

Caso Científico CESAR

Descubriendo el medio interestelar

Polvo y gas entre las estrellas

Guía del profesor



Índice

Ficha didáctica	5
Resumen de actividades	6
Introducción	11
Fundamentos teóricos	13
Descripción de las actividades	15
Actividad 1: Luz infrarroja	15
Actividad 2: Conociendo ESASky (Optional)	17
Actividad 3: ¿Vacío u oscuro?	17
Actividad 4: Oculto en el polvo	20
Actividad 5: Descubriendo el centro galáctico	23
Enlaces	26

Ficha didáctica

DATOS BÁSICOS

Rango de edad: 16+

Tipo: Actividad didáctica

Complejidad: Media

Tiempo de preparación: 1 hora

Tiempo lectivo requerido: 1 hora 15 minutos

Ubicación: Interior

Incluye el uso de: Ordenadores, internet, aplicación web *ESASky*

Curriculum

Física

- Estrategias del trabajo científico. Capacidad de llevar a cabo pequeñas investigaciones y presentar los resultados.
- Tecnologías de la información y la comunicación.
- Ondas. El espectro electromagnético.
- Temperatura. Radiación de cuerpo negro.

Cultura científica

- Los métodos de la ciencia. Uso de las TIC.
- Estudio y exploración del universo.
- Evolución de las estrellas.

Los alumnos deben conocer...

1. El concepto y las propiedades básicas de las ondas.
2. El concepto de luz como onda electromagnética.
3. Los fenómenos de reflexión, refracción y absorción de la luz.

Descripción

Estas actividades son una introducción al medio interestelar a través de observaciones reales de misiones espaciales y telescopios terrestres. Los alumnos aprenderán cuál es la naturaleza del medio interestelar, cómo afecta a las observaciones de las estrellas, y cómo puede ser detectado. Al mismo tiempo, las actividades profundizan en las propiedades del espectro electromagnético (concretamente los rangos visible e infrarrojo), incluyendo la emisión de luz por los cuerpos en función de su temperatura.

Los alumnos aprenderán...

1. Qué es el medio interestelar y cómo lo estudian los astrónomos.
2. Los conceptos de extinción óptica y enrojecimiento interestelar.
3. La emisión de luz por los cuerpos en función de su temperatura.
4. La información que puede obtenerse a partir de una imagen astronómica.

Los alumnos mejorarán...

- Su comprensión del pensamiento científico.
- Sus estrategias para trabajar según el método científico.
- Sus competencias de trabajo en grupo y de comunicación.
- Su habilidad de aplicar conocimiento teórico a situaciones reales.
- Sus competencias en el uso de las TIC.

Resumen de actividades

Título	Actividad	Objetivos	Requisitos	Tiempo
1. Luz infrarroja	Los alumnos comparan imágenes de objetos cotidianos en el visible y el infrarrojo, y discuten el origen de la emisión infrarroja de estos objetos.	<p>Los alumnos aprenderán:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las propiedades del espectro electromagnético. • Los motivos para poner telescopios en el espacio. <p>Los alumnos mejorarán:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sus competencias de trabajo en grupo y de comunicación. • Su habilidad de aplicar conocimiento teórico a situaciones reales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento básico de las propiedades de las ondas. • Conocimiento básico de las propiedades del espectro electromagnético. 	10 min
2. Conociendo ESASky	Los alumnos juegan con la aplicación para familiarizarse con ella.	<p>Los alumnos mejorarán:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sus competencias en el uso de las TIC. 	Ninguno.	15 min

Título	Actividad	Objetivos	Requisitos	Tiempo
<p>3. <i>¿Vacío u oscuro?</i></p>	<p>Los alumnos comparan imágenes de una nube oscura en diferentes rangos de longitud de onda y discuten las razones de las diferencias entre ellas.</p>	<p>Los alumnos aprenderán:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las propiedades del espectro electromagnético. • Las propiedades del polvo interestelar. • Cómo emiten luz los objetos en función de su temperatura. • Qué información puede extraerse de una imagen astronómica. • Sobre las misiones de la ESA. <p>Los alumnos mejorarán:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Su comprensión del pensamiento científico. • Sus estrategias para trabajar según el método científico. • Sus competencias de trabajo en grupo y de comunicación. • Su habilidad de aplicar conocimiento teórico a situaciones reales. • Sus competencias en el uso de las TIC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Actividad 1 completada. 	<p>20 min</p>

Título	Actividad	Objetivos	Requisitos	Tiempo
<p>4. <i>Oculto en el polvo.</i></p>	<p>Los alumnos comparan imágenes de cúmulos estelares o asociaciones en distintas longitudes de onda. Comentan las diferencias entre las imágenes y discuten cómo afecta la presencia del medio interestelar a las observaciones.</p>	<p>Los alumnos aprenderán:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las propiedades del espectro electromagnético. • Las propiedades del polvo interestelar. • Cómo afecta la presencia de polvo a la observación de las estrellas (extinción y enrojecimiento). • Qué información puede extraerse de una imagen astronómica. <p>Los alumnos mejorarán:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Su comprensión del pensamiento científico. • Sus estrategias para trabajar según el método científico. • Sus competencias de trabajo en grupo y de comunicación. • Su habilidad de aplicar conocimiento teórico a situaciones reales. • Sus competencias en el uso de las TIC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Actividad 3 completada. 	<p>25 min</p>

Título	Actividad	Objetivos	Requisitos	Tiempo
<p>5. <i>Descubriendo el Centro Galáctico.</i></p>	<p>Los alumnos comparan imágenes del centro de la Vía Láctea en distintos rangos de longitud de onda y comentan las diferencias.</p>	<p>Los alumnos aprenderán:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las propiedades del espectro electromagnético. • Las propiedades del polvo interestelar. • Cómo afecta la presencia de polvo a la observación de las estrellas (extinción y enrojecimiento). • Cómo los astrónomos emplean distintos tipos de luz para estudiar distintos objetos o fenómenos en el universo. • Qué información puede extraerse de una imagen astronómica. <p>Los alumnos mejorarán:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Su comprensión del pensamiento científico. • Sus estrategias para trabajar según el método científico. • Sus competencias de trabajo en grupo y de comunicación. • Su habilidad de aplicar conocimiento teórico a situaciones reales. • Sus competencias en el uso de las TIC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Actividad 5 completada. 	<p>15 min</p>

Introducción

El medio interestelar (ISM, por sus siglas en inglés) es la materia que llena el espacio entre las estrellas, en ocasiones formando grandes nubes, llamadas *nebulosas*. Es muy frío y mucho menos denso que cualquier vacío creado en un laboratorio. Sin embargo, a pesar de su baja densidad (1 átomo/cm^3), el medio interestelar tiene un efecto en las observaciones a causa de las enormes distancias entre las estrellas.

Un 99% del medio interestelar es gas, con un 90% de hidrógeno, 10% de helio, y trazas de otros elementos. La temperatura típica de este gas es de unos 10 K. El otro 1% del medio interestelar se encuentra en forma de polvo, formado principalmente por hierro, silicatos, carbono y hielo sucio. Típicamente, los granos de este polvo tienen un tamaño de unos pocos cientos de nanómetros (similar a la longitud de onda de la luz azul) y temperaturas en torno a los 100 K.

En esta serie de actividades, los alumnos estudian el medio interestelar en varias regiones del espacio usando imágenes reales en distintos rangos de longitud de onda. Las imágenes proceden de observaciones realizadas con misiones espaciales y telescopios terrestres. Los alumnos acceden directamente a las imágenes a través de la aplicación web *ESASky*.

El estudio del medio interestelar tiene gran importancia en Astronomía, ya que su presencia afecta a las observaciones, e ignorarlo puede conducir a interpretaciones erróneas. En particular, los primeros intentos de determinar la forma y tamaño de nuestra galaxia no fueron muy acertados, puesto que los astrónomos no conocieron la existencia del medio interestelar hasta mediados del siglo XX. Además, las nubes interestelares son las incubadoras de nuevas estrellas. Al final de sus vidas, las estrellas devuelven parte de esa materia al medio interestelar, enriquecida con elementos más pesados que el hidrógeno y el helio.

Fundamentos teóricos

En primera aproximación, la emisión de luz de las estrellas y otros objetos astronómicos se comporta como un cuerpo negro (Figura 1). Por tanto, de acuerdo con la ley del desplazamiento de Wien, la temperatura del objeto determina la longitud de onda a la que la emisión de luz es máxima:

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T} \quad (1)$$

Esto implica que los objetos astronómicos son más fáciles de observar en aquella región del espectro electromagnético correspondiente al máximo de radiación de un cuerpo negro con la misma temperatura. En el caso de las estrellas, este rango abarca desde parte del ultravioleta hasta el infrarrojo cercano, pasando por el visible. Pero debido a las bajas temperaturas de las componentes del medio interestelares, éste se detecta habitualmente tan sólo a longitudes de onda mucho más largas que la luz visible. El polvo, con temperaturas típicas en torno a los 100 K, se estudia de forma óptima en el infrarrojo lejano, y el gas, que puede alcanzar temperaturas tan bajas como 10 K, necesita ser observado en radiofrecuencias.

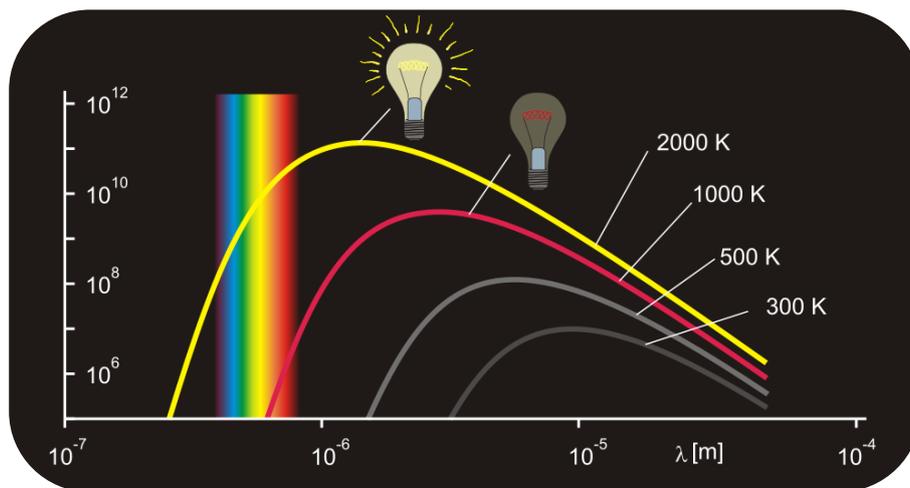


Figura 1: Curvas de radiación para cuerpos negros de distintas temperaturas. (Crédito: Wikimedia Commons)

Sin embargo, el medio interestelar puede ser estudiado en el visible gracias a su interacción con la luz proveniente de las estrellas. Aunque sólo representa una fracción muy pequeña del medio interestelar, el efecto del polvo es más fácil de observar, ya que el tamaño típico de los granos de polvo es muy similar a las longitudes de onda de la luz visible, y en particular, la luz azul y violeta. Por este motivo, los granos de polvo son capaces de absorber y dispersar la luz visible, haciendo que una región del cielo parezca vacía. Si esa misma región se observa en el infrarrojo cercano, cuyas ondas, más largas, no son absorbidas ni dispersadas por el polvo, todas las estrellas escondidas dentro y detrás del polvo quedan al descubierto.

A veces esa absorción no es completa, y todavía pueden verse algunas estrellas en las imágenes ópticas (en luz visible). Ahora bien, como la luz azul se absorbe y dispersa más que la roja, esas

estrellas parecen más rojas y más débiles de lo que realmente son (Figura 2). Estos dos fenómenos se denominan *enrojecimiento interestelar* y *extinción óptica*, respectivamente, y tienen importantes consecuencias en las medidas realizadas por los astrónomos, ya que ignorarlos llevaría a estimaciones incorrectas de la distancia y otras propiedades de las estrellas.

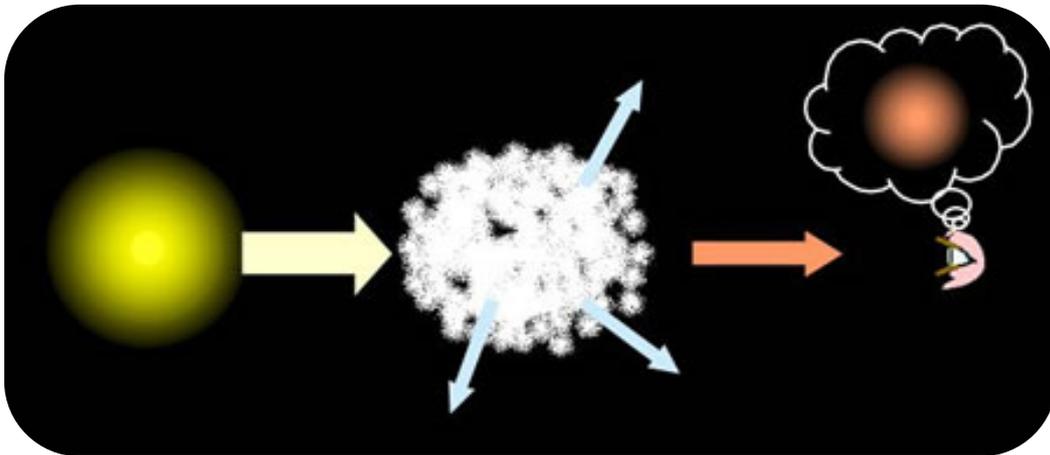


Figura 2: Efectos del medio interestelar: Una estrella situada detrás de él se verá más roja y más débil de lo que realmente es. (Crédito: COSMOS, the SAO Encyclopedia of Astronomy)

Descripción de las actividades

Actividad 1: Luz infrarroja

Esta actividad ahonda en el conocimiento de las propiedades de la luz infrarroja por parte de los alumnos, guiándolos en el descubrimiento del infrarrojo y pidiéndoles que comparen las imágenes en el visible y en el infrarrojo de objetos familiares. También se discute el concepto de que todos los objetos emiten luz a causa de su temperatura.

En primer lugar, se describe el experimento de Herschel que condujo al descubrimiento de la luz infrarroja. Si la disponibilidad de tiempo y recursos lo permiten, puede ser interesante realizar este experimento en el laboratorio. Un ejemplo del procedimiento (en inglés) puede encontrarse en la sección Enlaces.

Los alumnos tienen que estudiar imágenes de los mismos objetos en el visible y el infrarrojo (Figura 3) y responder a las preguntas planteadas. Como alternativa, si fuese posible, los alumnos podrían tomar sus propias imágenes de objetos cotidianos (cubitos de hielo, lápices, compañeros de clase, etc.) con una cámara infrarroja, y usarlas en lugar de las imágenes de la Guía del Estudiante. Como ayuda, los alumnos disponen de una figura que resume las propiedades del espectro electromagnético (Figura 1 de la Guía del Estudiante) y de una tabla que indica los rangos de temperatura correspondientes al infrarrojo cercano, medio y lejano (Tabla 1 de la Guía del Estudiante).

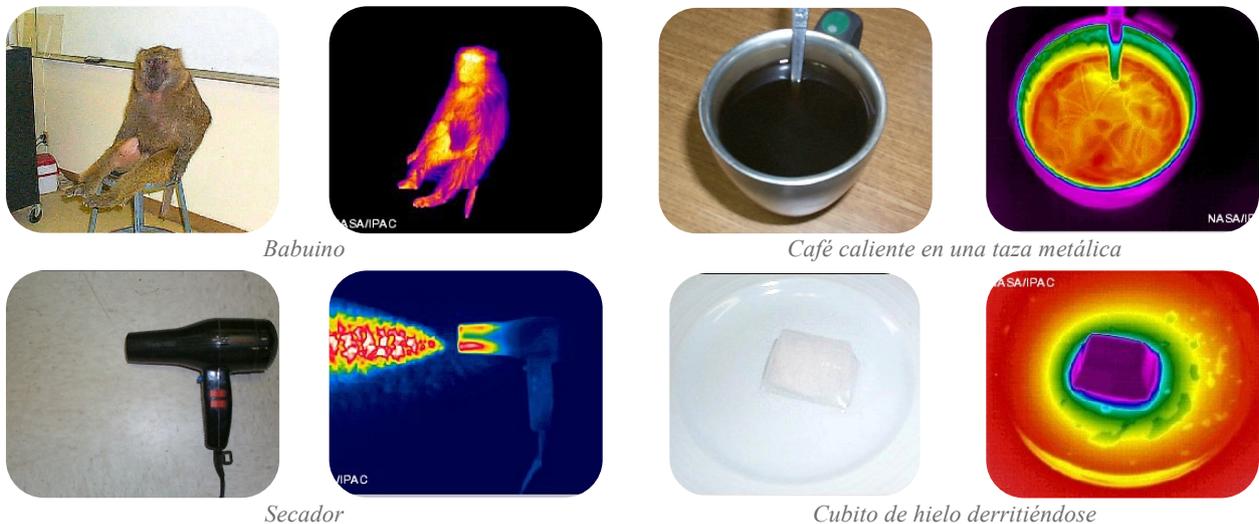


Figura 3: Imágenes de objetos familiares en el visible (izquierda) y el infrarrojo (derecha).

(Crédito: coolcosmos.ipac.caltech.edu)

[NOTA: Ésta es la Figura 4 de la Guía del Estudiante]

Respuestas a las preguntas de la Guía del Estudiante

1. Observad las imágenes de la Figura 3. Cada par de imágenes muestra el mismo objeto, en luz visible e infrarrojo.

a. ¿En qué se parecen las imágenes de cada par? ¿En qué se diferencian?

Algunas de las cosas que pueden comentar los alumnos: Las formas de los objetos son parecidas (por lo que la mayoría de las cosas son reconocibles en las imágenes infrarrojas), pero los colores son diferentes. Algunos detalles (por ejemplo, los rasgos faciales del babuino) sólo se aprecian en las imágenes en luz visible, mientras que otras (entre las que destaca el aire caliente producido por el secador de pelo) sólo se ven en el infrarrojo.

b. En las imágenes en luz visible, ¿vemos la luz que emiten los objetos? En caso negativo, ¿por qué vemos estos objetos? ¿Ocurre lo mismo con las imágenes infrarrojas?

Los alumnos deben de entender que estos objetos no emiten luz visible, y que nuestros ojos (y la cámara) los ven por la luz que reflejan. Por el contrario, en el infrarrojo, los objetos se detectan porque emiten luz infrarroja.

Puede ser necesario explicar que los colores de las imágenes infrarrojas son artificiales, simplemente una codificación conveniente para mostrar la intensidad de la emisión de luz. Por ejemplo, el café caliente se muestra en amarillo y rojo, mientras que la taza de metal, al estar más fría, aparece en magenta, y la superficie de la mesa, que está todavía a menor temperatura, en negro. Por el contrario, el cubito de hielo se ve magenta porque está más frío que el plato sobre el que se encuentra, el cual se ve rojo en la imagen. Los alumnos pueden notar cómo la temperatura del agua procedente de la fusión del hielo aumenta a medida que se aleja del cubito.

2. Si los objetos de la Figura 3 emiten sobre todo en el infrarrojo, ¿su temperatura es más alta o más baja que la de los cuerpos que emiten luz visible? Justificad vuestra respuesta con la ayuda de la Figura 1.

Con la ayuda de la Figura 1 de la Guía del Estudiante, los alumnos deberían advertir que la luz infrarroja es más larga que la luz visible, y que estos valores de longitud de onda corresponden a temperaturas menores. Por tanto, los objetos de la Figura 3 emiten sobre todo luz infrarroja a causa de sus bajas temperaturas. Puede ser interesante remarcar que incluso cosas que son muy frías (en nuestra experiencia cotidiana) emiten luz.

3. La temperatura corporal normal en los humanos es de unos 36 °C. En base a la información de la Tabla 1, ¿en qué región del infrarrojo emitimos los humanos mayor cantidad de luz. Justificad vuestra respuesta. (Recordad que: 0 K = -273 °C).

Los alumnos tienen que hacer la conversión $36 + 273 = 309$ K y comprobar con la ayuda de la Tabla 1 en sus guías que esta temperatura corresponde al infrarrojo medio.

Actividad 2: Conociendo ESASky (Optional)

Esta actividad permitirá a los estudiantes que utilicen *ESASky* por primera vez familiarizarse con la herramienta. Si ya han trabajado con *ESASky* anteriormente, pueden saltarla y pasar directamente a la Actividad 3.

Para acceder a *ESASky*, basta con introducir la URL siguiente en el navegador: <http://sky.esa.int>

En esta actividad se emplea el Modo Explorador. Éste es el modo por defecto en tabletas y teléfonos móviles, pero no en ordenadores. Si es necesario, puede seleccionarse el modo en la ventana emergente inicial o usando el conmutador de la barra superior.

Se recomienda que los alumnos trabajen en parejas o grupos pequeños, con un ordenador o tableta por grupo. Con las instrucciones y la lista de objetos proporcionada en la Guía del Estudiante, deberían de practicar lo siguiente:

- Moverse por el cielo, acercarse o alejarse de un objeto.
- Cambiar de objeto usando el campo de búsqueda (esquina superior derecha).
- Visualizar el cielo en diferentes longitudes de onda.

Actividad 3: ¿Vacío u oscuro?

En esta actividad, los alumnos estudian una de las manifestaciones más llamativas del medio interestelar: las nubes oscuras. Tienen que comparar imágenes de la Nebulosa Cabeza de Caballo en el óptico (luz visible), infrarrojo cercano e infrarrojo lejano (Figura 4), y discutir las diferencias entre ellas, así como las razones de esas diferencias.

Antes de comenzar, los alumnos tienen que crear una pila de mapas según las instrucciones proporcionadas en la Guía del Estudiante, y cargar la lista de regiones que estudiarán en ésta y las siguientes actividades, disponible entre las listas predefinidas de la aplicación con el nombre “CESAR ISM”. La lista de regiones, con sus descripciones, se resume en la Tabla 2 (Tabla 3 en la Guía del Estudiante). El primer objeto de la lista es la Nebulosa Cabeza de Caballo.

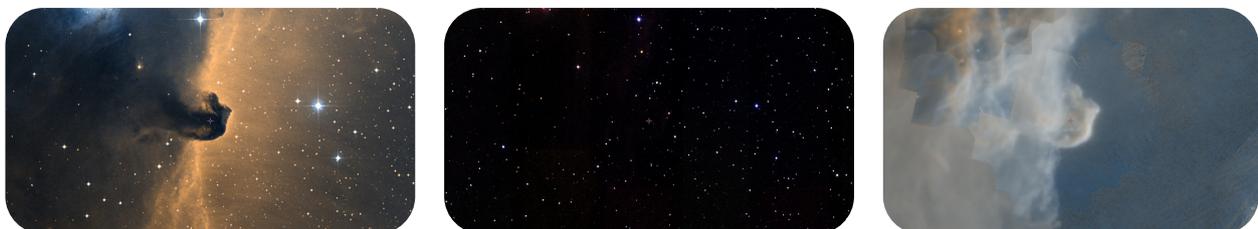


Figura 4: Imágenes de la Nebulosa Cabeza de Caballo en el visible (*DSS-2*, izquierda), infrarrojo cercano (*2MASS*, centro) e infrarrojo lejano (*Herschel-PACS*, derecha), tomadas con la funcionalidad de captura de pantalla de *ESASky*. (Crédito: *ESA/CDS*)

Acerca de las imágenes

A la hora de comparar imágenes tomadas en distintos rangos de longitud de onda, conviene remarcar a los alumnos que los colores no son reales, y que los objetos no tendrían el mismo aspecto si los observáramos con nuestros propios ojos. Una de las razones de esto es que nuestros ojos no son capaces de ver más que luz visible (rango óptico). Las imágenes han sido producidas combinando imágenes en blanco y negro tomadas con filtros concretos, y han sido coloreadas artificialmente para distinguir fácilmente las características morfológicas de los objetos. Como regla general, el color azul indica la longitud de onda más corta, y el color rojo, la más larga.

Los alumnos pueden notar también diferencias en resolución (detalle) entre las imágenes. En general, la resolución es mejor en el visible, y peor en ambos extremos del espectro; esto se debe a limitaciones de los telescopios y la instrumentación.

Tabla 2: *Regiones del cielo a estudiar*
[NOTA: Ésta es la Tabla 3 de la Guía del Estudiante]

Objeto	Descripción
Nebulosa Cabeza de Caballo	La Nebulosa Cabeza de Caballo es una nube oscura que forma parte del Complejo de Molecular de Orión. Observad primero la imagen óptica (en luz visible): ¿Por qué la nube es oscura? Ahora cargad los mapas en el infrarrojo cercano y el infrarrojo lejano. ¿Son diferentes? ¿Por qué? ¿Qué veis en cada uno de ellos?
Cygnus OB2	Cygnus OB2 es una asociación de estrellas masivas y jóvenes (calientes, azules y brillantes). Observad la imagen óptica: ¿De qué color son las estrellas que veis? Ahora cambiad al mapa en el infrarrojo cercano. ¿Cuáles son las diferencias con la imagen en el visible? ¿Hay alguna pista de que tenemos mucho polvo interestelar en esta región? ¿Cómo podríais comprobarlo?
W40	Comparad esta región de formación de estrellas masivas con la anterior, Cygnus OB2. Examinad primero la imagen óptica. ¿Hay alguna evidencia de que existe medio interestelar en W40? Observadla ahora en el infrarrojo cercano. ¿Qué se esconde entre el polvo?
Sgr A*	Ésta es la región del centro de nuestra Galaxia, totalmente desconocida para los astrónomos hasta mediados del siglo pasado. Para entender los motivos, cargad el mapa óptico y agrandad la región hasta que el campo abarcado sea de unos 12° (el tamaño se indica en la parte superior izquierda de la pantalla tras las letras "FoV"). ¿Por qué resultaba tan difícil observar el centro galáctico? ¿Qué esperáis encontrar si lo observáis en el infrarrojo lejano? ¿Y en el infrarrojo cercano?

Respuestas a las preguntas de la Guía del Estudiante

5. Comencemos estudiando el propio medio interestelar. Id al primer objeto de la lista, la Nebulosa Cabeza de Caballo (“Horsehead Nebula” en inglés). Examinad la imagen visible (“optical/DSS2”; el nombre del mapa visualizado aparece encima del botón de cielos en la esquina superior izquierda). ¿Por qué no se ven estrellas dentro de la nube? Escribid una posible explicación.

La nebulosa se ve oscura porque es opaca a la luz visible (Figura 4, izquierda). Ello se debe a que el tamaño de los granos de polvo es similar a las longitudes de onda de la luz visible, y por tanto, absorben y dispersan los fotones de esta porción del espectro electromagnético.

6. Los granos de polvo tan sólo absorben y dispersan luz de longitud de onda similar a su tamaño; la luz de longitudes de onda más largas o más cortas no se ve afectada, y simplemente atraviesa el polvo. Teniendo en cuenta que el tamaño típico de un grano de polvo interestelar es de una fracción de micra (10^{-6} m), ¿qué longitudes de onda serán absorbidas? Responded a esta pregunta con la ayuda de la Figura 1.

El tamaño de los granos de polvo es similar al de las longitudes de onda visibles, por lo que absorben y dispersan fotones de esas longitudes de onda. Ondas más largas o más cortas (infrarrojo o ultravioleta) no se ven afectadas.

7. Estudiad la imagen de la Nebulosa Cabeza de Caballo en el infrarrojo cercano (“near-infrared/2MASS”). Comparadla con la imagen óptica y explicad las diferencias.

En el infrarrojo cercano (Figura 4, centro) no se ve la nebulosa. En su lugar, el espacio ocupado en el visible por la nube oscura está lleno de estrellas. El motivo es que la luz en el infrarrojo cercano tiene longitudes de onda algo más largas que la luz visible, por lo que puede atravesar el polvo, permitiéndonos ver dentro y detrás de la nube.

8. Teniendo en cuenta que la temperatura típica del polvo interestelar es de unos 100 K, o -173 °C, ¿cuál de las tres imágenes en vuestra pila proporciona más información acerca del propio medio interestelar? Consultad la Figura 1 y la Tabla 1 para encontrar la respuesta a esta pregunta.

En esta pregunta se ponen a prueba los conocimientos de los alumnos de las propiedades de la radiación de cuerpo negro. Suponiendo que la nebulosa emite como un cuerpo negro, por su temperatura (unos 100 K), cabe esperar que emita principalmente en el rango infrarrojo lejano (con longitudes de onda muy largas). En efecto, en la imagen en el infrarrojo lejano (Figura 4, derecha) se ve de nuevo la nebulosa, esta vez en emisión.

9. El gas interestelar es todavía más frío que el polvo, con temperaturas típicas que rondan los 10 K, or -263 °C. De acuerdo con la Figura 1, ¿qué tipo de telescopio se necesita para observar este gas de manera directa?

Con la ayuda de la Figura 1 de la Guía del Estudiante, los alumnos deberían advertir que los cuerpos con una temperatura tan baja como 10 K emiten principalmente ondas de radio.

Actividad 4: Oculto en el polvo

En la siguiente actividad, los alumnos examinan otras dos regiones del cielo, Cygnus OB2 y W40, usando *ESASky* para descubrir otros efectos menos evidentes del medio interestelar en la observación de las estrellas: la extinción óptica y el enrojecimiento interestelar.

En primer lugar, los alumnos examinan las imágenes ópticas para ver cómo las estrellas tienen un aspecto diferente de lo que se esperaría en base a sus propiedades conocidas. Después estudian las imágenes en el infrarrojo cercano y lejano para descubrir cómo la presencia del medio interestelar está afectando las observaciones en el rango visible.

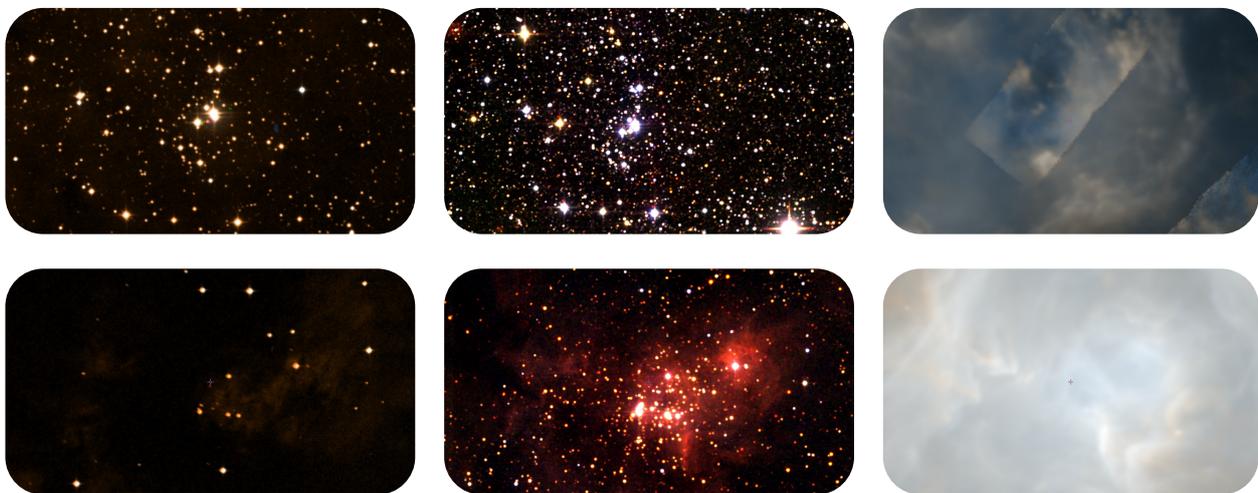


Figure 5: Imágenes of Cygnus OB2 (arriba) y W40 (abajo) en el visible (DSS-2, izquierda), infrarrojo cercano (2MASS, centro) e infrarrojo lejano (Herschel-PACS, derecha), tomadas con la funcionalidad de captura de pantalla de *ESASky*. (Crédito: ESA/CDS)

Para ayudarles con su análisis, se proporciona información acerca del proceso que produce el cielo azul y los atardeceres rojizos en la Tierra. Los alumnos deberían usar esto como una analogía para explicar lo que está sucediendo en ambas regiones, teniendo en cuenta que las partículas de polvo actúan de manera similar a las moléculas de gas en la atmósfera terrestre.

Respuestas a las preguntas de la Guía del Estudiante

1. Observad Cygnus OB2 en el mapa en luz visible (“optical/DSS2”).

a. ¿Podéis ver muchas estrellas en esta imagen? ¿Qué aspecto tienen?

Cygnus OB2 destaca como una asociación rica en estrellas rojizas en el mapa óptico (Figura 5, arriba a la izquierda), las cuales tienden a concentrarse en la parte central del cúmulo, que es también donde se ven las estrellas más brillantes.

- b. Se sabe que las estrellas en Cygnus OB2 son calientes, masivas y azuladas. ¿Pero las estrellas de la imagen óptica tienen este aspecto? En caso negativo, ¿cuál puede ser el motivo? (Pista: Mirad la Figura 2)

Las estrellas en la imagen se ven más rojizas que azuladas. Puesto que nos dicen que en realidad son calientes y azules, su color no puede deberse a su temperatura. Algo está absorbiendo y dispersando la luz azul procedente de estas estrellas, de manera que principalmente nos llega luz roja. Ese algo tiene que ser el polvo interestelar, como muestra la Figura 2 (también en la Guía del Estudiante). Si esto es así, las estrellas deberían también ser más brillantes de lo que parece, a causa de esta pérdida de luz.

2. Ahora, examinad Cygnus OB2 en el infrarrojo cercano (mapa “near-infrared/2MASS”).

- a. ¿Qué diferencias veis entre esta imagen y la imagen visible? Describidlas.

El mapa 2MASS en el infrarrojo cercano (Figura 5, arriba y en el centro) revela un gran número de estrellas que no se observan en el óptico, lo que hace que la asociación se vea aún más poblada. Los alumnos pueden comentar también que, aunque todas las estrellas muestran colores similares en la imagen visible, presentan una variedad de colores en el infrarrojo cercano. Conviene recordarles que los colores de la imagen en el infrarrojo cercano son artificiales, y para nada se corresponden con lo que vería nuestro ojo, ya que no podemos ver la luz infrarroja. Estos colores se emplean simplemente para indicar diferencias de temperatura (diferencias en la pendiente de la curva de emisión del cuerpo negro en este rango de longitudes de onda).

- b. En la imagen infrarroja se ven estrellas que no se observan en la imagen visible. ¿Por qué? Cargad el mapa en el infrarrojo lejano para averiguarlo.

Algunas estrellas no se observan en la imagen óptica porque están ocultas en el polvo, ya que las partículas de polvo absorben y dispersan la luz visible. La luz en el infrarrojo cercano no se absorbe porque tiene longitudes de onda más largas (sólo la luz con longitudes de onda similares al tamaño de los granos de polvo es absorbida y dispersada).

Un vistazo al mapa infrarrojo (Figura 5, arriba a la derecha) confirma esta explicación, revelando una nube de polvo en la ubicación de la asociación estelar. Aunque, a diferencia de la Nebulosa Cabeza de Caballo, no forma una nebulosa en la imagen óptica, este polvo afecta a la forma en que observamos Cygnus OB2 en luz visible. La nube emite en el infrarrojo lejano a causa de su baja temperatura.

3. Pasad a la región siguiente, W40. Comparad las imágenes de este cúmulo estelar en los tres tipos de luz.

- a. Describid las diferencias entre las tres imágenes y explicad por qué aparecen. (Pista: Podéis comparar con el efecto de la atmósfera terrestre en la luz proveniente del Sol.)

En la imagen óptica (Figura 5, abajo a la izquierda) sólo vemos unas pocas estrellas dispersas; por el contrario, la imagen en el infrarrojo cercano (Figura 5, abajo en el centro) revela un cúmulo estelar muy rico. De nuevo, el hecho de que todas esas estrellas estén ocultas en la imagen óptica, junto al color rojizo de las pocas estrellas visibles, sugiere la presencia de polvo interestelar. De hecho, la imagen visible también muestra algunas trazas de una nube rojiza.

Las diferencias entre ambas imágenes se explican por las diferencias en longitud de onda. En el visible, la luz es absorbida y dispersada por los granos de polvo; como (al igual que sucede en la atmósfera terrestre) la luz azul se absorbe y dispersa más que la roja, las pocas estrellas que vemos tienen un color más rojizo y son más débiles de lo que cabría esperar (igual que sucede con el Sol al atardecer). Por otro lado, la luz en el infrarrojo cercano, al ser más larga, atraviesa el polvo sin problemas, permitiéndonos ver dentro y detrás de él.

La presencia de polvo se confirma en la imagen en el infrarrojo lejano (Figura 5, abajo a la derecha), la cual revela una nube brillante en la posición de W40. En este caso no vemos estrellas, puesto que, a estas longitudes de onda tan largas, estamos detectando objetos de temperatura mucho menor que la de las estrellas más frías.

b. ¿Cómo cambiaría la imagen óptica de W40 si no hubiese polvo interestelar? ¿Las estrellas serían más o menos brillantes? ¿Cambiaría su color? Justificad vuestras respuestas.

Si no hubiera polvo, la imagen óptica de W40 sería muy parecida a la imagen en el infrarrojo cercano, mostrando un cúmulo estelar muy rico. Las estrellas que ya vemos serían más brillantes y más azuladas, ya que no habría nada que absorbiera y dispersara la luz azul.

4. ¿Cómo se llaman los dos efectos del polvo interestelar que has observado en estas dos regiones? Escribe una definición para cada uno de ellos.

Estas dos regiones son ejemplos típicos de enrojecimiento interestelar y extinción óptica.

- Enrojecimiento interestelar: Como se absorbe y dispersa más luz azul que roja, detectamos principalmente la luz roja de estas estrellas, por lo que se ven más rojas de lo que son en realidad.
- Extinción óptica: Puesto que el polvo absorbe y dispersa la luz, las estrellas parecen más débiles de lo que deberían sólo por el efecto de la distancia.

5. ¿Qué región creéis que contiene más polvo, Cygnus OB2 o W40? ¿Por qué?

W40 parece contener más polvo que Cygnus OB2. Se ve más brillante en la imagen en el infrarrojo lejano, y si bien resulta ser un cúmulo tan rico como Cygnus OB2 en el infrarrojo cercano, en el visible parece contener muchas menos estrellas.

6. Una fuente de luz parece más débil cuanto más lejos se encuentra. Imaginad un astrónomo que está intentando medir la distancia a las estrellas en estas dos regiones a partir de su brillo en las imágenes en luz visible. Si este astrónomo no supiese nada del medio interestelar, ¿cómo afectaría a sus mediciones? ¿Las distancias estimadas serían mayores o menores que las distancias reales? Justificad vuestra respuesta.

Puesto que la presencia del medio interestelar hace que las estrellas parezcan menos luminosas, este efecto se suma al de la distancia. En consecuencia, si no se tiene en cuenta, parecerá que las estrellas se encuentran más lejos de lo que están. Por tanto, los astrónomos sobreestimarán las distancias.

Actividad 5: Descubriendo el centro galáctico

En esta última actividad se estudia la presencia de medio interestelar en el centro de nuestra Galaxia. Los alumnos tendrán que aplicar los conocimientos adquiridos en las actividades anteriores, haciendo una predicción sobre el aspecto de esta región en el infrarrojo cercano y lejano. Después, considerarán un modelo de la Vía Láctea propuesto a comienzos del siglo XX y analizarán por qué, en aquella época, resultaba tan difícil estudiar el centro de nuestra Galaxia.

Esta actividad también ilustra cómo cambia el conocimiento científico a medida que se realizan nuevos descubrimientos. En este caso concreto, cómo el descubrimiento del medio interestelar permitió a los astrónomos comprender que la imagen que tenían de la Vía Láctea estaba equivocada. Puede servir como introducción al tema de la estructura galáctica, o animar a los alumnos a especular qué se esconde detrás de todo ese polvo en el centro de nuestra Galaxia.



Figure 6: Imágenes del centro galáctico en el visible (DSS-2, izquierda), infrarrojo cercano (2MASS, centro) e infrarrojo lejano (Herschel-PACS, derecha), tomadas con la funcionalidad de captura de pantalla de ESASky. (Crédito: ESA/CDS)

Siguiendo las instrucciones de la Guía del Estudiante, los alumnos tienen que pasar al último objeto de la lista, Sagittarius A* (Sgr A*). Es necesario agrandar el campo hasta un tamaño de unos 12 grados para apreciar que, en efecto, se trata del centro galáctico. Desde esta perspectiva, podrán reconocer la Vía Láctea como una estructura alargada que cruza la región de cielo visualizada (Figura 6); esta estructura es en realidad el disco galáctico.

En caso de necesidad, los alumnos pueden realizar alguna investigación que les ayude a responder a las preguntas planteadas en la Guía del Estudiante.

Respuestas a las preguntas de la Guía del Estudiante

1. Cargad el mapa óptico (DSS2), id al último objeto de la lista, Sgr A* (una intensa fuente de radio cerca del centro galáctico), y alejaos hasta que la región visualizada tenga un tamaño de unos 12° (el tamaño se indica en la parte superior de la ventana, tras las letras "FoV"). ¿Por qué era tan difícil observar el centro galáctico en luz visible?

Con un campo de 12 grados aproximadamente, los alumnos pueden ver claramente el disco galáctico y que el área central es mucho más oscura que los alrededores (Figura 6, izquierda). Basándose en los conceptos discutidos en las actividades anteriores, deberían de ser capaces de explicar que el centro de nuestra Galaxia es muy rico en polvo interestelar, y que ese polvo nos impide ver el centro propiamente dicho.

Con ello, los alumnos deberían concluir que la presencia de una gran cantidad de polvo obstaculizó los primeros intentos de hacer un mapa de la Vía Láctea.

2. ¿Qué tipo de luz usaríais para observar las estrellas cerca del centro galáctico? Justificad vuestra respuesta.

La luz en el infrarrojo cercano es la más adecuada para ver a través del polvo y estudiar las estrellas cerca del centro galáctico, ya que, por su longitud de onda, no es bloqueada por los granos de polvo.

Antes de observarlo en los mapas correspondientes, se puede pedir a los estudiantes que hagan una predicción acerca del aspecto de esta región tanto en el infrarrojo cercano como lejano. Puesto que la luz en el infrarrojo cercano puede penetrar el polvo, el mapa 2MASS (Figura 6, centro) revela tal cantidad de estrellas, y tan próximas entre ellas, que resulta difícil separarlas con la vista. La imagen en el infrarrojo lejano (Figura 6, derecha) confirma la gran cantidad de polvo existente en esta parte de nuestra Galaxia.

3. ¿Hay alguna señal de la presencia de medio interestelar en la imagen visible (optical/DSS2)?

Los alumnos pueden indicar las evidencias siguientes:

- Áreas oscuras a causa del polvo que bloquea la luz visible
- Al agrandar el campo, se ven estrellas enrojecidas.

En 1922, el astrónomo holandés Jacobus Kapteyn propuso un modelo de la Vía Láctea en que nuestra galaxia tenía forma de lente con un diámetro de 30.000 años luz. En este modelo, el Sol se encontraba relativamente cerca del centro de la Vía Láctea, a una distancia de tan sólo 2.000 años luz. Kapteyn también sugirió que la densidad de estrellas disminuía con la distancia al centro (Figura 6). Para obtener estos números, lo que hizo fue contar las estrellas en el cielo en todas direcciones, teniendo en cuenta que se ven más débiles cuanto más lejos se encuentran.



Figura 7: Modelo de Kapteyn de la Vía Láctea (Crédito: CESAR)
[NOTA: Ésta es la Figura 6 de la Guía del Estudiante.]

Actualmente sabemos que el modelo de Kapteyn no es correcto. La Vía Láctea tiene un diámetro de al menos 100.000 años luz, y el Sol en realidad se encuentra bastante lejos del centro, a una distancia de unos 26.500 años luz. (Nota: 1 año luz = 9.461×10^{12} km).

4. Explicad cómo afectó a las medidas de Kapteyn la presencia del medio interestelar, que entonces todavía no se conocía.

La consecuencia más evidente de la presencia del medio interestelar es que Kapteyn no podía ver el centro de la Vía Láctea, al pensar erróneamente que había muy pocas estrellas en aquella región. Esto afectó su conteo de estrellas y su estimación de la densidad de estrellas en esa zona.

Puesto que hay medio interestelar por todos lados, en realidad, las cuentas de Kapteyn estaban equivocadas en todas direcciones. Puesto que la cantidad de medio interestelar a lo largo de la línea de visión tiene un efecto aditivo, esto le impedía ver mucho más allá de la vecindad solar, por lo que, aparentemente, el número de estrellas disminuía con la distancia. Todo ello le llevó a pensar que nuestra Galaxia era mucho más pequeña de su tamaño real, y que el Sol se encontraba cerca del centro.

Enlaces

Otros Casos Científicos relacionados

- *Los colores de la Astronomía:*
[http://cesar.esa.int/index.php?Section=The colours of the astronomy](http://cesar.esa.int/index.php?Section=The%20colours%20of%20the%20astronomy)
- *Los secretos de las galaxias:*
[http://cesar.esa.int/index.php?Section=The Secrets of Galaxies&ChangeLang=es](http://cesar.esa.int/index.php?Section=The%20Secrets%20of%20Galaxies&ChangeLang=es)

Medio interestelar

Para estudiantes:

- CESAR Booklet: *The Interstellar Medium*: http://cesar.esa.int/upload/201801/ism_booklet.pdf
- *Ask an Astronomer! What's between the stars?* (video):
<http://www.spitzer.caltech.edu/video-audio/161-ask2008-006-What-s-Between-the-Stars->

Para profesores:

- *The Interstellar Medium, an online tutorial*: <http://www-ssg.sr.unh.edu/ism/what1.html>

Luz infrarroja y misiones de la ESA

- ESA's fleet across the spectrum (póster):
<http://sci.esa.int/education/59465-esa-fleet-across-the-spectrum-poster/>

Para estudiantes:

- CESAR Booklet: *The electromagnetic spectrum*
http://cesar.esa.int/upload/201711/electromagnetic_spectrum_booklet_wboxes.pdf
- TED-ED: *Light waves, visible and invisible*
<https://ed.ted.com/lessons/light-waves-visible-and-invisible-lucianne-walkowicz>

Para profesores:

- *A brief history of infrared astronomy*:
<http://sci.esa.int/herschel/59550-a-brief-history-of-infrared-astronomy/>
- Herschel's experiment for the classroom:
http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_classroom/classroom_activities/herschel_experiment.html
- Science@ESA: *Exploring the infrared universe* (video)
<http://sci.esa.int/education/44698-science-esa-episode-3-exploring-the-infrared-universe/>
- Blackbody radiation: <http://sci.esa.int/education/48986-blackbody-radiation/>
- Science in School: *More than meets the eye: the cold and the distant Universe*
<http://www.scienceinschool.org/content/more-meets-eye-cold-and-distant-universe>

ESASky

- Documentación general: <https://www.cosmos.esa.int/web/esdc/introduccion-a-esasky>
- *Cómo usar ESASky en Modo Explorador* (video): <https://youtu.be/sBJ196dnbJo>