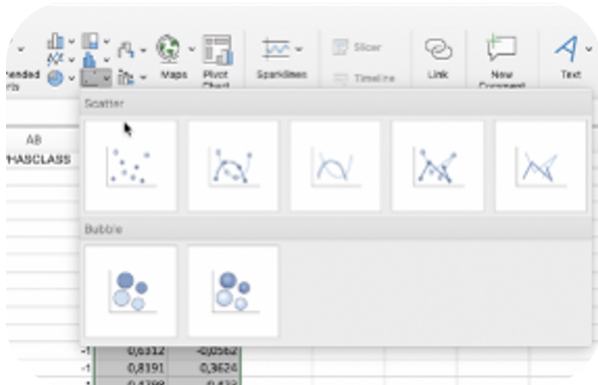
	AC	AD	AE
R-I	R-Halphi	curve	
-1	0,7587	0,4825	
1	0,4464	0,4131	
1	0,4771	0,2719	
1	0,4483	0,0103	
1	0,4866	0,0384	
1	0,5011	0,2118	
1	0,5206	0,2754	
1	0,7261	0,7828	
1	0,5426	0,186	
1	0,4741	0,2181	
1	1,0768	0,7902	
1	0,5587	0,2715	
1	0,5071	0,3075	
1	0,7986	1,1232	
1	0,5357	0,3431	
	0,100012437		0,110869565
	0,192662422		0,086956522
	0,264724903		0,069565217
	0,309377176		0,095652174
	0,37120187		0,130434783
	0,474246344		0,191304348
	0,549825888		0,247826087
	0,608223062		0,286956522
	0,673485225		0,326086957
	0,797139588		0,4
	0,8932942		0,439130435

4.

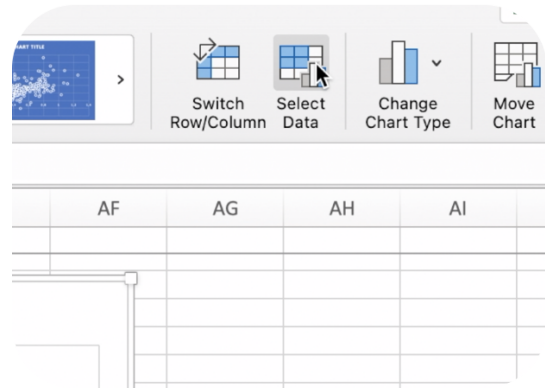


	AC	AD	AE
R-I	R-Halphi	curve	
	0,4563	0,1939	
	0,3427	0,2476	
	1,0663	0,4653	
	0,8439	0,6747	
	0,4885	-0,0272	
	0,8974	0,2411	
	1,2545	0,6701	
	0,7587	0,4825	
	0,3955	0,2417	
	0,466	0,5876	
	0,6312	-0,0562	
	0,8191	0,3624	
	0,4798	0,423	
	0,8911	0,9049	
	0,9257	0,805	
	0,4464	0,4131	
	0,4771	0,2719	
	0,4483	0,0103	
	0,4866	0,0384	
	0,5011	0,2118	
	0,5206	0,2754	
	0,7261	0,7828	
	0,5426	0,186	
	0,4741	0,2181	
	1,0768	0,7902	
	0,5587	0,2715	
	0,5071	0,3075	
	0,7986	1,1232	
	0,5357	0,3431	
	0,100012437		0,110869565
	0,192662422		0,086956522

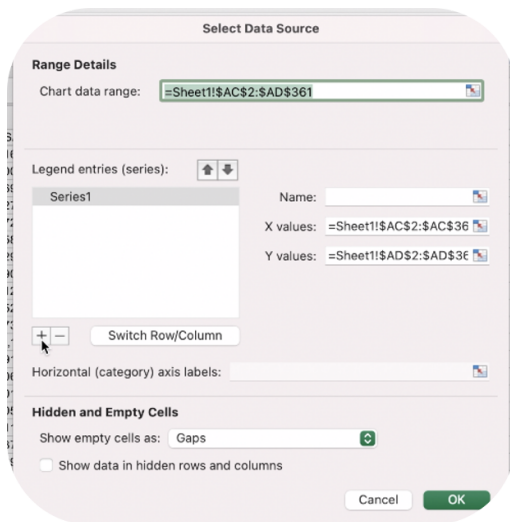
5.



6.



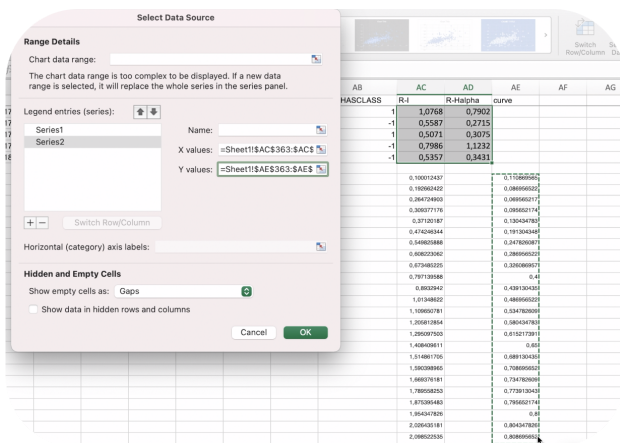
7.



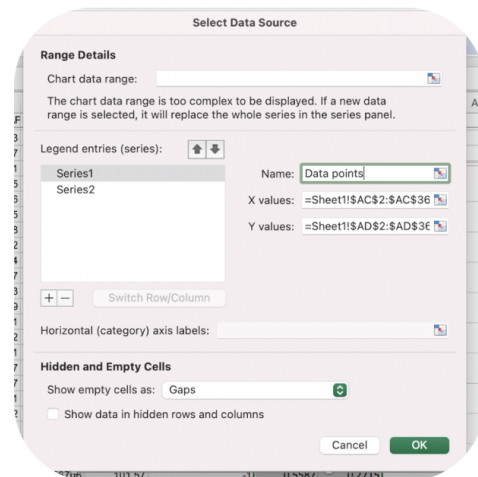
7.1

	AC	AD	AE
R-1	R-Halphi		curve
	1,0768	0,7902	
	0,5587	0,2715	
	0,5071	0,3075	
	0,7986	1,1232	
	0,5357	0,3431	
	0,100012437		0,110869565
	0,192662422		0,086956522
	0,264724903		0,069565217
	0,309377176		0,095652174
	0,37120187		0,130434783
	0,474246344		0,191304348
	0,549825888		0,247826087
	0,608223062		0,286956522
	0,673485225		0,326086957
	0,797139588		0,4
	0,8932942		0,439130435
	1,01348622		0,486956522
	1,109650781		0,534782609
	1,205812854		0,580434783
	1,295097503		0,615217391
	1,408409611		0,65
	1,514861705		0,689130435
	1,590398965		0,708695652
	1,663376181		0,734782609
	1,789558253		0,773913043
	1,875395483		0,795652174
	1,954347826		0,8
	2,026435181		0,804347826
	2,098522525		0,808695652

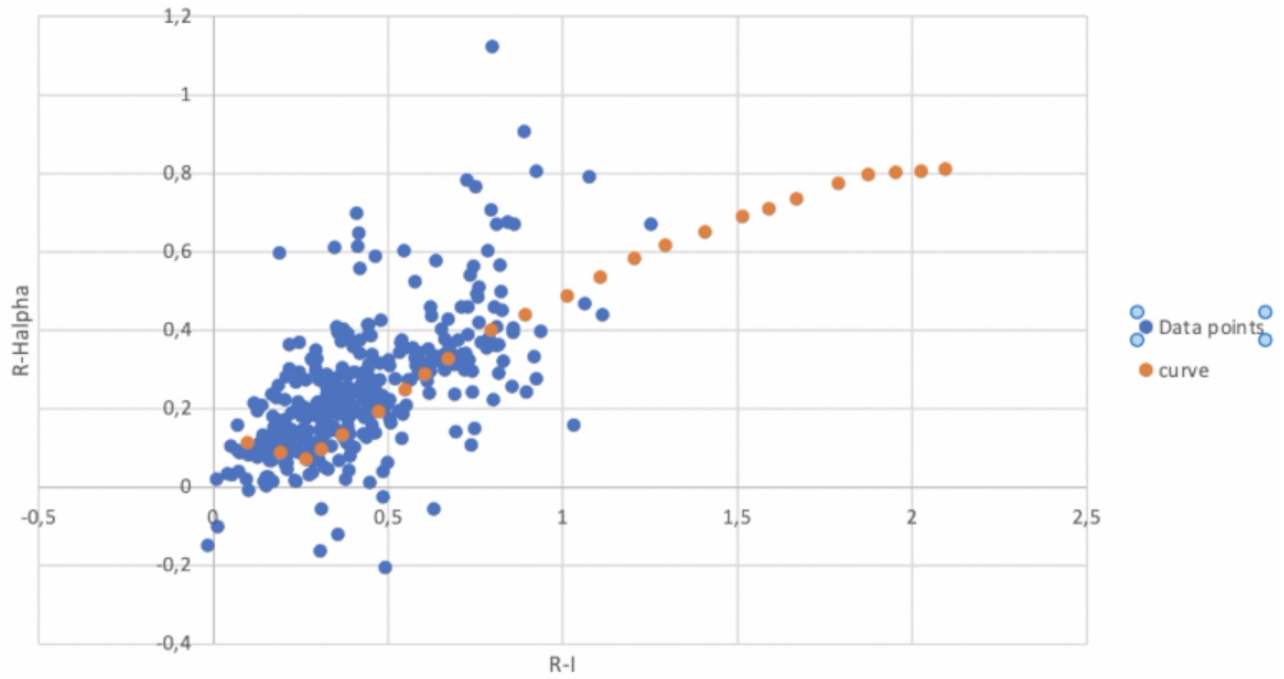
7.2



9.1



10.



La curva de enrojecimiento define el límite de color ($r-H\alpha$) para nuestras estrellas T Tauri clásicas. Aquellas fuentes que tengan un color ($r-H\alpha$) mayor que el límite indicado por la curva tendrán lo que se denomina como *exceso de ($r-H\alpha$)* según la siguiente ecuación:

$$(r - H\alpha)_{\text{exceso}} = (r - H\alpha)_{\text{observado}} - (r - H\alpha)_{\text{modelo}} \quad \text{(Ecuación 10)}$$

donde el color ($r-H\alpha$) observado son los colores obtenidos del catálogo, los símbolos azules en el diagrama, y el color ($r-H\alpha$) modelo es la curva roja.

Actividad 12.6.2: Parte 2

1. Calcula el exceso de color ($r-H\alpha$) para la fuente con mayor emisión de $r-H\alpha$. Para ello, sigue este procedimiento:

- 1.1. Encuentra el color ($r-H\alpha$) observado

- 1.2. Encuentra el color ($r-H\alpha$) modelo

- 1.3. Sustraer el resultado del valor del modelo al del observado

Actividad 12.6.2.1: Con Google Sheets

[\(Link al video tutorial\)](#)

2. Calcula el exceso para cada una de las fuentes que tienen un color por encima de la curva de enrojecimiento. Pista: Filtra primero dichas fuentes.
 - 2.1. Si miras el diagrama color-color que has obtenido, verás que aquellas fuentes con color ($r-i$) entre 0.0 y 0.2 tienen que tener un color ($r-H\alpha$) > 0.1 para estar encima de la curva. Usaremos este tipo de condiciones para la selección de fuentes
 - 2.2. Abre el fichero en Google Sheet de las 361 fuentes, llamada “candidatos_finales.xls”
 - 2.3. Haz clic en “Filtro”
 - 2.4. El punto mínimo de la curva tiene coordenadas (0.26, 0.069) por lo tanto ya podemos quitar todas las fuentes que tengan $(R-H\alpha) < 0.069$. Añade este filtro a tu columna de ($R-H\alpha$) haciendo clic sobre el símbolo de filtrar y luego en “Filter by condition” $\rightarrow$ “Greater than”, y escribiendo 0.069
 - 2.5. Pincha con el botón derecho en la columna ($R-I$) y haz clic en “Ordenar columna A $\rightarrow$ Z”
 - 2.6. Para $0 < r-i < 0.2$ selecciona toda las filas que tengan $r-H\alpha < 0.1$, deberían haber 10 filas que cumplan esto y deshazte de ellas haciendo clic en “Edit” $\rightarrow$ “delete selected rows”
 - 2.7. Para $0.2 < r-i < 0.3$ elimina las fuentes con $r-H\alpha < 0.095$ (6 fuentes)
 - 2.8. Para $0.3 < r-i < 0.4$ elimina las fuentes con $r-H\alpha < 0.13$, (8 fuentes)
 - 2.9. Para $0.4 < r-i < 0.5$ elimina las fuentes con $r-H\alpha < 0.19$, (10 fuentes)
 - 2.10. Para $0.5 < r-i < 0.6$ elimina las fuentes con $r-H\alpha < 0.25$, (8 fuentes)
 - 2.11. Para $0.6 < r-i < 0.7$ elimina las fuentes con $r-H\alpha < 0.37$, (17 fuentes)
 - 2.12. Para $0.7 < r-i < 0.8$ elimina las fuentes con $r-H\alpha < 0.4$, (14 fuentes)
 - 2.13. Para $0.8 < r-i < 0.9$ elimina las fuentes con $r-H\alpha < 0.45$, (11 fuentes)
 - 2.14. Para $0.9 < r-i < 2.0$ elimina las fuentes con $r-H\alpha < 0.62$, (6 fuentes)

- 2.15. Copia esta tabla a una hoja de cálculo nueva. Deberían quedar 231 fuentes.
- 2.16. Vuelve a dibujar el diagrama color-color con las fuentes restantes y la curva de enrojecimiento. Todas las fuentes deberían tener color (r-Halpha) por encima de la curva
- 2.17. Salva este fichero solución con el nombre de “candidatos_finales_R-Halpha.xls”

Deberías obtener un diagrama como este:

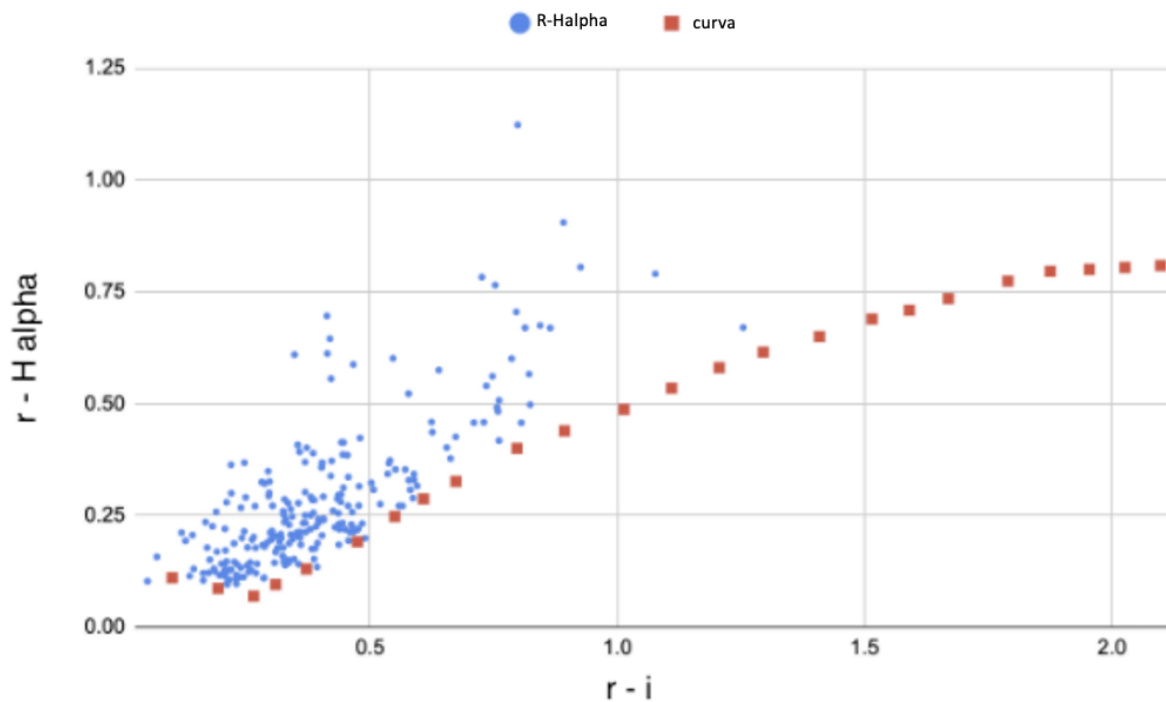


Figura 95)a): Diagrama color-color con fuentes con colores (r-Halpha) por encima de la curva de enrojecimiento obtenido con Google Sheets

Actividad 12.6.2.2: Con Excel

[\(Link al video tutorial\)](#)

PROCEDIMIENTO EN INSTRUCCIONES:

1. Selecciona la tabla entera haciendo clic en la esquina arriba a la izquierda del tood
2. Si miras el diagrama color-color que has obtenido, verás que aquellas fuentes con color (r-i) entre 0.0 y 0.2 tienen que tener un color (r-Halpha) > 0.1 para estar encima de la curva. Usaremos este tipo de condiciones para la selección de fuentes
 - 2.1. Haz clic en “Sort & Filter” → “Filter”
 - 2.2. El punto mínimo de la curva tiene coordenadas (0.26, 0.069) por lo tanto ya podemos quitar todas las fuentes que tengan (R-Halpha) < 0.069 . Añade este filtro a tu columna de (R-Halpha) haciendo clic sobre el símbolo de filtrar → Elige “Greater than” → escribe 0,069 → “Apply filter” → cierra la ventana
 - 2.3. Selecciona la columna (R-I) y haz clic en “Sort & Filter” → “Sort smallest to largest” → “Sort”
 - 2.4. Para $0 < r-i < 0.2$ selecciona toda las filas que tengan r-Halpha <0.1 , deberían haber 10 filas que cumplan esto y deshazte de ellas haciendo clic en “Delete” → “Delete Table Rows”
 - 2.5. Para $0.2 < r-i < 0.3$ elimina las fuentes con r-Halpha <0.095 (6 fuentes)
 - 2.6. Para $0.3 < r-i < 0.4$ elimina las fuentes con r-Halpha <0.13 , (8 fuentes)
 - 2.7. Para $0.4 < r-i < 0.5$ elimina las fuentes con r-Halpha <0.19 , (10 fuentes)
 - 2.8. Para $0.5 < r-i < 0.6$ elimina las fuentes con r-Halpha <0.25 , (8 fuentes)
 - 2.9. Para $0.6 < r-i < 0.7$ elimina las fuentes con r-Halpha <0.37 , (17 fuentes)
 - 2.10. Para $0.7 < r-i < 0.8$ elimina las fuentes con r-Halpha <0.4 , (14 fuentes)
 - 2.11. Para $0.8 < r-i < 0.9$ elimina las fuentes con r-Halpha <0.45 , (11 fuentes)
 - 2.12. Para $0.9 < r-i < 2.0$ elimina las fuentes con r-Halpha <0.62 , (6 fuentes)
 - 2.13. Copia esta tabla a una hoja de cálculo nueva. Deberían quedar 231 fuentes.

- 2.14. Vuelve a dibujar el diagrama color-color con las fuentes restantes y la curva de enrojecimiento. Todas las fuentes deberían tener color (r-Halpha) por encima de la curva
- 2.15. Salva este fichero solución con el nombre de “candidatos_finales_R-Halpha.xls”

Deberías obtener el siguiente diagrama:

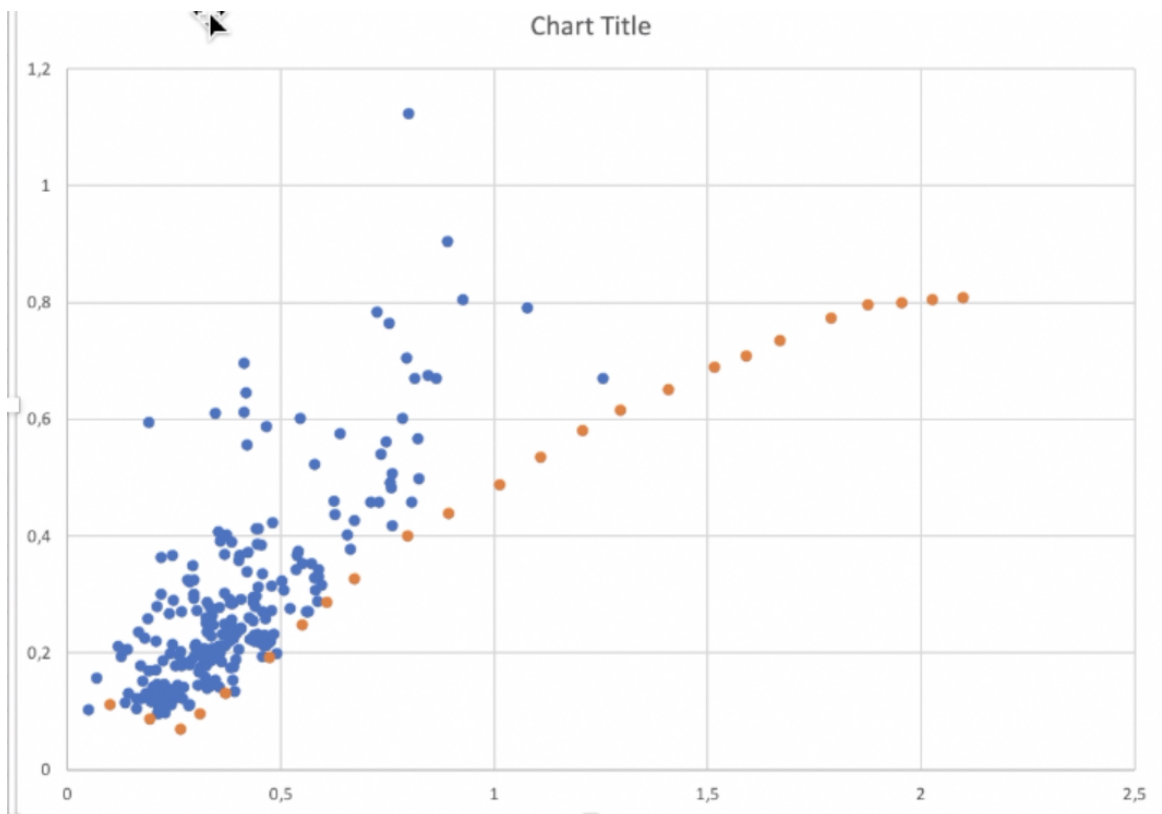
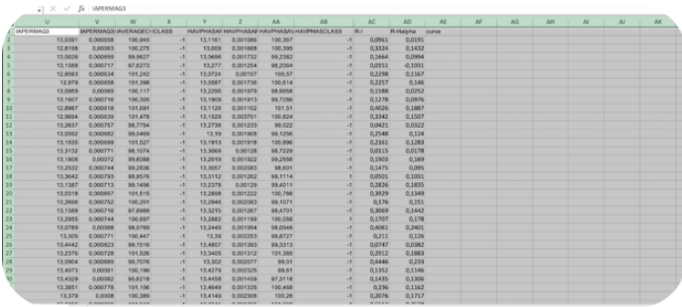


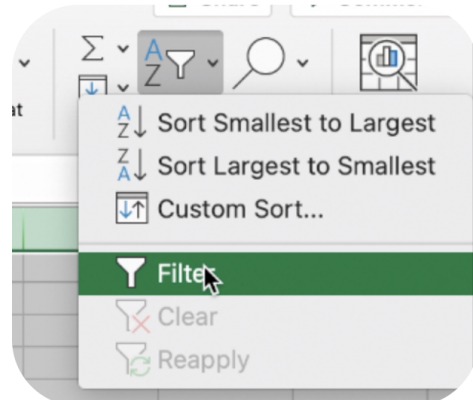
Figura 95)a): Diagrama color-color con fuentes con colores (r-Halpha) por encima de la curva de enrojecimiento obtenido con Excel

PROCEDIMIENTO EN IMÁGENES:

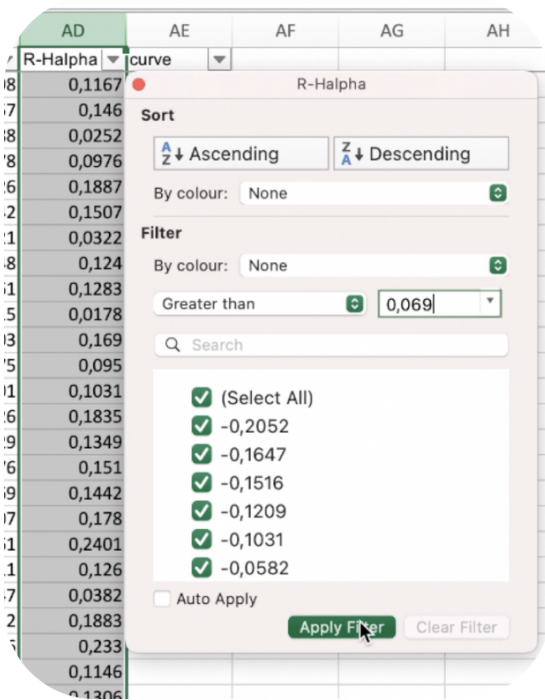
2.



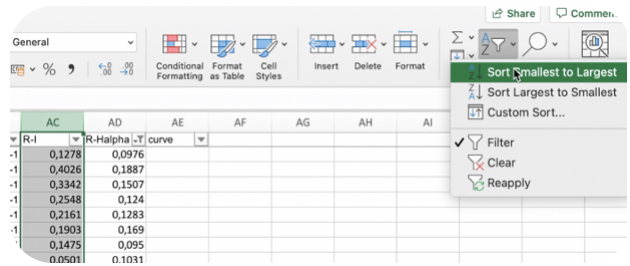
3.1



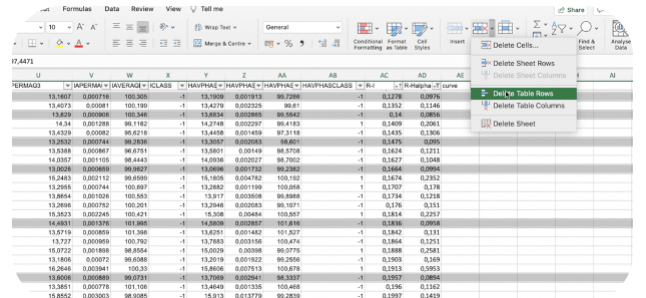
3.2



3.3



3.4



Actividad 12.6.3: Parte 3

Actividad 12.6.3.1: Con Google Sheet

[\(Link al video tutorial\)](#)

1. Calcula el exceso de (r-Halpha) de las fuentes teniendo en cuenta su color (r-i). Esto lo vamos a conseguir, dividiendo la curva de enrojecimiento en distintas ecuaciones extraídas de la Figura 95, según los rangos (r-i) que la definen.

$$rc1 = (r - H\alpha) - 0.1$$

$$rc2 = (r - H\alpha) - 0.095$$

$$rc3 = (r - H\alpha) - 0.13$$

$$rc4 = (r - H\alpha) - 0.19$$

$$rc5 = (r - H\alpha) - 0.25$$

$$rc6 = (r - H\alpha) - 0.37$$

$$rc7 = (r - H\alpha) - 0.4$$

$$rc8 = (r - H\alpha) - 0.45$$

$$rc9 = (r - H\alpha) - 0.62$$

Para ello, sigue este procedimiento. (Nota: cuando pone “ADX”, la X equivale al número de la fila, por ejemplo AD2 es la columna AD, y la fila 2)

2. Toma de referencia el fichero Google Sheet “candidatos_finales_R-Halpha.xls”
 - 2.1. Vamos a fijarnos en los rangos de (r-i) y a cada uno de ellos le aplicaremos un criterio en nuevas columnas
 - 2.2. Añade una nueva columna al fichero para el rango $0 < (r-i) < 0.2$
 - 2.3. Escribe la función de rc1, en la casilla AF2. Esta función la podemos aproximar a $(AD2-0.1)$.
 - 2.4. Arrastra esta función para el rango $0 < (r-i) < 0.2$
 - 2.5. Añade una nueva columna al fichero para el rango $0.2 < (r-i) < 0.3$
 - 2.6. Escribe la función de rc2, en la casilla AGX. Esta función la podemos aproximar a $(ADX-0.095)$
 - 2.7. Arrastra esta función para el rango $0.2 < (r-i) < 0.3$

- 2.8. Añade una nueva columna al fichero para el rango $0.3 < (r-i) < 0.4$
- 2.9. Escribe la función rc3, en la casilla AHX. Esta función la podemos aproximar a (ADX-0.13)
- 2.10. Arrastra esta función para el rango $0.3 < (r-i) < 0.4$
- 2.11. Añade una nueva columna al fichero para el rango $0.4 < (r-i) < 0.5$
- 2.12. Escribe la función rc4, en la casilla AIX. Esta función la podemos aproximar a (ADX-0.19)
- 2.13. Arrastra esta función para el rango $0.4 < (r-i) < 0.5$
- 2.14. Añade una nueva columna al fichero para el rango $0.5 < (r-i) < 0.6$
- 2.15. Escribe la función rc5, en la casilla AJX. Esta función la podemos aproximar a (ADX-0.25)
- 2.16. Arrastra esta función para el rango $0.5 < (r-i) < 0.6$
- 2.17. Añade una nueva columna al fichero para el rango $0.6 < (r-i) < 0.7$
- 2.18. Escribe la función rc6, en la casilla AKX. Esta función la podemos aproximar a (ADX-0.37)
- 2.19. Arrastra esta función para el rango $0.6 < (r-i) < 0.7$
- 2.20. Añade una nueva columna al fichero para el rango $0.7 < (r-i) < 0.8$
- 2.21. Escribe la función rc7, en la casilla ALX. Esta función la podemos aproximar a (ADX-0.4)
- 2.22. Arrastra esta función para el rango $0.7 < (r-i) < 0.8$
- 2.23. Añade una nueva columna al fichero para el rango $0.8 < (r-i) < 0.9$
- 2.24. Escribe la función rc8, en la casilla AMX. Esta función la podemos aproximar a (ADX-0.45)
- 2.25. Arrastra esta función para el rango $0.8 < (r-i) < 0.9$
- 2.26. Añade una nueva columna al fichero para el rango $0.9 < (r-i) < 2.0$
- 2.27. Escribe la función rc9, en la casilla ANX. Esta función la podemos aproximar a (ADX-0.62)
- 2.28. Arrastra esta función para el rango $0.9 < (r-i) < 2.0$

Deberías obtener una tabla como esta:

Candidatos_finales_R-Halphi

File

Edit

View

Insert

Format

Data

Tools

Add-ons

Help

Last edit was 3 minutes ago

75%

\$

%

.00

123

Arial

10

B

I

S

A

<

Figura 96: Tabla con rangos de color r-i para seleccionar candidatos en base a la curva de enrojecimiento

Actividad 12.6.3.2: Con Excel

[\(Link al video tutorial\)](#)

1. Calcula el exceso de (r-Halpha) de las fuentes teniendo en cuenta su color (r-i). Esto lo vamos a conseguir, dividiendo la curva de enrojecimiento en distintas ecuaciones extraídas de la Figura 95, según los rangos (r-i) que la definen.

$$rc1 = (r - H\alpha) - 0.1$$

$$rc2 = (r - H\alpha) - 0.095$$

$$rc3 = (r - H\alpha) - 0.13$$

$$rc4 = (r - H\alpha) - 0.19$$

$$rc5 = (r - H\alpha) - 0.25$$

$$rc6 = (r - H\alpha) - 0.37$$

$$rc7 = (r - H\alpha) - 0.4$$

$$rc8 = (r - H\alpha) - 0.45$$

$$rc9 = (r - H\alpha) - 0.62$$

Para ello, sigue este procedimiento. (Nota: cuando pone “ADX”, la X equivale al número de la fila, por ejemplo AD2 es la columna AD, y la fila 2)

2. Toma de referencia el fichero de Excel “candidatos_finales_R-Halpha.xls”
 - 2.1. Vamos a fijarnos en los rangos de (r-i) y a cada uno de ellos le aplicaremos un criterio en nuevas columnas
 - 2.2. Añade una nueva columna al fichero para el rango $0 < (r-i) < 0.2$ seleccionando la primera columna libre al final de la tabla → “Insert” → “Insert Sheet Columns”
 - 2.3. Escribe la función de rc1, en la casilla AF2. Esta función la podemos aproximar a (AD2-0.1).
 - 2.4. Arrastra esta función para el rango $0 < (r-i) < 0.2$ haciendo clic en el rincón derecho de abajo de la celda donde hayas escrito la expresión y arrastrando hacia abajo

- 2.5. Añade una nueva columna al fichero para el rango $0.2 < (r-i) < 0.3$
- 2.6. Escribe la función de rc2, en la casilla AGX. Esta función la podemos aproximar a (ADX-0.095)
- 2.7. Arrastra esta función para el rango $0.2 < (r-i) < 0.3$
- 2.8. Añade una nueva columna al fichero para el rango $0.3 < (r-i) < 0.4$
- 2.9. Escribe la función rc3, en la casilla AHX. Esta función la podemos aproximar a (ADX-0.13)
- 2.10. Arrastra esta función para el rango $0.3 < (r-i) < 0.4$
- 2.11. Añade una nueva columna al fichero para el rango $0.4 < (r-i) < 0.5$
- 2.12. Escribe la función rc4, en la casilla AIX. Esta función la podemos aproximar a (ADX-0.19)
- 2.13. Arrastra esta función para el rango $0.4 < (r-i) < 0.5$
- 2.14. Añade una nueva columna al fichero para el rango $0.5 < (r-i) < 0.6$
- 2.15. Escribe la función rc5, en la casilla AJX. Esta función la podemos aproximar a (ADX-0.25)
- 2.16. Arrastra esta función para el rango $0.5 < (r-i) < 0.6$
- 2.17. Añade una nueva columna al fichero para el rango $0.6 < (r-i) < 0.7$
- 2.18. Escribe la función rc6, en la casilla AKX. Esta función la podemos aproximar a (ADX-0.37)
- 2.19. Arrastra esta función para el rango $0.6 < (r-i) < 0.7$
- 2.20. Añade una nueva columna al fichero para el rango $0.7 < (r-i) < 0.8$
- 2.21. Escribe la función rc7, en la casilla ALX. Esta función la podemos aproximar a (ADX-0.4)
- 2.22. Arrastra esta función para el rango $0.7 < (r-i) < 0.8$
- 2.23. Añade una nueva columna al fichero para el rango $0.8 < (r-i) < 0.9$
- 2.24. Escribe la función rc8, en la casilla AMX. Esta función la podemos aproximar a (ADX-0.45)
- 2.25. Arrastra esta función para el rango $0.8 < (r-i) < 0.9$
- 2.26. Añade una nueva columna al fichero para el rango $0.9 < (r-i) < 2.0$



- 2.27. Escribe la función $rc9$, en la casilla ANX. Esta función la podemos aproximar a (ADX-0.62)
- 2.28. Arrastra esta función para el rango $0.9 < (r-i) < 2.0$

Los valores que has obtenido es estas nuevas columnas son valores de (r-Halpha)_{exceso}, que emplearemos ahora para afinar un paso más la selección de estrellas T Tauri clásicas.

Actividad 12.7: Refina la selección de candidatos a estrellas TTauri clásicas a partir de la medida de la Anchura Equivalente de la línea Halpha

Utilizando el exceso de color (r-Halpha) que hemos calculado previamente, podemos calcular la anchura equivalente de cada fuente. Revisa el concepto de anchura equivalente en la [Actividad 6.1](#).

Actividad 12.7.1: Con Google Sheet

[\(Link al video tutorial\)](#)

1. Calcula la anchura equivalente de la línea Halpha para los siguientes intervalos (r-i). Para ello sigue el siguiente procedimiento:
 - 1.1. Recupera el fichero Google Sheet "candidatos_finales_r-Halpha.xls" y copia la tabla a un Google Sheet nuevo.
 - 1.2. Añade una columna nueva entre las columnas AF y AG (ver Figura 98)
 - 1.3. Para los valores de $0 < (r-i) < 0.2$, en la nueva columna AG', en la celda AG'2, aplica la siguiente expresión (Nota: en este caso, el filtro de Halpha tiene una anchura de $107 \text{ Angstrom} = 107 \times 10^{-10} \text{ m}$)

$$=107*(1-10^{(0.4*AF2)})$$

- 1.4. Arrastra esta ecuación para todo el rango de $0 < (r-i) < 0.2$
- 1.5. Añade una columna nueva entre las columnas AH y AI

- 1.6. Para los valores $0.2 < (r-i) < 0.3$, en la nueva columna AI, en la celda donde empiezan tus valores, aplica la misma expresión. Esta vez con AIX, donde X es el número de la fila.
- 1.7. Repite estos pasos para las siguientes columnas
- 1.8. Guarda el fichero como "candidatos_finales_r-Halpha_excess_EW.xls"
2. Una vez que tenemos el fichero de anchuras equivalentes creado, vamos a imponer los filtros de selección para identificar las estrellas TTauri clásicas. Para ello sigue este procedimiento:
 - 2.1. En el rango $0 < (r-i) < 0.8$, serán candidatos aquellos objetos con $EW < -10$ Angstrom.
 - 2.2. En el rango $0.8 < (r-i) < 0.9$, serán candidatos aquellos objetos con $EW < -12$ Angstrom.
 - 2.3. En el rango $0.9 < (r-i) < 2.0$, serán candidatos aquellos objetos con $EW < -25$ Angstrom.
 - 2.4. Elimina todas las filas que no cumplen con estos criterios
 - 2.5. Deberías acabar con 95 fuentes
 - 2.6. El diagrama color-color solo debería mostrar las fuentes que cumplan los requisitos de EW
 - 2.7. Copia los datos de tu tabla hasta la columna r-H α (también incluida) a un nuevo fichero
 - 2.8. Descarga tu fichero "candidatos_final_r-Halpha_excess_EW" en formato CSV pinchando en "File" → "Download" → "CSV"

Actividad 12.7.2: Con Excel

[\(Link al video tutorial\)](#)

1. Calcula la anchura equivalente de la línea H α para los siguientes intervalos (r-i).

Para ello sigue el siguiente procedimiento:

- 1.1. Recupera el fichero Excel "candidatos_finales_r-H α " y copia la tabla a una nueva hoja de Excel.
- 1.2. Añade una columna nueva entre las columnas AF y AG seleccionando la columna AG $\rightarrow$ "Insert" $\rightarrow$ "Insert sheet columns" y nombra la nueva columna EW
- 1.3. Para los valores de $0 < (r-i) < 0.2$, en la nueva columna AG', en la celda AG'2, aplica la siguiente expresión (Nota: en este caso, el filtro de H α tiene una anchura de $107 \text{ Angstrom} = 107 \times 10^{-10} \text{ m}$)

$$=107*(1-10^{(0,4*AF2)})$$

- 1.4. Arrastra esta ecuación para todo el rango de $0 < (r-i) < 0.2$
- 1.5. Añade una columna nueva entre las columnas AH y AI
- 1.6. Para los valores $0.2 < (r-i) < 0.3$, en la nueva columna AI, en la celda donde empiezan tus valores, aplica la misma expresión. Esta vez con AIX, donde X es el número de la fila.
- 1.7. Repite estos pasos para las siguientes columnas
- 1.8. Guarda el fichero como "candidatos_finales_r-H α _excess_EW"
2. Una vez que tenemos el fichero de anchuras equivalentes creado, vamos a imponer los filtros de selección para identificar las estrellas TTauri clásicas. Para ello sigue este procedimiento:
 - 2.1. En el rango $0 < (r-i) < 0.8$, serán candidatos aquellos objetos con $EW < -10 \text{ Angstrom}$.

- 2.2. En el rango $0.8 < (r-i) < 0.9$, serán candidatos aquellos objetos con $EW < -12$ Angstrom.
- 2.3. En el rango $0.9 < (r-i) < 2.0$, serán candidatos aquellos objetos con $EW < -25$ Angstrom.
- 2.4. Elimina todas las filas que no cumples con estos criterios seleccionando las filas y haciendo clic en “Delete” → “Delete Table Rows”
- 2.5. Deberías acabar con 95 fuentes
- 2.6. Dibujar un diagrama color-color como en la [Actividad 12.6](#) para las fuentes que te queden
- 2.7. Copia los datos de tu tabla hasta la columna r-Halpha (también incluida) a una hoja Excel y guárdala en formato .CSV

Actividad 12.8: Contrasta las contribuciones en óptico, infrarrojo y rayos X, para tus candidatos a estrellas TTauri clásicas (datos VST, 2MASS y XMM-Newton), para la región Trumpler 14

Usa el resultado de la [Actividad 12.7](#). Si no has realizado esta Actividad, emplea los ficheros de este [link](#).

El resultado de haber realizado las Actividades [12.3](#) a [12.7](#), nos ha permitido, a partir del catálogo de VST de 30964 fuentes, obtener una lista final de 95 candidatos que cumplen el criterio de CTTauri, por su exceso emisión Halpha, atribuída al proceso de acreción.

Como vimos en la [Actividad 6](#), la identificación de estrellas CTTauri requiere también de la detección de exceso de infrarrojo (causado por el disco de acreción) y de emisión en rayos X (causada por la acreción).

Por tanto, para encontrar cuales de estos 95 candidatos son realmente candidatos a CTTauri, necesitamos contrastar (coloquialmente se dice también, "hacer un match"), los candidatos que cumplen los criterios de exceso de Halpha (catálogo VST) con otros catálogos de infrarrojo (2MASS) y rayos X (XMM-Newton). El match va a comprobar, por coordenadas (RA, DEC), si las 95 fuentes se encuentran en los tres catálogos (con un margen de error en la posición que aplicaremos nosotros).

Este proceso de "matching" lo vamos a realizar empleando un software que usan los astrónomos, llamado TopCat. Podéis seguir los siguientes procedimientos de instrucciones e imágenes:

PROCEDIMIENTO EN INSTRUCCIONES:

1. Recupera tu fichero "candidatos_final_r-Halpha_excess_EW" en formato CSV
2. Descárgate TopCat en tu ordenador.
 - 2.1. Para ello debes acceder a la web y descargarte la opción adecuada a tu ordenador (Topcat-full.jar)

- 2.2. Haciendo doble clic en el fichero, TopCat se instala en tu ordenador. Ya estás listo para continuar
3. Abre TopCat
4. Carga tu fichero "candidatos_final_r-Halpha_excess_EW.csv" (resultado de la [Actividad 12.7](#)). Para ello, en TopCat:
 - 4.1. Pincha en el menú principal a "File" -> "Load Table"
 - 4.2. Busca en tu ordenador el fichero CSV y cargalo
5. Repite el paso 3, seleccionado el formato "auto", y carga el catálogo de "2MASStotal.fits" obtenido en la [Actividad 12.2.2](#) a partir de 6 regiones del cielo en el cúmulo de Trumpler14, seleccionadas en ESASky

Ahora deberías tener los dos catálogos accesibles en TopCat, como muestra el procedimiento en imágenes.

6. Pincha el símbolo de las cerillas (match) y obtendrás una pestaña nueva
7. Selecciona pares de catálogos y realiza el match entre ellos, permitiendo un margen de error entre las posiciones de tus objetos de 1.0 arcsec
 - 7.1. Selecciona en la pestaña de "Table 1", el catálogo "candidatos_final_r-Halpha_excess_EW.csv" y en la de "Table 2", el catálogo "2MASStotal.fits"
 - 7.2. En el apartado error máximo ("max error") aplicar el valor de 1.0 arcsec y pincha en "Go".

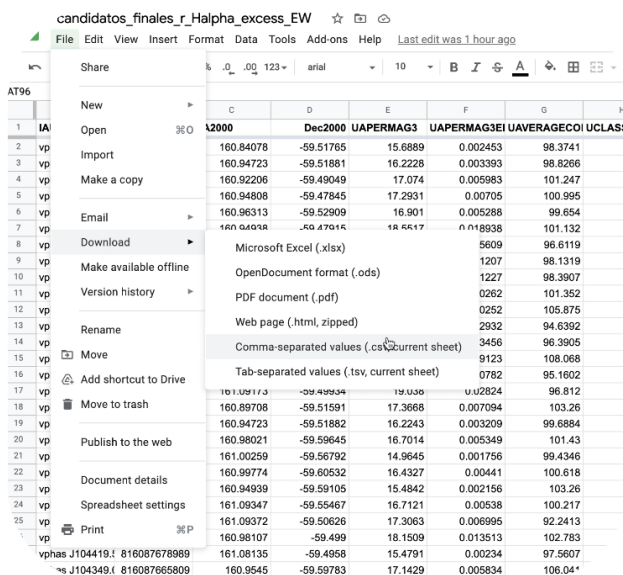
Aparecerá una pestaña indicándote el número de fuentes identificadas en ambos catálogos (o *matches*). Se creará automáticamente el fichero solución bajo el nombre de "match(x,y)"

8. Selecciona "Ok"
9. Selecciona el catálogo de "matches" y pincha sobre el símbolo de diagrama. Vas a dibujar el diagrama color-color (J-H) vs (H-Ks) para descubrir cuántas fuentes tienen exceso de infrarrojo

10. En el menú desplegado aparecerá, por defecto, seleccionado en el eje X (SOURCEID) y en el eje Y (RA2000). Vamos a editar estos valores de X e Y para obtener la gráfica color-color que nos interesa
 - 10.1. Borra el eje X (SOURCEID) y escribe en su lugar para el eje x esta expresión "h_m-ks_m".
 - 10.2. Borra el eje Y (RA2000) y escribe en su lugar para el eje x esta expresión "j_m-h_m".
11. Haz clic en “Form” y reduce el tamaño de los puntos a 2
12. Ahora dibuja la función que limita aquellas fuentes con exceso de infrarrojo. Selecciona el símbolo de dibujar funciones y escribe la expresión $1.86 \cdot x - 0.12$, donde x es la variable independiente. Haz clic en “enter” para obtener el resultado
13. Guarda el diagrama pinchando en el botón de “salvar”

PROCEDIMIENTO EN IMÁGENES:

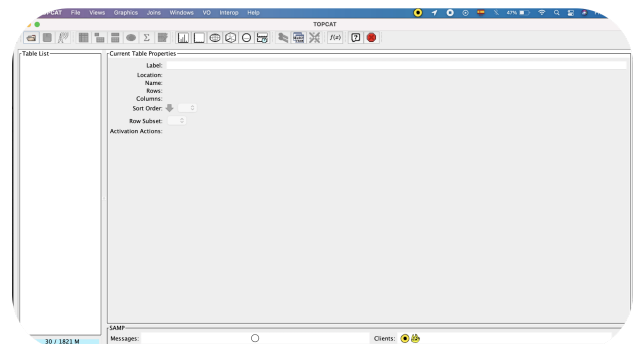
1.



The screenshot shows a spreadsheet application with a file menu open on the left. The menu options include: New, Open, Import, Make a copy, Email, Download, Make available offline, Version history, Rename, Move, Add shortcut to Drive, Move to trash, Publish to the web, Document details, Spreadsheet settings, and Print. The spreadsheet itself has columns labeled C, D, E, F, G, and H. The data in the spreadsheet is as follows:

	C	D	E	F	G	H
1	160.84078	-59.51765	15.6889	0.002453	98.3741	
2	160.94723	-59.51881	16.2228	0.003393	98.8266	
3	160.92206	-59.49049	17.074	0.005983	101.247	
4	160.94808	-59.47845	17.2931	0.00705	100.995	
5	160.96313	-59.52909	16.901	0.005288	99.654	
6	160.96313	-59.52909	16.901	0.005288	99.654	
7	160.96313	-59.52909	16.901	0.005288	99.654	
8	160.96313	-59.52909	16.901	0.005288	99.654	
9	160.96313	-59.52909	16.901	0.005288	99.654	
10	160.96313	-59.52909	16.901	0.005288	99.654	
11	160.96313	-59.52909	16.901	0.005288	99.654	
12	160.96313	-59.52909	16.901	0.005288	99.654	
13	160.96313	-59.52909	16.901	0.005288	99.654	
14	160.96313	-59.52909	16.901	0.005288	99.654	
15	160.96313	-59.52909	16.901	0.005288	99.654	
16	160.96313	-59.52909	16.901	0.005288	99.654	
17	160.96313	-59.52909	16.901	0.005288	99.654	
18	160.96313	-59.52909	16.901	0.005288	99.654	
19	160.96313	-59.52909	16.901	0.005288	99.654	
20	160.96313	-59.52909	16.901	0.005288	99.654	
21	160.96313	-59.52909	16.901	0.005288	99.654	
22	160.96313	-59.52909	16.901	0.005288	99.654	
23	160.96313	-59.52909	16.901	0.005288	99.654	
24	160.96313	-59.52909	16.901	0.005288	99.654	
25	160.96313	-59.52909	16.901	0.005288	99.654	
26	160.96313	-59.52909	16.901	0.005288	99.654	
27	160.96313	-59.52909	16.901	0.005288	99.654	
28	160.96313	-59.52909	16.901	0.005288	99.654	
29	160.96313	-59.52909	16.901	0.005288	99.654	
30	160.96313	-59.52909	16.901	0.005288	99.654	

3.



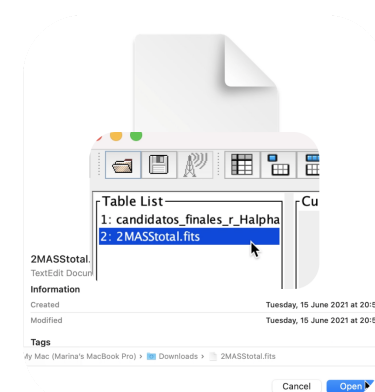
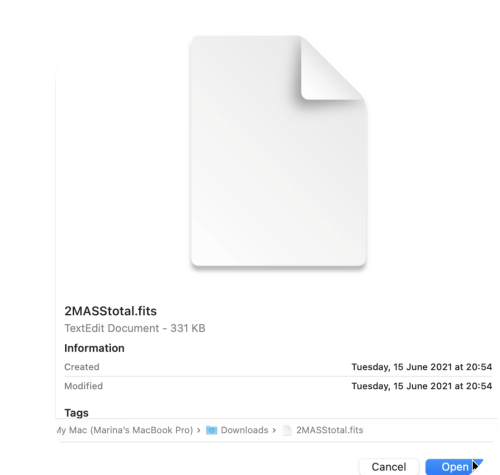
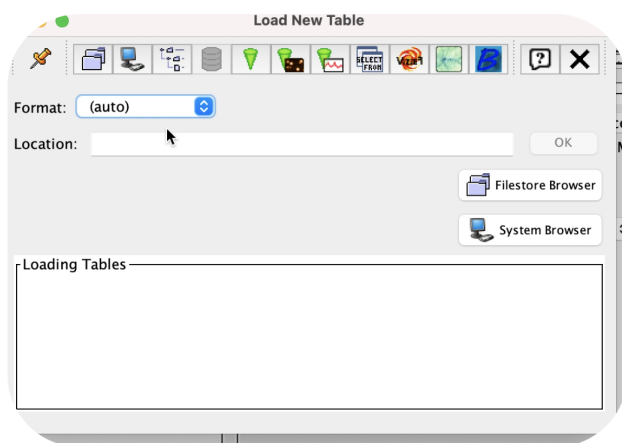
4.1



4.2



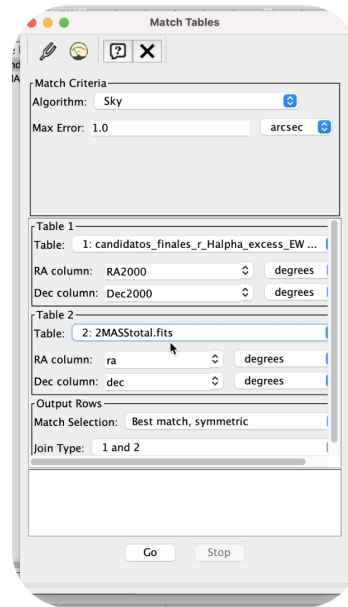
5.



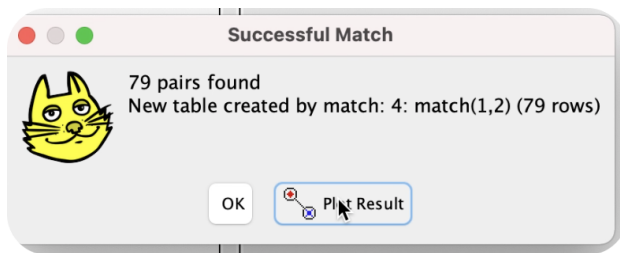
6.



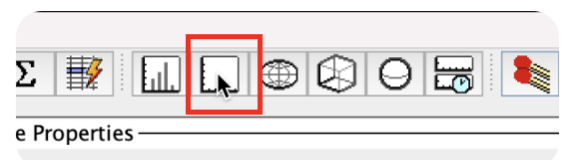
7.



8.

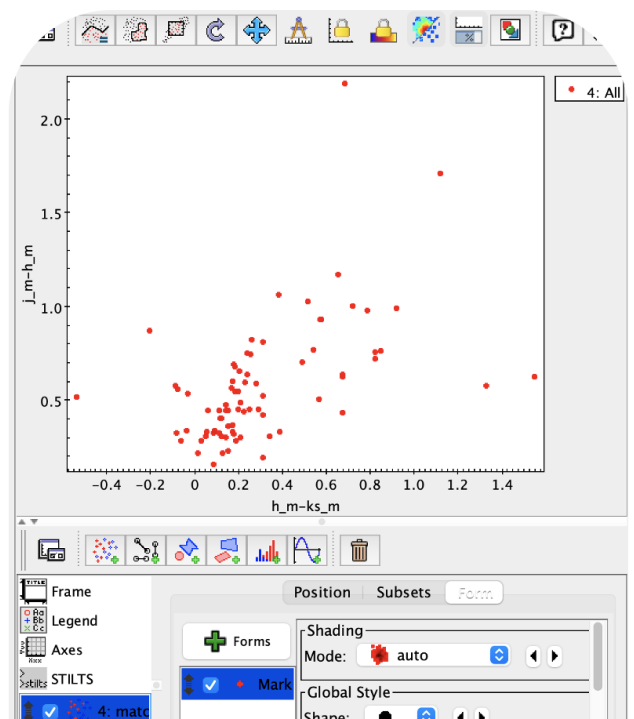


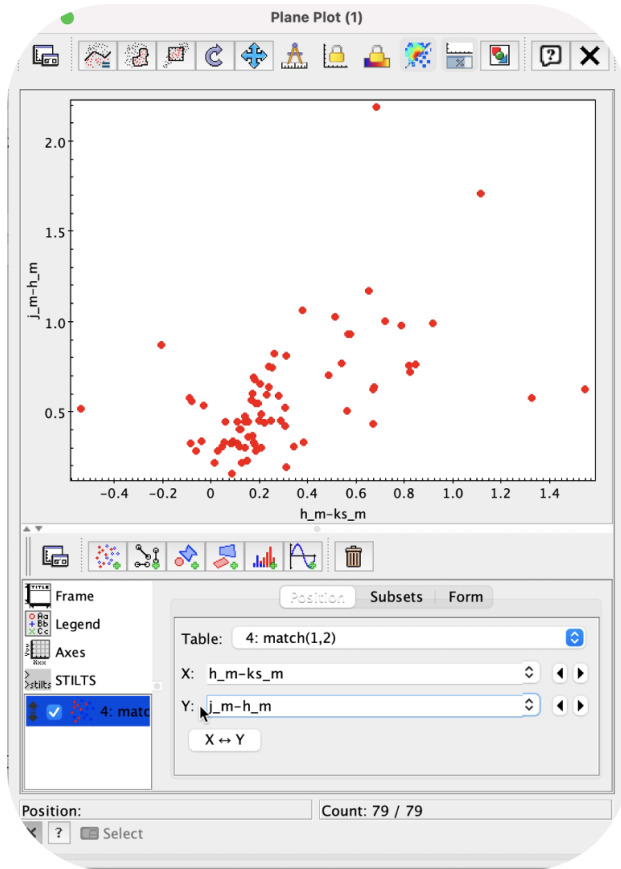
9.



10.

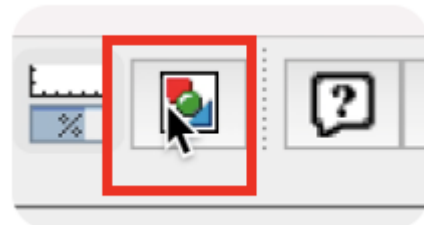
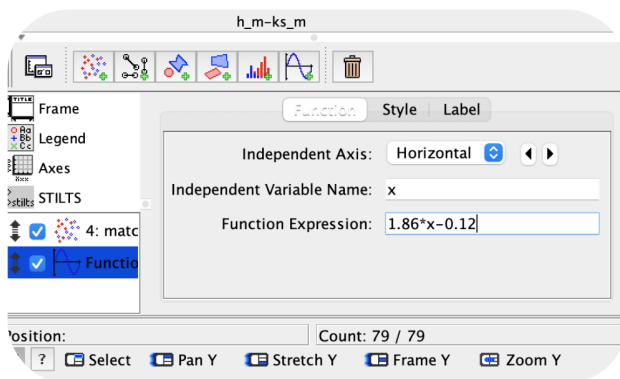
11.





12.

13.



¿Cuántas fuentes tienen exceso de infrarrojo?

Actividad 12.8.1: Matching entre el catálogo resultante del matching entre VST & 2MASS y el catálogo de XMM-Newton, para la región Trumpler 14

Videotutorial: [link](#)

Usa el resultado de la [Actividad 12.8](#). Si no has realizado esta Actividad, emplea el fichero de este [link](#).

En la [Actividad 12.8](#) hicimos el matching entre los catálogos que nos dan información de emisión de Halpha (VST) y exceso de infrarrojo (2MASS).

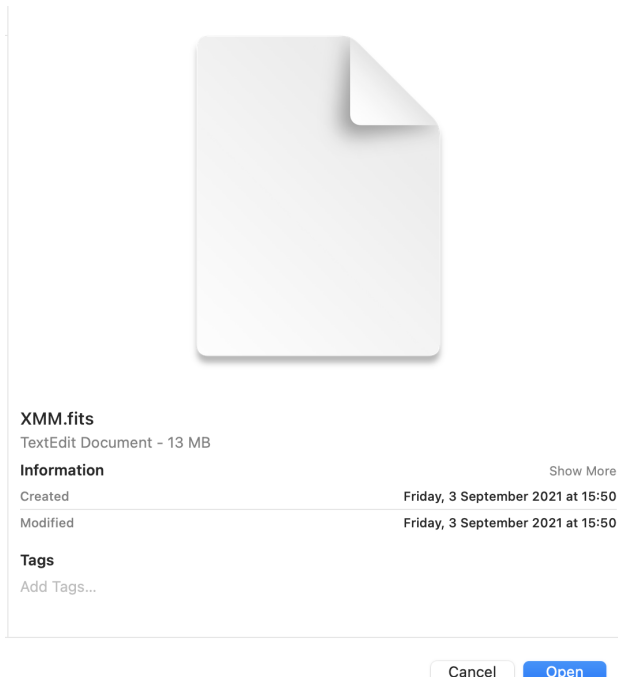
En esta Actividad, vamos a afinar nuestra selección de candidatos a estrellas CT Tauri seleccionando sólo los objetos que tienen emisión de rayos X.

PROCEDIMIENTO EN INSTRUCCIONES:

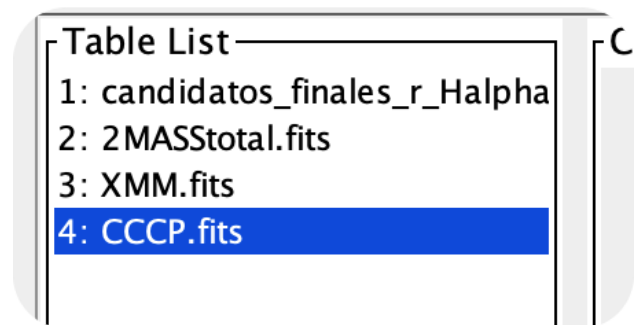
1. Carga el fichero de "XMM.fits", obtenido en la [Actividad 12.1](#), a partir de las fuentes de XMM-Newton en la región Trumpler 14, seleccionadas en ESASKy.
2. Descarga el fichero "CCCP.fits". Este catálogo viene del Chandra Carina Complex Project, llevado a cabo por la misión en busca de rayos X de la NASA, Chandra. El catálogo contiene fuentes en la nebulosa de Carina que han sido detectadas emitiendo rayos X. Este añadirá información extra a tu catálogo de XMM.
3. Usa TopCat para unir (con la opción Joins vista en el paso en la [Actividad 12.2.2](#)) los catálogos de rayos X "CCCP.fits" y "XMM.fits". Asegúrate de seleccionar la RA y DEC como muestra la imagen del paso 3 en el procedimiento en imágenes. Ambos ficheros los cargaremos en TopCat seleccionando el formato "auto". El resultado se guardará como "concat(x+y)"
4. Repite los pasos 4 a 7 de la [Actividad 12.8](#), con el fichero resultante del *matching* dicha actividad "match(a,b)" y el catálogo "concat(x+y)". En este caso, el error máximo que vamos a permitir para las posiciones de un objeto en ambos catálogos es de 2.0 segundos de arco.

PROCEDIMIENTO EN IMÁGENES:

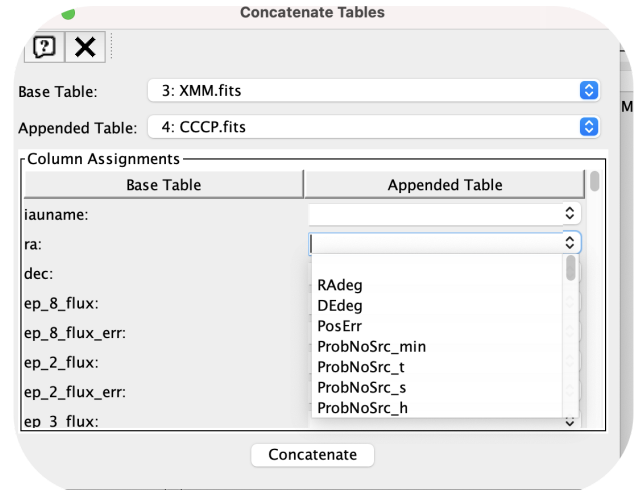
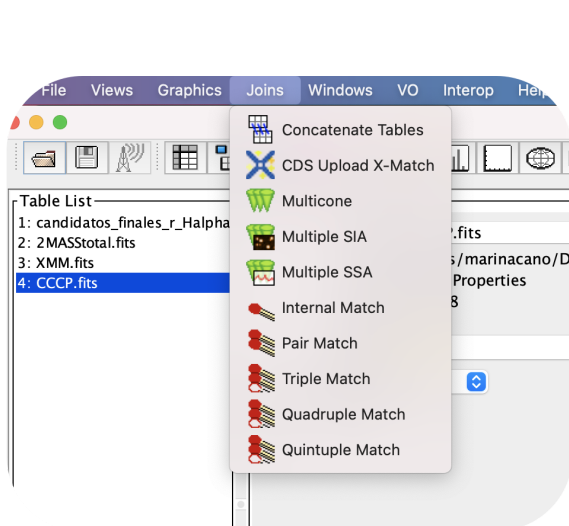
1.



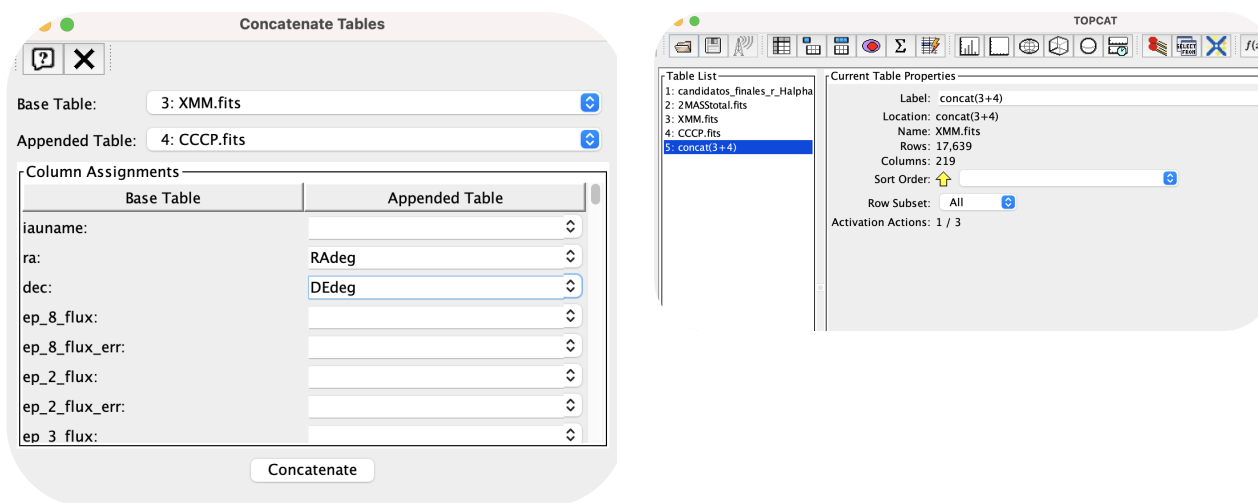
2.



3.



4.



El número final de objetos es la lista de candidatos que tiene emisión Halpha, y se detectan en el infrarrojo y en rayos X. ¿Cuántas coincidencias encuentras?

Dibuja de nuevo el diagrama color-color como anteriormente.

¿Cuántas de las fuentes tienen exceso de infrarrojo?

El siguiente chequeo será ver cuántas de estas fuentes se encuentran a una distancia razonable como para pertenecer a la Nebulosa de Carina. Esto nos indicará finalmente cuántas de nuestras fuentes son posibles estrellas T Tauri clásicas.

Para ello, el siguiente y último paso es hacer un “*match*” con GAIA.

Actividad 13: Comprueba que tus candidatos se encuentran próximos a la nube de Carina (datos GAIA)

El número de matches nos indica cuántas fuentes en Trumpler 14 emiten en Halpha, tienen un match en el infrarrojo y son detectadas como fuentes de rayos X. Ahora toca ver cuántas de estas tienen exceso de infrarrojo.

Para ello vamos a ir a ESASky y descargar el catálogo de GAIA para la región Trumpler 14 y repetir en TopCat el procedimiento de matching, explicado en las Actividades anteriores.

Podéis seguir el procedimiento de instrucciones y/o el procedimiento en imágenes.

PROCEDIMIENTO EN INSTRUCCIONES:

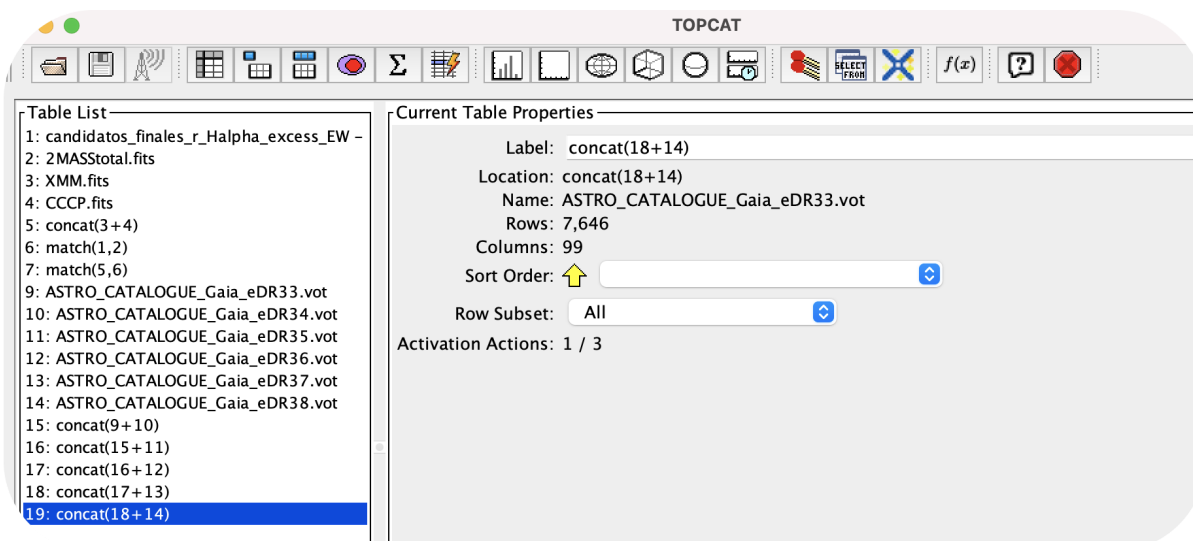
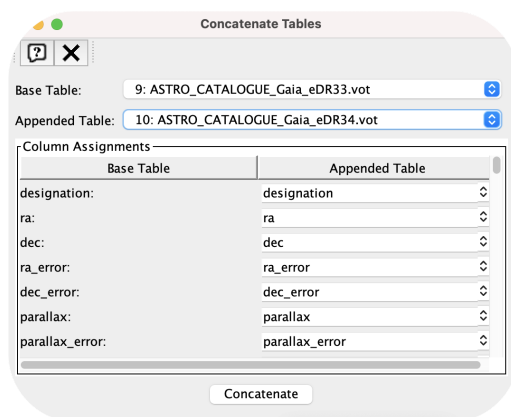
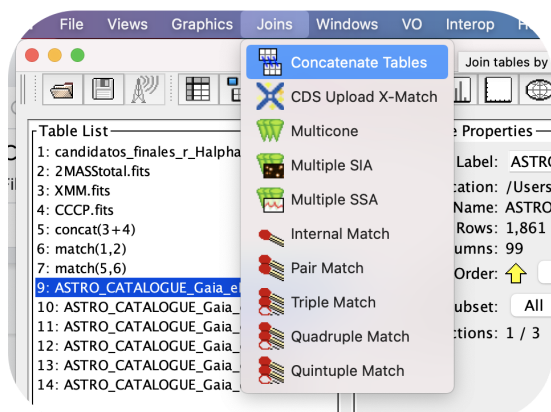
1. Repite los pasos 1 al 10 del procedimiento de la [Actividad 12.1](#), en este caso para el catálogo GAIAeDR3(Óptico) y descárgate las mismas seis regiones que 2MASS, una a una, en formato VOT
2. Repite los pasos 1 a 3 del procedimiento de la [Actividad 12.2.2](#) y haz una unión (*merge*) de estos catálogos en TopCat. [Debería haber 7646 fuentes de GAIA]
3. Repite los pasos 6 a 7 del procedimiento de la [Actividad 12.8](#) y haz un "*matching*" entre el match candidates & 2MASS & XMMtotal con el de GAIA, para un error máximo de 1.0 segundo de arco

PROCEDIMIENTO EN IMÁGENES:

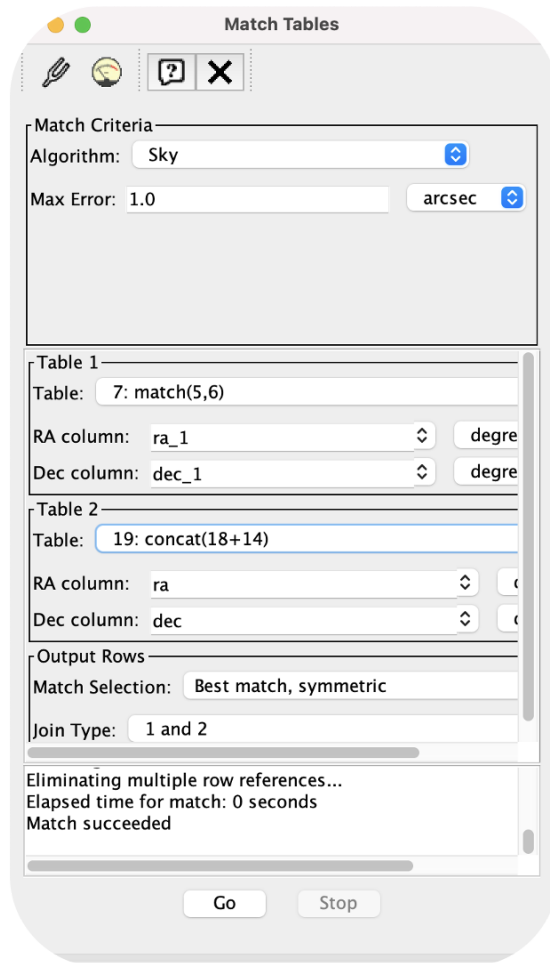
1.

9: ASTRO_CATALOGUE_Gaia_eDR33.vot
 10: ASTRO_CATALOGUE_Gaia_eDR34.vot
 11: ASTRO_CATALOGUE_Gaia_eDR35.vot
 12: ASTRO_CATALOGUE_Gaia_eDR36.vot
 13: ASTRO_CATALOGUE_Gaia_eDR37.vot
 14: ASTRO_CATALOGUE_Gaia_eDR38.vot

2.



3.



¿Cuántos *matches* tienes?

Dibuja el diagrama color-color de (J-H) vs (H-Ks) con la línea límite ($y = 1.86x - 0.12$) para identificar cuántas de estas fuentes tienen exceso de infrarrojo.

Leyendo el diagrama, cuántas ves que tengan exceso de infrarrojo?

Ahora que ya sabemos cuántas fuentes emiten en H α , tiene exceso de infrarrojo y son fuentes de rayos X, tenemos que calcular a qué distancias se encuentran con la información de GAIA.

Calcularemos las distancias entre las fuentes y la Tierra para comprobar que las fuentes se encuentren en la zona de Trumpler 14 (en la Nebulosa de Carina). Para ello, los astrónomos calculan la distancia a cada fuente con su paralaje y la comparan a la distancia de la nebulosa entera. Aquellas fuentes a una distancia parecida seguramente se encuentren en la nebulosa y aquellas que no simplemente están en el campo de visión. Los datos de paralaje los obtendremos de GAIA.

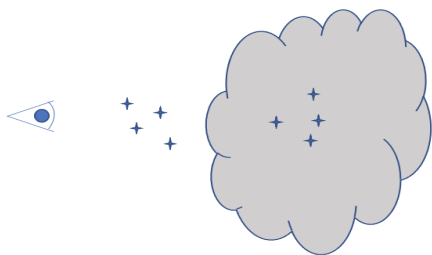
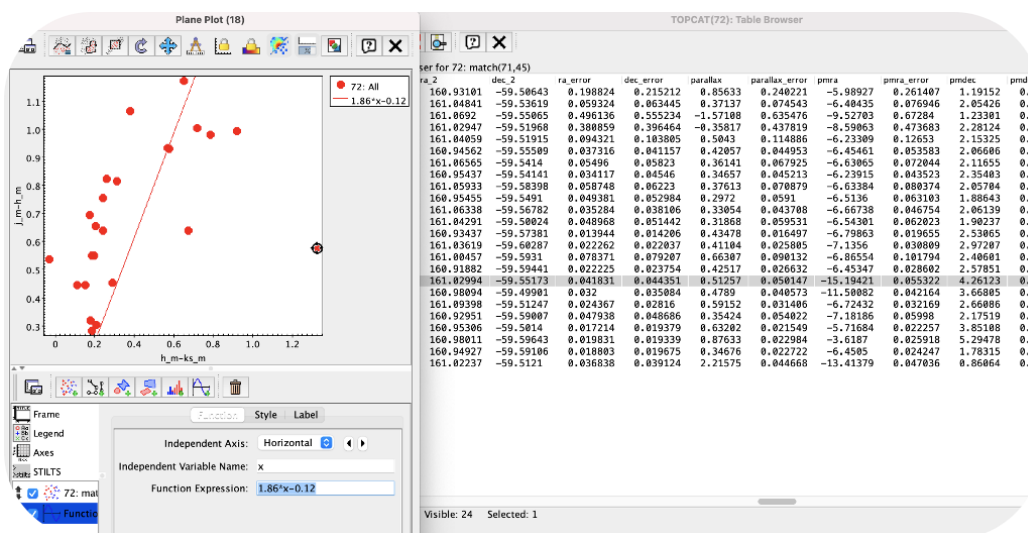


Figura 99: Estrellas en el campo de visión entre la Tierra y una nube.

Examina la columna de paralaje de las 7 fuentes que tienen exceso de infrarrojo en el catálogo final. El paralaje está en milisegundos de arco (mas).

Un consejo: Si pinchas sobre los puntos en el diagrama, verás como la fila correspondiente se destaca.





De las 7 fuentes, dos de ellas pueden ignorarse dados sus paralajes. ¿Cuáles dos?

¡Recuerda que el paralaje se usa para medir distancias!

Por lo tanto nos quedan 5 fuentes.

Apunta el paralaje de cada una de ellas:

Para calcular las distancias, convierte de milisegundos de arco a pc.

Pista 1: Convierte de milisegundos de arco a segundos de arco

Pista 2: Refresca la definición de parsec en la [Actividad 2.2](#)

Las estrellas en la Nebulosa de Carina se estima que se encuentren a una distancia entre **2200 pc** y **2800 pc**.

Según tus resultados, ¿cuántas fuentes son estrellas T Tauri clásicas en la Nebulosa de Carina?

Apunta el ID, RA, DEC, J mag, Ks mag, H mag, r mag, H α mag, i mag y la distancia de ambas fuentes, e identificalas en los diagrama (J-H) vs (H-K) y (r-H α) vs (r-i).

PROPIEDADES		

Tabla 10: Información sobre candidatos finales

Actividad 14: Visualiza una fuente en SIMBAD/Aladin Lite

Ahora que has identificado dos posibles estrellas T Tauri clásicas en Trumpler 14 en la Nebulosa de Carina, puedes chequear si estos objetos ya han sido estudiados previamente. Para ello entra en SIMBAD, una base de datos, usando este link:

<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-fcoo>.

Introduce las coordenadas de las fuentes sin usar comas y define un radio de 2 arcsec, como muestra la Figura 100.

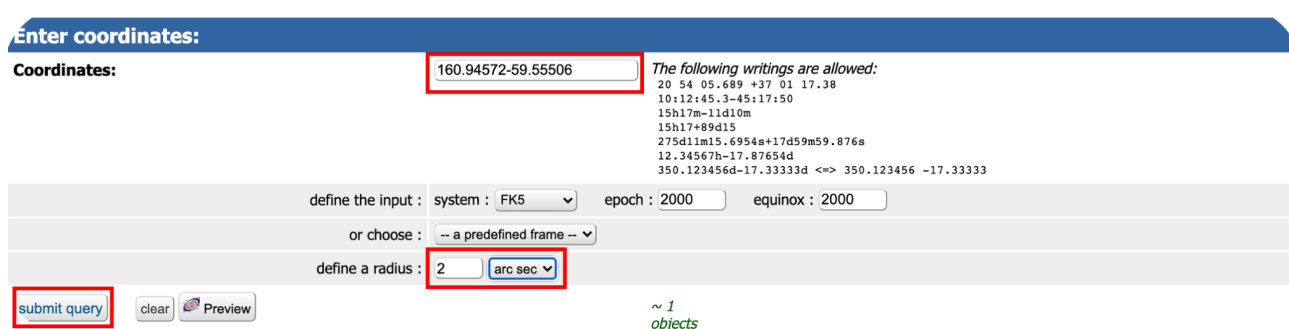


Figura 100: Búsqueda de la Fuente 1 en Simbad

Una vez hayas buscado tu fuente, puedes visualizarla en el lado derecho (gracias a AladinLite), seleccionando la opción 2MASS y haciendo zoom con el ratón.

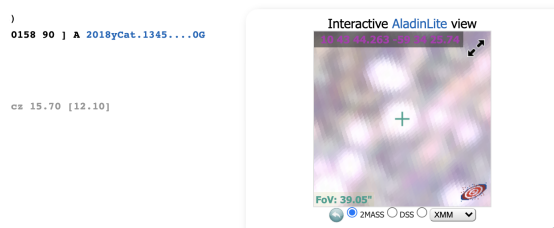


Figura 101: Visualización de fuentes en SIMBAD con la opción 2MASS.

SIMBAD nos proporciona información sobre la fuente, como por ejemplo:

Nombre → **Basic data :**
CI* Trumpler 14 VBF 319 -- Young Stellar Object

Coordenadas en varios formatos → Distance to the center *arcsec*: 0.16
Other object types: * (2017AaA, Cl*, ...), Y*O (2011ApJS, PCYC), IR (DENIS, 2MASS), NIR (VCNS), X (CXOGNC)
ICRS coord. (*ep=J2000*): 10 43 46.9627077366 -59 33 18.355482542 (Optical) [0.0391 0.0423 90] A 2018yCat.1345....0G
FK4 coord. (*ep=B1950 eq=1950*): 10 41 50.6424674668 -59 17 32.283634752 [0.0391 0.0423 90]
Gal coord. (*ep=J2000*): 287.3936177922391 -00.5908353047531 [0.0391 0.0423 90]
Velocidad radial → Proper motions *mas/yr*: -6.538 2.143 [0.086 0.084 90] A 2018yCat.1345....0G
Radial velocity / Redshift / *cz*: V(km/s) -8.3 [2.0] / z(spectroscopic) -0.000028 [0.000007] / cz -8.30 [2.00]
Paralaje → Parallax (*mas*): 0.4046 [0.0452] A 2018yCat.1345....0G
Fluxes (8): B 18.213 [-] C 2012AJ....143...41H
V 16.732 [0.004] B 2012AJ....143...41H
R 16.48 [0.38] E 2009yCat.1315....0Z
G 15.8766 [0.0028] C 2018yCat.1345....0G
I 14.82 [0.03] C 2005yCat.2263....0D
J 13.168 [0.030] C 2003yCat.2246....0C
H 12.233 [0.044] C 2003yCat.2246....0C
K 11.665 [0.039] C 2003yCat.2246....0C

Magnitudes en varias bandas →

Clasificación →

Visualización con AladinLite

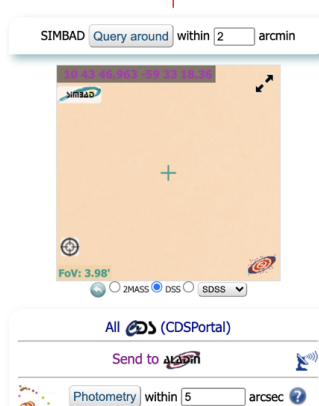


Figura 102: Información proporcionada por SIMBAD

ademas de:

- los nombres asignados a esa fuente, bajo “Identifiers”
- publicaciones científicas en las que se nombra la fuente, bajo “References”

1. ¿Qué información nos da SIMBAD sobre los candidatos finales? Rellena los siguientes espacios:

<u>Fuente 1</u> Nombre: Clasificación: Paralaje: Magnitud en banda R: Color R-I:	Imagen de AladinLite:
<u>Fuente 2</u> Nombre: Clasificación: Paralaje: Magnitud en banda B: Color B-V:	Imagen de AladinLite:

2. Busca las fuentes en ESASky, obtén una imagen de ellas y añadela aquí. Repasa el uso de ESASky en la [Actividad 9.1](#). Si te acuerdas:
 - 2.1. Busca las fuentes por sus coordenadas, sin escribir la coma
 - 2.2. Cambia el filtro en ESASky a “Infrarrojo cercano”

Fuente 1:

Fuente 2:

3. Nombra un estudio que se haya llevado a cabo sobre estas fuentes anotando el título de este y el año de publicación. Para ello sigue el procedimiento en instrucciones o imágenes

PROCEDIMIENTO EN INSTRUCCIONES:

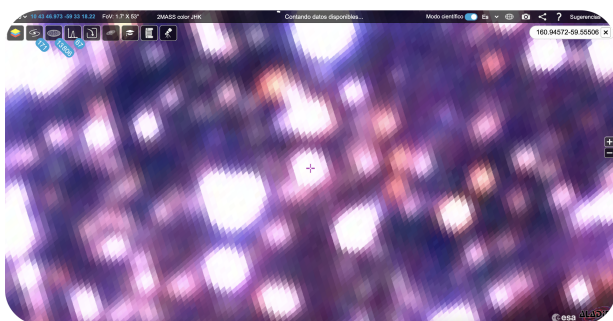
- 3.1. Una vez has buscado una fuente, haz zoom para visualizarla mejor
- 3.2. Haz click el símbolo del birrete y veras como todas las fuentes que hayan salido en una publicación aparecen rodeadas
- 3.3. Pincha sobre tu fuente
- 3.4. Aparecerán los títulos de las publicaciones en la primera columna, los autores en la segunda, el *journal* o portal científico donde se publicaron en la tercera y el año en la última columna
- 3.5. Rellena la tabla 11 con la información adecuada sobre tus dos fuentes

Fuente	Título de la publicación	Año
1		
2		

Tabla 11: Publicaciones sobre las fuentes 1 y 2, información de ESASky

PROCEDIMIENTO EN IMÁGENES:

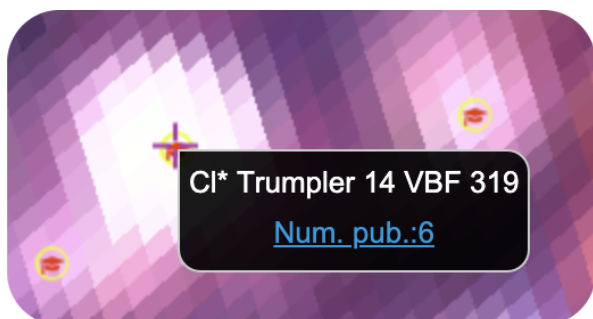
3.1.



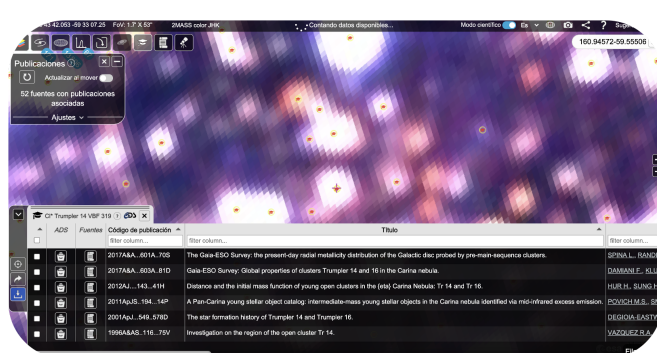
3.2.



3.3.



3.4.



Fase 4

Actividad 15: Crea una publicación científica

Una vez completada la investigación, toca explicar el método y los resultados que has obtenido. Para ello, rellena los siguientes espacios en formato de documento científico como lo haría un investigador.

Título: Debe contener información resumida sobre tu investigación. A la vez deberá ser un título que llame la atención a los que lo lean.

Miembros del equipo: Escribe los nombres de los miembros del equipo en este formato: **Apellido, Nombre**

Resumen:

Resume el objetivo de esta investigación, los resultados obtenidos y en qué modo este estudio contribuye a la comunidad científica.

Introducción:

Introduce conceptos básicos de tu estudio. Explica el tipo de objeto que buscas (estrellas en proceso de formación) y la región que estás investigando (Trumpler 14, dentro de la nebulosa de Carina).

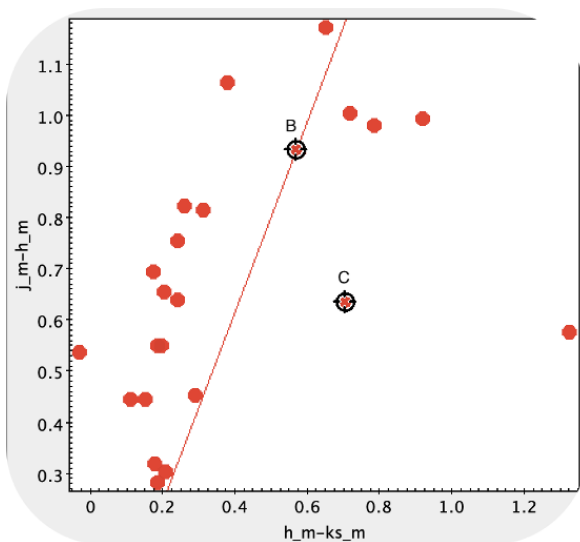
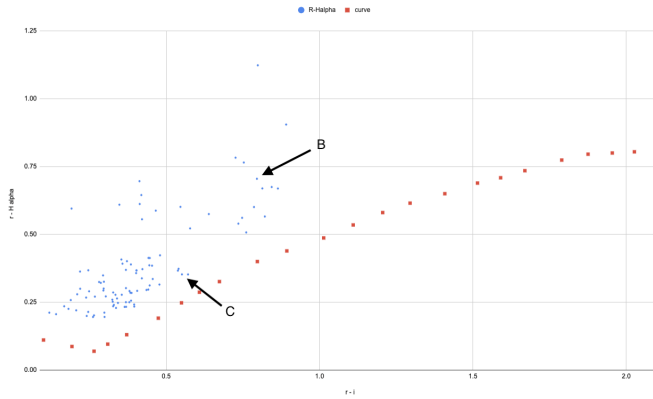
Observaciones:

En esta sección describe el tipo de datos que vas a usar para tu investigación, incluyendo también las fuentes de estos datos. La idea es que cualquiera que lea esta publicación pueda reproducir tu trabajo después.

Análisis de los datos:

Explica los resultados que has obtenido y el procedimiento para llegar a ellos.

Gráficos relevantes que no pueden faltar en esta sección:



P.S: no olvides añadir una descripción a cada figura.

Conclusion:

Explica las conclusiones que has sacado a partir de esos resultados.

Bibliografía:

Menciona cualquier referencia que hayas usado (páginas web, publicaciones científicas, etc.)



Título:

Miembros del equipo:

Resumen:

Introducción:

Observaciones:

Análisis de los datos:

Conclusion:

Bibliografía:



¡ Enhorabuena !

- ¡Has completado tu Reto Científico!
- Cuéntanos tu historia!

Párate a pensar en la Experiencia con tu Equipo y profes y completa estas Actividades.

Actividad 16: ¡Enhorabuena! Has conseguido tu objetivo

- **En Equipos:** Rellenad este [cuestionario](#) para que comprobéis lo aprendido en el Reto.
- **Con vuestr@ profe:** Danos tu feedback

Actividad 17: Presenta tus resultados

Los estudiantes deberán crear un producto final (un poster A0 en formato pdf, usando power point, por ejemplo) mostrando lo que han aprendido en las distintas fases del Reto Científico.

Este poster es el billete para participar en el concurso internacional de *Aventuras CESAR*.

Enlaces



ENLACES DE LA FASE 0:

<https://kids.britannica.com/kids/article/Katherine-Johnson/628677>

<https://www.nytimes.com/2016/12/27/science/vera-rubin-astronomist-who-made-the-case-for-dark-matter-dies-at-88.html>

[https://www.esa.int/kids/en/learn/Life in Space/Astronauts/Samantha Cristoforetti](https://www.esa.int/kids/en/learn/Life_in_Space/Astronauts/Samantha_Cristoforetti)

https://es.wikipedia.org/wiki/Marie_Curie

https://es.wikipedia.org/wiki/Steve_Wozniak

<https://www.famousbirthdays.com/people/matt-taylor-scientist.html>

[https://www.esa.int/Science Exploration/Human and Robotic Exploration/Astronauts/Pedro Duque](https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Astronauts/Pedro_Duque)

https://es.wikipedia.org/wiki/Albert_Einstein

ENLACES DE LA FASE 1:

VIDEOS:

<https://cesar.esa.int/index.php?Section=Multimedia&Id=96>

<https://www.youtube.com/watch?v=p1VotuvT3k4>

https://youtu.be/Aehqb-vDV_w

<https://scied.ucar.edu/video/sun-magnetic-field-rotate-tangle-movie>

https://www.youtube.com/watch?v=iMQxrqey_gM&t=6s

https://www.youtube.com/watch?v=Q_SnUBqXTes&t=8s

<https://sci.esa.int/web/herschel/-/59541-herschel-unlocking-the-secrets-of-star-formation>

<https://youtu.be/qixEDMUk0QM>

APP/JUEGO/CUESTIONARIO:

https://phet.colorado.edu/sims/html/blackbody-spectrum/latest/blackbody-spectrum_en.html

WEBS:

<http://abyss.uoregon.edu/~js/ast123/lectures/lec13.html>

<http://blog.cupix.com/>

<https://www.birmingham.ac.uk/Documents/college-eps/physics/outreach-documents/educators-and-general-public-documents/hrdiagram-workshop.pdf>

<https://www.exploratorium.edu/>

www.daviddarling.info

<https://cienciaes.com>

<http://www.elcielodecanarias.com/portfolio-daniel-lopez-eng/>

https://cesar.esa.int/index.php?Section=SSE_The_Color_of_the_Stars&ChangeLanguage=es

<https://kids.frontiersin.org/>

<https://www.sciencelearn.org.nz/resources/750-heat-energy>

<https://sci.esa.int/web/herschel/-/59534-herschel-s-view-of-orion-b>

<https://scienceblogs.com/startswithabang/2013/05/10/where-does-an-earthquakes-energy-come-from>

<https://www.sciencemag.org/news/2014/02/close-look-young-star-finds-chemical-surprise>

<https://exoplanet.mtk.nao.ac.jp/eng/seeds>



https://www.researchgate.net/figure/The-different-phases-of-star-formation_fig8_314283237

<https://astronomy.stackexchange.com/questions/2526/how-can-pre-main-sequence-stars-radiate-more-energy-than-main-sequence-stars>

kyandtelescope.org

https://es.wikipedia.org/wiki/Cuerpo_negro

<https://ay201b.wordpress.com/2013/05/03/article-interpreting-spectral-energy-distributions-from-young-stellar-objects/>

<http://elfisicoloco.blogspot.com/2012/11/espectros-atomicos-emision-y-absorcion.html>

<http://www.rem.inaf.it/remir.html>

<https://scied.ucar.edu/video/sun-magnetic-field-rotate-tangle-movie>

http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2019/02/ESA_s_fleet_of_cosmic_observers

ENLACES DE LA FASE 2:

VIDEOS:

<https://www.youtube.com/watch?v=YnY2P1rpls4>

<https://www.youtube.com/watch?v=SJCm9N7SY0A>

<https://www.youtube.com/watch?v=1eBmZQUfV9I>



APP/JUEGO/CUESTIONARIO:

<https://cesar.esa.int/form.php?Id=22&k=ZTKAN7blkB&ChangeLang=es>

ENLACES DE LA FASE 3:

WEBS:

<https://www.futurity.org/carina-nebula-stars-871632/>

<https://arxiv.org/pdf/0705.3053.pdf>

<https://academic.oup.com/mnras/article/367/2/513/1011675>

<https://academic.oup.com/mnras/article/456/3/2406/1089538>

<https://hubblesite.org/image/3693/news>

<https://sky.esa.int/>

<http://star.bris.ac.uk/~mb/topcat>

<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-fcoo>

ENLACES DE LA FASE 4:

APP/JUEGO/CUESTIONARIO:

<https://cesar.esa.int/form.php?Id=22&k=ZTKAN7blkB&ChangeLang=es>