



Caso Científico CESAR

Los colores de la Astronomía

Observando el universo visible e invisible

Guía del Profesor

Índice

Ficha didáctica	4
Resumen de actividades	5
Introducción	8
Fundamentos teóricos	10
Descripción de las actividades	12
Actividad 1: La luz en la vida cotidiana	12
Actividad 2: Conociendo ESASky (Opcional).....	14
Actividad 3: Observando todos los tipos de luz	15
Actividad 4: El universo multicolor	17
Actividad 5: A todo color.....	20
Apéndice: Información sobre los objetos	22
Enlaces	45

Ficha didáctica

<p>DATOS BÁSICOS</p> <p>Rango de edad: 14-18</p> <p>Tipo: Actividad didáctica</p> <p>Complejidad: Media</p> <p>Tiempo de preparación: 1 hour</p> <p>Tiempo lectivo requerido: 1 hora 30 minutos</p> <p>Ubicación: Interior</p> <p>Incluye el uso de: Ordenadores, internet, aplicación web <i>ESASky</i></p>	<p>Descripción</p> <p>En estas actividades, los alumnos estudian algunos objetos astronómicos de diferentes tipos para ver cómo cambia su aspecto dependiendo del rango de longitud de onda de la observación. Con ello, aprenden algunas ideas básicas sobre el espectro electromagnético y los distintos tipos de telescopios que existen. Al mismo tiempo, descubren cómo los astrónomos investigan los diferentes fenómenos que tienen lugar en el universo gracias a los diferentes tipos de luz producidos en esos procesos.</p>
<p>Currículum</p> <p>Física</p> <ul style="list-style-type: none"> • El método científico. • Utilización de tecnologías de la información y la comunicación. • Ondas. El espectro electromagnético. • Temperatura. Radiación de cuerpo negro. <p>Cultura científica</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los métodos de la ciencia. Uso de las TIC. • Estudio y exploración del universo. • Los niveles de agrupación en el Universo. • Evolución de las estrellas. 	<p>Los alumnos aprenderán...</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Las propiedades del espectro electromagnético. 2. Los distintos fenómenos responsables de la emisión de luz por los objetos astronómicos. 3. Cómo usan los astrónomos distintos tipos de luz para estudiar distintos objetos o fenómenos en el universo. 4. Las razones para mandar telescopios al espacio. 5. La información que puede obtenerse a partir de una imagen astronómica. 6. Algunas ideas básicas sobre una variedad de objetos astronómicos.
<p>Los alumnos deben conocer...</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. El concepto y las propiedades básicas de las ondas. 2. El concepto de luz como onda electromagnética. 	<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.

Resumen de actividades

Título	Actividad	Objetivos	Requisitos	Tiempo
1. <i>La luz en la vida cotidiana</i>	Los alumnos discuten cuántos tipos diferentes de luz existen y cómo los usamos en nuestra vida normal.	<p>Los alumnos aprenderán:</p> <ul style="list-style-type: none"> Las propiedades del espectro electromagnético. <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 de las propiedades básicas de las ondas. Conocimiento de las ideas básicas sobre el espectro electromagnético. 	10 min
2. <i>Conociendo ESASky</i>	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
3. <i>Observando todos los tipos de luz</i>	Los alumnos descubren los distintos telescopios que existen y para qué se usan.	<p>Los alumnos aprenderán:</p> <ul style="list-style-type: none"> Las propiedades del espectro electromagnético. Los distintos fenómenos responsables de la emisión de luz por objetos astronómicos. Los tipos y usos de los telescopios espaciales y terrestres. Acerca de 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. 	20 min

Título	Actividad	Objetivos	Requisitos	Tiempo
4. <i>El universo multicolor</i>	Los alumnos examinan imágenes de un objeto astronómico a lo largo del espectro y especulan sobre el origen de las diferencias.	<p>Los alumnos aprenderán:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las propiedades del espectro electromagnético. • Los distintos fenómenos responsables de la emisión de luz por objetos astronómicos. • Cómo usan los astrónomos distintos tipos de luz para estudiar distintos objetos o fenómenos en el universo. • La información que puede obtenerse a partir de una imagen astronómica. • Algunas ideas básicas sobre una variedad de objetos astronómicos. <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. 	30 min

Título	Actividad	Objetivos	Requisitos	Tiempo
5. <i>A todo color</i>	Los alumnos realizan una investigación en profundidad de un objeto astronómico de su elección, y la presentan al resto de la clase.	<p>Los alumnos aprenderán:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las propiedades del espectro electromagnético. • Los distintos fenómenos responsables de la emisión de luz por objetos astronómicos. • Cómo usan los astrónomos distintos tipos de luz para estudiar distintos objetos o fenómenos en el universo. • La información que puede obtenerse a partir de una imagen astronómica. • Algunas ideas básicas sobre una variedad de objetos astronómicos. <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 4 completada. 	

Introducción

La naturaleza y constituyentes del espectro electromagnético (Figura 1, también en la Guía del Estudiante) se fueron estableciendo gradualmente a lo largo del siglo XIX y principios del siglo XX, después del descubrimiento pionero de William Herschel de la radiación infrarroja. A medida que se desarrollaba la tecnología necesaria, los astrónomos comenzaron a estudiar el cielo en todo el espectro, realizando descubrimientos asombrosos que demostraron que los objetos astronómicos son a menudo mucho más complejos de lo que se pensaba en un principio.

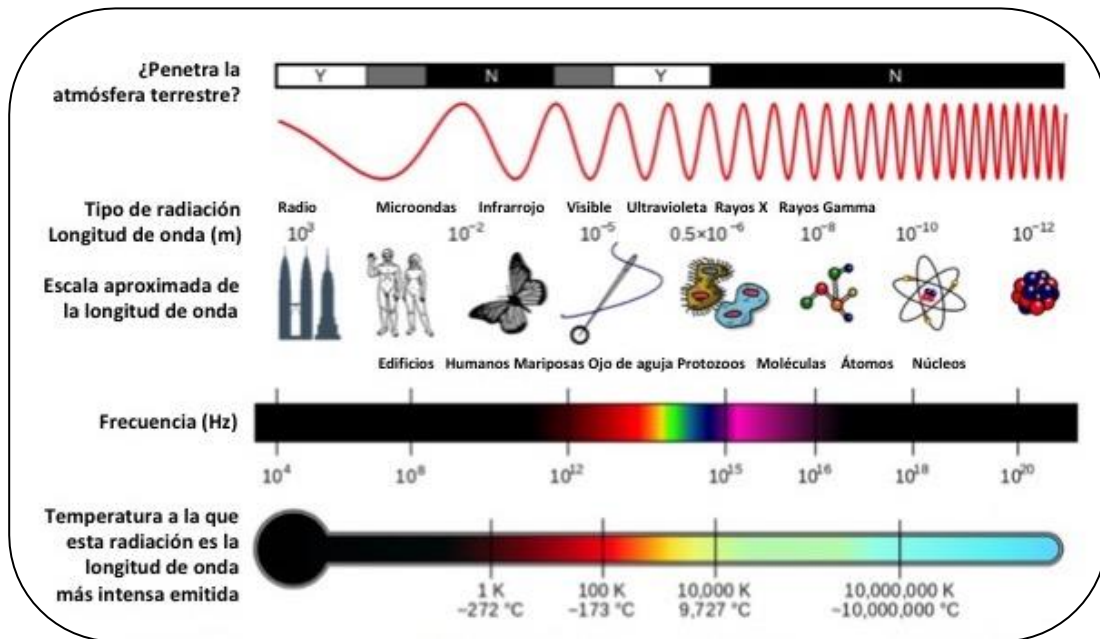


Figura 1: Propiedades del espectro electromagnético. (Crédito: Wikimedia Commons)

La Tabla 1 (también en la Guía del Estudiante) proporciona algunos ejemplos de fuentes astronómicas que emiten en regiones diferentes del espectro, y los rangos de temperatura y energía a los que corresponden. Dado que varios de estos fenómenos están asociados entre sí, es muy importante observar los objetos astronómicos en distintos rangos de longitud de onda (frecuencia). Ésta es la única manera de comprender realmente lo que está sucediendo en estos objetos.

Sin embargo, desde tierra no pueden llevarse a cabo observaciones multifrecuencia, porque la atmósfera terrestre bloquea la mayor parte de la radiación, excepto el rango visible y algunas ventanas en el ultravioleta, el infrarrojo y las ondas de radio. La barra situada en la parte superior de la Figura 1 proporciona información acerca de la transparencia de la atmósfera a la luz de una determinada longitud de onda.

Para poder observar el espectro completo, los telescopios deben de situarse en el espacio, donde la atmósfera no representa un problema. De esta forma, los objetos astronómicos pueden observarse en todos los rangos de longitud de onda, y es posible obtener una idea precisa de lo que sucede en ellos. Un segundo motivo para enviar telescopios al espacio, incluso si la luz que detectan es observable desde tierra, es el de evitar las distorsiones que provoca la atmósfera, mejorando así la calidad de las imágenes.

Tabla 1: Ejemplos de objetos astronómicos que emiten en cada rango del espectro electromagnético.*

Tipo de radiación	Temperatura	Energía	Ejemplos
Rayos gamma	$>10^8$ K	$> 2 \times 10^{-14}$ J	Materia cayendo en un agujero negro
Rayos X	10^6 - 10^8 K	2×10^{-17} - 2×10^{-14} J	Gas caliente en remanentes de supernova Coronas estelares Estrellas de neutrones
Ultravioleta	10^4 - 10^6 K	5×10^{-19} - 2×10^{-17} J	Gas caliente en remanentes de supernova Estrellas muy calientes
Visible	10^3 - 10^4 K	3×10^{-19} - 5×10^{-19} J	Estrellas Planetas calientes
Infrarrojo	10 - 10^3 K	2×10^{-22} - 3×10^{-19} J	Estrellas muy frías Planetas Nubes frías de polvo
Microondas y radio	<10 K	$< 2 \times 10^{-22}$ J	Nubes frías de gas Electrones moviéndose en campos magnéticos

**Adaptado de: NASA/Imagine the Universe!*

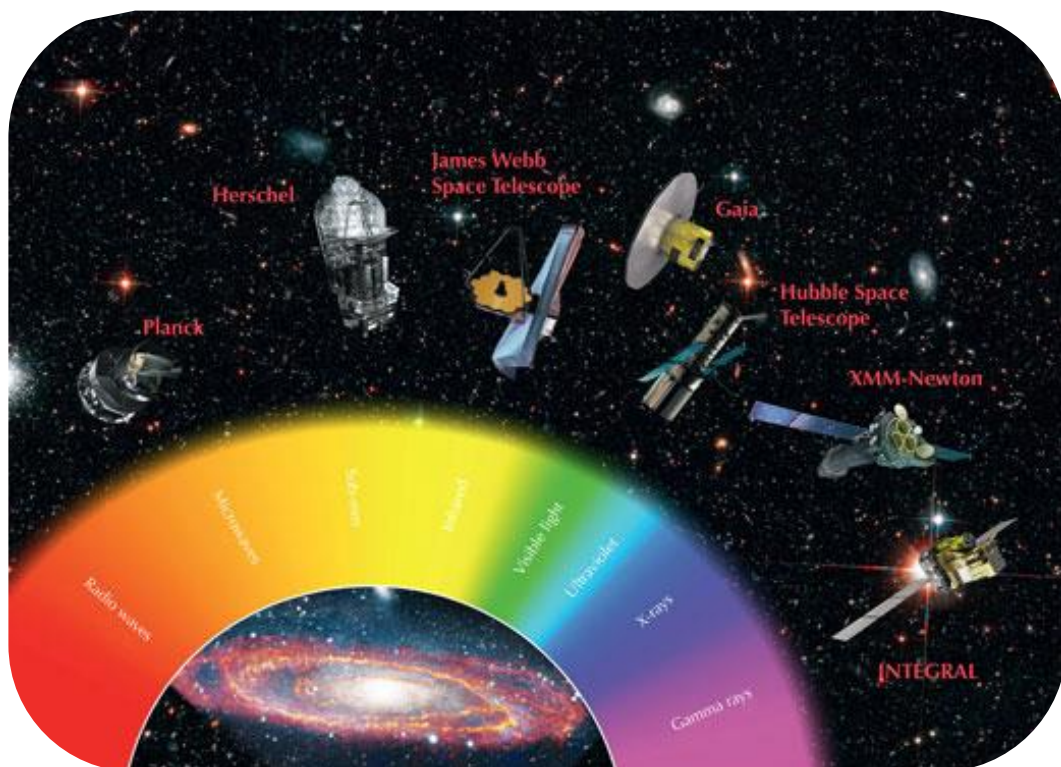


Figura 3: Flota de telescopios de la Agencia Espacial Europea a lo largo de todo el espectro. (Credit: ESA)

Fundamentos teóricos

La emisión luminosa de las estrellas y otros objetos astronómicos se aproxima bastante bien a la curva de radiación de un cuerpo negro (Figura 3), lo que significa que esta emisión se debe principalmente a la temperatura de la fuente. Dicha *emisión térmica* cumple las leyes habituales del cuerpo negro, y en particular, la ley del desplazamiento de Wien, la cual afirma que el valor de longitud de onda para el máximo de la curva se relaciona con la temperatura de la manera siguiente:

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

donde b es la constante de desplazamiento de Wien. Así pues, muchos objetos astronómicos se detectan más fácilmente en la región del espectro electromagnético donde se encuentra el máximo de emisión de un cuerpo negro de la misma temperatura. En el caso de las estrellas, este rango abarca desde parte del ultravioleta hasta el infrarrojo cercano, pasando por el visible.

La cantidad de energía emitida por un cuerpo negro también depende de la longitud de onda en el máximo, según la ley de Stefan-Boltzmann:

$$E = \sigma T^4 = \sigma \left(\frac{b}{\lambda_{max}} \right)^4 \quad (2)$$

siendo σ la constante de Boltzmann. De donde se concluye que un objeto que emite principalmente rayos gamma producirá mucha más energía que un cuerpo que emite sobre todo ondas de radio.

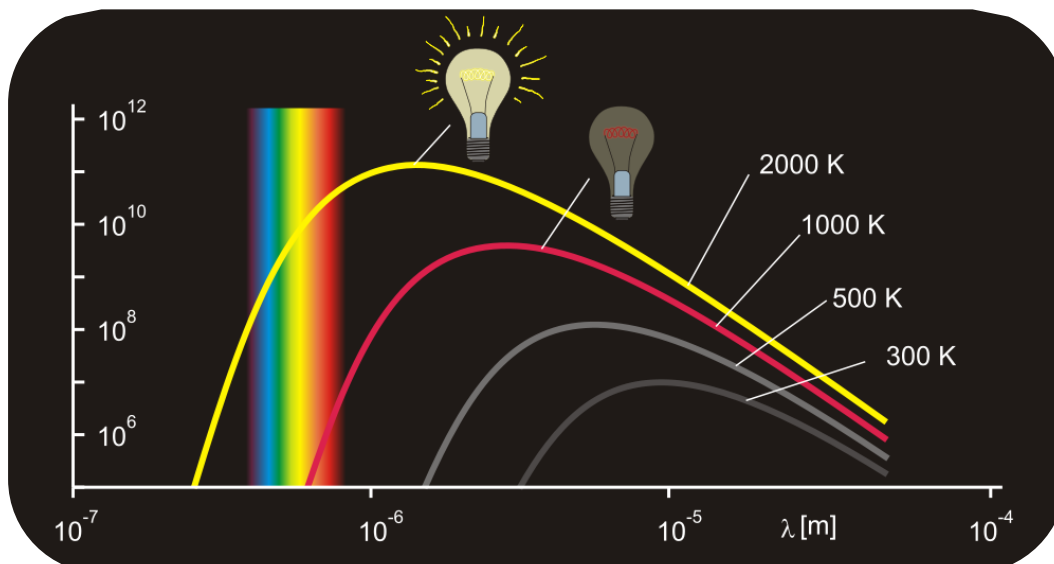


Figura 2: Curvas de emisión de cuerpos negros de distintas temperaturas. (Crédito: Wikimedia Commons)

Ahora bien, existen objetos astronómicos cuya emisión de luz no se comporta como un cuerpo negro. En otras palabras, la emisión no se puede explicar tan sólo por la temperatura de esos objetos. Por ejemplo, electrones moviéndose en el seno de un campo magnético describen espirales en torno a las líneas de campo, lo que genera una emisión de luz en forma de ondas de

radio. Este fenómeno se conoce como *radiación sincrotrón*, y es un ejemplo de *radiación no térmica* que se encuentra con frecuencia en el gas de las remanentes de supernova (nubes creadas cuando las capas externas de una estrella son expulsadas en una explosión de supernova).

Descripción de las actividades

Actividad 1: La luz en la vida cotidiana

En esta actividad, los alumnos reflexionan acerca de su conocimiento del espectro electromagnético y cómo lo utilizan en la vida cotidiana. Se puede introducir el tema comprobando cómo están de familiarizados los alumnos con los distintos tipos de radiación electromagnética. Algunas posibles preguntas para guiar la discusión pueden ser:

- *¿Cómo explicaríais qué es la luz?*
- *¿Cuál es el origen de los colores del arco iris? ¿Cuál es la diferencia entre la luz que podemos ver y la que no?*
- *¿Qué significa radiación? ¿Toda la radiación es peligrosa?*
- *¿Cómo usamos la luz invisible en nuestra vida cotidiana?*

Las respuestas a estas preguntas variarán en función de la edad y conocimientos previos de los alumnos. Por ejemplo, los estudiantes de mayor edad podrían responder a la primera pregunta que la luz es tanto una onda como una partícula, pero los alumnos más jóvenes probablemente no tengan ningún conocimiento de Física Cuántica, por lo que responderán que la luz es una onda. Todos los grupos de edad deberían de entender que los diferentes colores son la forma en que nuestros ojos interpretan las distintas longitudes de onda de la luz visible, y que la diferencia con otros tipos de luz es simplemente que sus longitudes de onda no son detectables por los humanos.

Si bien los alumnos probablemente hayan oído el término “radiación” con anterioridad, puede que no sean capaces de definirlo (sobre todo los más jóvenes) como la transferencia de energía sin que exista contacto entre la fuente y el receptor. Conviene aportar ejemplos (como los radiadores de calor) para ayudarles a entender que la radiación no siempre implica daño para los seres vivos.

La Guía del Estudiante plantea una serie de preguntas para complementar estas reflexiones. Es posible que los alumnos tengan que investigar para hallar las respuestas. Esta parte de la actividad puede proponerse como tarea para casa, en preparación para la lección.

Respuestas a las preguntas de la Guía del Estudiante

1. ¿Se os ocurren nombres de cosas cotidianas que emiten luz visible e invisible? ¿Qué nos está contando la luz sobre estos objetos? ¿Conocéis aparatos que usen distintos tipos de luz? ¿Para qué se utiliza la luz en cada caso? Escribid algunos ejemplos en la tabla siguiente:

Tabla A

Tipo de luz	Fuentes	Usos
Rayos gamma	Materiales radioactivos	Radioterapia (medicina)
Rayos X	Máquina de radiografías Scanner de seguridad de un aeropuerto (para equipajes)	Radiografía (medicina) Ver el contenido de las maletas
Ultravioleta	Sol Cabina de rayos UVA	Ponerse moreno/a Terapia UV (medicina) Detectar billetes falsos
Óptico (Visible)	Sol Bombillas	Ver cosas
Infrarrojo	Seres vivos Radiador Control remoto	Calefacción Comunicaciones (en rango corto)
Microondas	Horno microondas Teléfono móvil Wi-Fi	Cocinar Comunicaciones
Radio	Aparato de radio y TV Radar	Comunicaciones Detección por radar

2. ¿Qué tipos de luz son especialmente dañinos para los humanos y otros seres vivos en la Tierra? ¿Por qué motivo? (Pista: Mirad la Tabla 1 y la Figura 1)

Los alumnos deberían reconocer los rayos gamma y los rayos X como la radiación más peligrosa, puesto que pueden penetrar el cuerpo humano y matar sus células. Con la ayuda de la Tabla 1 y de la Figura 1 (con la misma numeración en la Guía del Estudiante), deberían concluir que la razón es que estos tipos de luz tienen mucha energía y las longitudes de onda más cortas (frecuencias más altas). Según este razonamiento, la radiación ultravioleta es el tercer tipo más peligroso; probablemente sepan que la luz ultravioleta del Sol es la responsable del bronceado y de las quemaduras solares en la piel.

Conviene aclarar que la radiación electromagnética es peligrosa si hay sobreexposición. Debido a la alta energía y frecuencia de los rayos X, la exposición a éstos (como en una radiografía) debe de ser muy corta para evitar daños. La intensidad también es un factor: No es lo mismo tomar el sol en la playa en un día nublado que en un día soleado, o usar una cabina de rayos UVA; la cantidad de tiempo necesaria para que la piel sufra daños varía significativamente, a causa de la diferente intensidad de la radiación ultravioleta.

Los estudiantes más avanzados pueden discutir la diferencia entre radiación ionizante (con suficiente energía para arrancar a los electrones de los átomos) y no ionizante (que sólo es capaz de mover moléculas, aumentando la temperatura de los cuerpos macroscópicos).

3. ¿Qué tipo de luz emiten una máquina de radiografías, un teléfono móvil y un control remoto de televisión? Si no los teníais ya, anotadlos en la tabla anterior.

El propósito de esta pregunta es tan sólo preparar a los alumnos para la siguiente, en la que se comparan estos tres aparatos familiares. Como se anota en la tabla, la máquina de radiografías emplea rayos X, el control remoto, luz infrarroja, y el teléfono móvil emite microondas.

4. Estudiad la Tabla 1 y anotad la relación entre el tipo de luz y la longitud de onda, la frecuencia y la energía transportada por la onda electromagnética en cada caso. ¿Qué aparato emite la radiación menos energética: la máquina de radiografías, el teléfono móvil o el control remoto? Justificad vuestra respuesta.

Con la información de la Guía del Estudiante, los alumnos deberían de advertir lo siguiente: A menor longitud de onda, mayor frecuencia; y a mayor frecuencia, mayor energía. Los estudiantes más avanzados podrían recordar las ecuaciones siguientes:

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (3)$$

$$E = hf \quad (4)$$

donde f es la frecuencia, λ , la longitud de onda, c , la velocidad de la luz, E , la energía, y h , la constante de Planck.

Así pues, ordenando los aparatos según la frecuencia que emplean, los tendremos ordenados también por energía. La conclusión es que la máquina de radiografías emite las ondas más energéticas, y el teléfono móvil, la radiación menos energética (y potencialmente menos peligrosa).

Actividad 2: Conociendo ESASky (Opcional)

El propósito de esta actividad es que los alumnos se familiaricen con la aplicación *ESASky*, en el caso de no haber trabajado con ella con anterioridad. Si ya conocen la herramienta, pueden 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: Observando todos los tipos de luz

En esta actividad, los alumnos, usando la Nebulosa del Cangrejo como referencia, estudian los telescopios empleados para observar el universo en diferentes longitudes de onda. Tienen que decidir qué telescopios se encuentran en tierra y cuáles en el espacio, y comparar imágenes de la nebulosa para ver cómo proporcionan distintos tipos de información sobre el objeto.

La Nebulosa del Cangrejo (M1), una remanente de supernova con un pulsar (estrella de neutrones que rota muy rápidamente, emitiendo pulsos regulares de luz), es una fuente muy prominente en todo el espectro, y ha sido observada por todas las misiones seleccionadas por defecto en los menús de *ESASky*.

Siguiendo las instrucciones de la Guía del Estudiante, los alumnos tienen que crear una pila de mapas en *ESASky* que muestren la Nebulosa del Cangrejo en distintas longitudes de onda. Después, tienen que identificar si los telescopios que tomaron imágenes de este objeto se encuentran en tierra o en el espacio, empleando la información proporcionada en la parte superior de la Figura 1 (*¿Penetra la atmósfera terrestre?*).

Los rayos gamma, los rayos X duros (de frecuencia alta) y las ondas de radio no se tienen en cuenta en ésta y las siguientes actividades porque los mapas disponibles tienen muy baja resolución, muy poca cobertura, o ambas cosas. Si bien los astrónomos profesionales consideran el submilimétrico como un rango separado, para el propósito de estas actividades se presenta a los alumnos como “microondas de onda corta”. Tampoco se incluye el rango infrarrojo.

Respuestas a las preguntas de la Guía del Estudiante

6. Completad la tabla siguiente con información acerca de vuestra pila de mapas. Podéis encontrar el nombre del telescopio que realizó las observaciones pinchando en el ícono “i” a la derecha de cada menú (el nombre aparece tras la palabra “Mission”). Con la información de la parte superior de la Figura 1, decidid si los telescopios deben de estar situados en el espacio o en tierra.

Tabla B

Tipo de luz	Telescopios	¿Tierra o espacio?
Rayos X (“soft X-rays”)	XMM-Newton	Espacio
Ultravioleta (“Ultraviolet”)	GALEX	Espacio
Óptico (“Optical”, visible)	DSS2	Tierra
Infrarrojo cercano (“Near-Infrared”, ondas infrarrojas cortas)	2MASS	Tierra
Infrarrojo lejano (“Far-Infrared”, ondas infrarrojas largas)	Herschel	Espacio
Submilimétrico (“Submillimetre”, microondas muy cortas)	Herschel	Espacio

5. Explicad cómo habéis decidido si un telescopio debe de estar en tierra o en el espacio:

Los telescopios de la segunda columna están identificados en *ESASky*. Si un tipo particular de luz no penetra la atmósfera de nuestro planeta, no puede ser observado desde tierra. Sabiendo esto, y con la información de la parte superior de la Figura 1, puede completarse la tercera columna de la tabla.

Los alumnos pueden dudar acerca de qué responder en la tercera columna para las regiones del infrarrojo cercano y el infrarrojo lejano. Hay que explicarles que las longitudes de onda más cortas, al estar más próximas a la luz visible, son las que atraviesan la atmósfera. (Estrictamente, existen también ventanas atmosféricas para longitudes de onda más largas en el infrarrojo medio y el submilimétrico, pero no es necesario que lo sepan, ya que les puede confundir y no es necesario saberlo para resolver el ejercicio.)

Algunos alumnos pueden comentar que la opacidad atmosférica no es la única motivación para enviar telescopios al espacio. Aunque la luz visible atraviesa la atmósfera y alcanza la superficie terrestre, un telescopio espacial no se ve afectado por las distorsiones atmosféricas, por lo que proporciona imágenes más claras y con más detalle que un telescopio terrestre de iguales características. Por ejemplo, el término “HST” en el menú de mapas ópticos (rango visible) corresponde al Telescopio Espacial Hubble (son sus siglas en inglés), un telescopio que observa en luz visible por encima de la atmósfera terrestre.

Después de esto, los alumnos toman capturas de pantalla de la Nebulosa del Cangrejo en todos los rangos espectrales, y tienen que completar una nueva tabla con la descripción del objeto tal y como se ve en cada imagen.

Por último, con la información de la Tabla 1 y la descripción del objeto de la pregunta 7.c de la Guía del Estudiante, y usando la relación entre el tipo de luz (frecuencia) y energía, intentan hallar una explicación a las características del objeto que se aprecian en cada imagen. Los alumnos escriben sus explicaciones en la tabla y las discuten con otros grupos.

Por ejemplo, podrían describir la imagen en el ultravioleta de la misión GALEX como “una nube roja y borrosa”. Después, deberían interpretar esta observación como debida a la presencia de gas caliente en la nube. Más tarde se les puede proporcionar una explicación más detallada de los fenómenos observados, basada en la tabla completa que se incluye en el Apéndice (Tabla A1).

En esta última parte del ejercicio, es importante que los alumnos sean capaces de ver la conexión entre la fuente brillante vista en rayos X y la estrella de neutrones en el centro de la nebulosa. Esta imagen es muy diferente de las otras, que muestran la nube a distintas temperaturas. En la imagen submilimétrica, si se desea, se puede hablar de cargas eléctricas aceleradas en un campo magnético.

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.

Actividad 4: El universo multicolor

En esta actividad, los alumnos repiten la investigación de la Actividad 3 para uno o varios de los objetos de una lista, los cuales han sido seleccionados para proporcionar una representación de diferentes fenómenos astronómicos. La lista de objetos, junto a una descripción de cada uno para ayudar al análisis, está disponible entre las listas predefinidas de la aplicación con el nombre “CESAR Colores”.; la descripción aparece en una ventana emergente al pinchar en el nombre del objeto. Dichas descripciones aparecen también en la Tabla 2 (correspondiente a la Tabla 3 de la Guía del Estudiante).

Tabla 2: Objetos astronómicos a estudiar.

Objeto	Descripción
M1	La Nebulosa del Cangrejo es la remanente de una supernova observada por astrónomos chinos en 1054. Una estrella mucho más masiva que nuestro Sol explotó al final de su vida, creando una nube de polvo y gas caliente que se expande en el espacio. En el centro de la nube, los astrónomos han descubierto una estrella de neutrones, que una vez fue el núcleo de la estrella original. Se trata de un objeto muy caliente, pequeño y masivo, con un campo magnético muy intenso, que gira sobre sí mismo muy rápidamente, emitiendo pulsos regulares de luz igual que un faro.
M82	Messier 82, también conocida como la Galaxia del Cigarro, es una galaxia con brote estelar. Este tipo de galaxias están formando estrellas a un ritmo mucho más alto que las galaxias normales; los astrónomos piensan que esto es consecuencia de la interacción con otra galaxia (en el caso de M82, la vecina M81). La región de brote estelar de M82, situada en su centro, es 100 veces más brillante que el centro de nuestra Galaxia, la Vía Láctea, gracias al elevado número de estrellas jóvenes, brillantes y masivas que contiene. Puesto que dichas estrellas viven rápido y terminan sus vidas como supernovas, en M82 tiene lugar una explosión de este tipo cada diez años.
M33	M33, la Galaxia del Triángulo, es la tercera galaxia más grande del Grupo Local, por detrás de la Vía Láctea y la Galaxia de Andrómeda. Tiene un diámetro de unos 60.000 años luz, aproximadamente el 40% del de la Vía Láctea. M33 es una galaxia espiral, lo que significa que la región esférica central está rodeada por un disco de polvo y gas frío, el cual se mueve alrededor del centro galáctico formando los brazos espirales. M33 contiene dos poblaciones diferentes de estrellas: Las estrellas de la región central, o bulbo, son relativamente viejas, mientras que las estrellas de los brazos espirales son bastante jóvenes, y nuevas estrellas se están formando continuamente en esa parte de la galaxia.
NGC 4372	NGC 4372 es un cúmulo globular, esto es, una conjunto de estrellas unidas por la gravedad para formar una estructura esférica; la densidad de estrellas aumenta a medida que nos movemos hacia el centro del cúmulo. NGC 4372 es parte del halo de nuestra Galaxia, orbitando el centro galáctico. Los cúmulos globulares como éste contienen muchas más estrellas, y mucho más viejas (y más frías y brillantes) que los cúmulos abiertos, mucho menos densos, que se encuentran en el disco de la Vía Láctea, y son muy pobres en gas y polvo interestelar.
NGC 7293	NGC 7293, conocida como la Nebulosa de la Hélice, es una nebulosa planetaria muy conocida, que apareció cuando una estrella mediana como nuestro Sol llegó al final de su vida, expulsando las capas más externas de su estructura en forma de una nube de gas en expansión. El núcleo de la antigua estrella permanece en el centro como una enana blanca; este objeto, muy caliente, desprende energía que eleva la temperatura e ioniza el gas que la envuelve.
IC 3583	IC 3583 es una galaxia irregular, esto es, una galaxia sin forma determinada. Tiene una barra de estrellas que atraviesa la parte central, lo que sugiere que una vez fue una galaxia espiral que quedó distorsionada tras una colisión, probablemente con su vecina, la galaxia Messier 90.
NGC 7635	NGC 7635, la Nebulosa Burbuja, es lo que se conoce como una nebulosa de emisión, una nube de gas que está siendo calentado por una estrella caliente y masiva, lo que lo hace brillar y expandirse.
M84	Messier 84 es una galaxia elíptica perteneciente al Cúmulo de Galaxias de Virgo. Este tipo de galaxia contiene ante todo estrellas viejas, algunas de las cuales terminan su vida como supernovas, y muy poco polvo y gas.

Tabla 2: Objetos astronómicos a estudiar.

Objeto	Descripción
NGC 7023	La Nebulosa Iris, NGC 7023, es una brillante nebulosa de reflexión, es decir, una nube de polvo interestelar que refleja la luz de una estrella próxima. Al contrario que una nebulosa de emisión, en este caso la estrella no es lo bastante caliente para hacer que la nube brille con luz propia en luz visible.
NGC 3766	El Cúmulo de la Perla, NGC 3766, es un cúmulo abierto, esto es, un grupo de estrellas que se formaron a partir de la misma nube interestelar y que por tanto tienen la misma edad. Este tipo de cúmulo estelar no tiene forma definida, y la atracción gravitatoria entre sus miembros no es demasiado fuerte, por lo que con el tiempo terminan dispersándose por la Galaxia. NGC 3766 contiene más de 130 estrellas conocidas, la mayoría calientes y azules, aunque también forman parte del cúmulo dos supergigantes rojas (frías y rojizas).

Para subir la lista, los alumnos deben pinchar el botón “Administre una lista de objetos” y en la opción “Subir lista” del menú emergente. Al cargarse la lista, aparecerá en esta misma ventana. En primer lugar, los alumnos tendrán que inspeccionar todos los objetos y decidir cuáles son los que cambian más a lo largo del espectro, y cuáles los que cambian menos. Pueden moverse de un objeto a otro pinchado en el nombre correspondiente, o con los botones de la parte inferior. La Guía del Estudiante proporciona instrucciones detalladas. (Nótese que el primer objeto de la lista, M1, es la Nebulosa del Cangrejo analizada en la actividad anterior.)

Respuestas a las preguntas de la Guía del Estudiante

4. Examinad los objetos en la lista. ¿Cuál (o cuáles) tiene un aspecto similar en todas las imágenes a lo largo del espectro? ¿Cuál (o cuáles) muestra las mayores diferencias? (Puede que algún objeto no haya sido observado por todos los telescopios.)

Examinando los objetos en todos los mapas de la pila, se ve que M84, una galaxia elíptica, es probablemente el que varía menos de una imagen a otra. Le sigue a poca distancia la Nebulosa del Cangrejo (M1), con un aspecto muy similar en todas las imágenes excepto en rayos X. Por otro lado, los objetos que muestran mayor variación a lo largo del espectro son la Nebulosa Burbuja (NGC 7635), la Galaxia del Cigarro (M82) y el cúmulo globular NGC 4372; este último, simplemente, no se distingue del ruido de fondo en la mitad de las imágenes.

6. Seleccionad un objeto de la lista. En base a la descripción que aparece en pantalla (y en la Tabla 3), y con la ayuda de la Tabla 1, completad la tabla de la página siguiente igual que hicisteis con la Nebulosa del Cangrejo. (Si el objeto no ha sido observado en un tipo de luz, dejad la fila correspondiente en blanco.)

El Apéndice contiene las tablas completas para todos los objetos, con todas las imágenes, sus descripciones y sus interpretaciones. En la columna “Tipo de luz” se indica también la misión (y el instrumento, si es necesario) responsable de las observaciones. Hay que tener en cuenta que, en algunos casos, existen más posibilidades que las incluidas en estas tablas. Por ejemplo, en el rango de los rayos X (blandos), los alumnos pueden en algunos casos elegir otra de las misiones disponibles en el menú. Por otra parte, en algún caso (en especial, el ultravioleta), deberán inspeccionar todos los mapas disponibles para dar con una misión que haya observado su objeto, puesto que no todas las misiones han cubierto todo el cielo. Nótese también que,

dependiendo de la imagen elegida, algunas de las características que se discuten en el Apéndice pueden no ser tan evidentes.


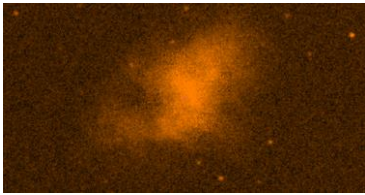
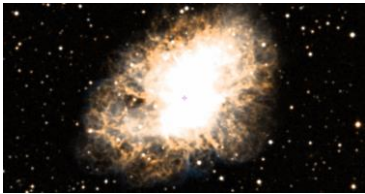
Actividad 5: A todo color


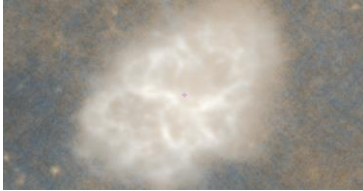
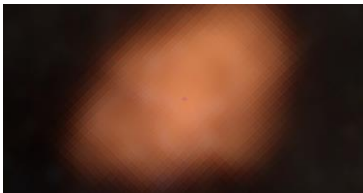
Como actividad complementaria, los alumnos pueden realizar una investigación en más profundidad de su objeto elegido y presentar sus hallazgos al resto de la clase.

A la hora de discutir sus descubrimientos en la actividad anterior y en ésta, es importante que los alumnos entiendan que existen varios motivos por los que un objeto puede emitir luz en un rango determinado. En particular, una nube de gas puede emitir en radio ya sea por su baja temperatura (emisión térmica), como por ejemplo en el caso de NGC 7023 (la Nebulosa Iris), ya sea por la presencia de campos magnéticos que aceleran partículas cargadas en el gas (electrones), produciendo radiación sincrotrón (emisión no térmica), como en el caso de M1 (la Nebulosa del Cangrejo).

Apéndice: Información sobre los objetos

Tabla A1

Objeto: Nebulosa del Cangrejo (M1) – Remanente de supernova			
Tipo de luz	Imagen	Descripción	Explicación
Rayos X (blandos) (XMM-Newton)		La imagen muestra una fuente brillante donde se encuentra el centro de la nebulosa en el resto de las imágenes.	Tiene que haber una fuente brillante de rayos X en el centro de la nebulosa. En concreto, la emisión proviene de partículas altamente energéticas que se mueven alrededor de la estrella de neutrones central, si bien esto no puede apreciarse en la imagen a causa de la baja resolución y la saturación.
Ultravioleta (GALEX)		Esta imagen es parecida, en forma y configuración, a las imágenes en los rangos visible e infrarrojo. Vemos la forma de la nube, si bien no pueden apreciarse muchos detalles a causa de la resolución, relativamente baja.	El gas de la nube es calentado por la fuente central y la energía de la explosión de supernova, emitiendo luz ultravioleta.
Óptico (luz visible) (DSS2)		En esta imagen vemos la nebulosa, sin demasiado detalle en la zona central ya que la está sobreexpuesto. En los bordes observamos estructuras filamentosas.	Como en la imagen ultravioleta, la emisión en luz visible se debe a gas caliente. Los filamentos resultan de la explosión que dispersó las capas externas de la estrella en el espacio.



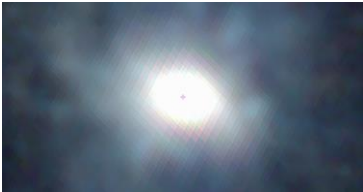
<p>Infrarrojo cercano (2MASS)</p>		<p>Esta imagen es similar a la imagen visible. Sin embargo, al comparar los patrones de estrellas en ambas, notamos que la emisión difusa no se extiende tanto en el infrarrojo. También se aprecia un mayor número de estrellas.</p>	<p>La luz en el infrarrojo cercano tiene longitudes de onda más largas que la luz visible, por lo que no son bloqueadas por el polvo interestelar, lo que nos permite ver estrellas demasiado débiles en la imagen visible. El gas caliente no es tan brillante en esta imagen, lo que hace que la emisión nebulosa esté menos extendida.</p>
<p>Infrarrojo lejano (Herschel/PACS)</p>		<p>La nube y los filamentos en expansión también se ven claramente en este rango de longitud de onda.</p>	<p>Lo que vemos es la emisión térmica del polvo en la nube. Por tanto, vemos que ésta no sólo contiene gas, y que el polvo presenta una distribución muy similar al gas caliente que se detecta a frecuencias más altas.</p>
<p>Submilimétrico (microondas cortas) (Herschel/SPIRE)</p>		<p>Aunque la resolución es pobre, es posible reconocer la forma de la nube y parte de su estructura en esta imagen.</p>	<p>Las remanentes de supernova como la Nebulosa del Cangrejo emiten ondas de radio como consecuencia del movimiento de electrones de alta energía en el seno de campos magnéticos.</p>

Notas:

- En rayos X se muestra la imagen de XMM-Newton por ser el mapa por defecto en este rango. Con el mapa de la misión Chandra (de mejor resolución) los alumnos pueden ver el disco de gas caliente en torno a la estrella de neutrones y los chorros de gas lanzados por ésta.
- La última imagen (rango submilimétrico) puede necesitar alguna explicación adicional. Los alumnos pueden explicarla como la emisión de luz de un gas frío. Conviene resaltar que el gas está caliente, o no emitiría en el visible y ultravioleta, e introducir el concepto de emisión no térmica.

Tabla A2

Objeto: Galaxia del Cigarro (M82) – Galaxia activa con brote estelar			
Tipo de luz	Imagen	Descripción	Explicación
Rayos X (blandos) (XMM-Newton)		Esta imagen es completamente diferente al resto de imágenes de esta galaxia. La mayor parte de la emisión se concentra en la región central, que se encuentra rodeada por una emisión difusa perpendicular a la estructura alargada que se ve en otros rangos espectrales.	El brillo de la zona central sugiere que es muy rico en remanentes de supernova y otras fuentes intensas de rayos X (como agujeros negros). Lo que es consistente con la descripción del objeto de la Tabla 2. La emisión difusa puede estar causada por gas extremadamente caliente que fluye de la parte central de la galaxia.
Ultravioleta (XMM-Newton/OM)		En esta imagen, M82 tiene una forma peculiar, con una estructura alargada y brotes de emisión casi perpendiculares a ésta. Se aprecian también algunas franjas oscuras que cruzan la galaxia.	Esta curiosa forma está causada parcialmente por polvo que absorbe la luz azul y en el ultravioleta cercano. La intensa emisión en el ultravioleta, por otro lado, sugiere la presencia de muchas estrellas azules y calientes en esta galaxia.
Óptico (luz visible) (DSS2)		Esta imagen muestra sencillamente una estructura alargada, sobreexpuesta en la parte central y rodeada por un halo borroso. Se aprecian algunos brotes de emisión aproximadamente perpendiculares a esta estructura.	La forma sugiere un disco visto de canto, indicando que podría tratarse de una galaxia espiral observada desde esta perspectiva particular.

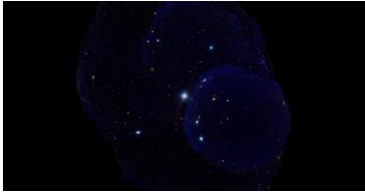
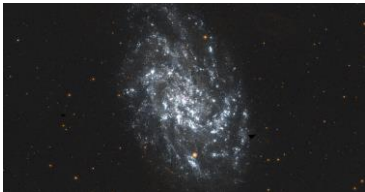

<p>Infrarrojo cercano (2MASS)</p>		<p>Esta imagen se parece a la imagen visible. Vemos de nuevo la forma elongada, pero sin trazas de otra emisión.</p>	<p>Si se trata de una galaxia espiral, el disco galáctico debería de contener mucho polvo. En el infrarrojo cercano, deberíamos de ser capaces de ver a través del polvo. La saturación de la parte central debe de provenir de la alta densidad de estrellas en esa región, lo que nos indica que M82 contiene muchas estrellas muy rojas (frías).</p>
<p>Infrarrojo lejano (Herschel/PACS)</p>		<p>En esta imagen nuevamente vemos una forma alargada. Está rodeada de un halo, dentro de lo que parece una nube gigantesca.</p>	<p>La emisión en el infrarrojo lejano es producida sobre todo por polvo frío. Por tanto, esta observación muestra que la galaxia, en efecto, contiene mucho polvo, especialmente en el disco (visto de canto).</p>
<p>Submilimétrico (microondas cortas) (Herschel/SPIRE)</p>		<p>Esta imagen muestra la parte central de la galaxia, con una forma aproximadamente esférica, rodeada por un halo de emisión.</p>	<p>En longitudes de onda largas, observamos el gas presente en la galaxia, que es más frío que el polvo. Comparando esta imagen con la imagen en el infrarrojo lejano, vemos que el gas se concentra más en la parte central que el polvo.</p>


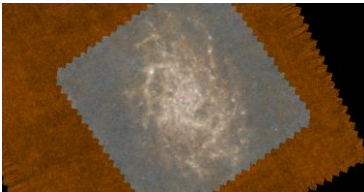
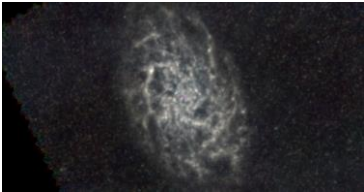
Notas:

- Es importante que los estudiantes entiendan que los telescopios no pueden resolver las estrellas y otras fuentes individuales en esta galaxia, por lo que lo que se observa en la mayoría de las imágenes es la emisión combinada de miles de millones de ellas.
- Aunque no es estrictamente necesario para este ejercicio, se puede explicar a los alumnos la conexión entre el color de las estrellas y su fase de evolución (las estrellas jóvenes y masivas son calientes y azules, mientras que las estrellas viejas son frías y rojas).

- No cabe esperar que los alumnos sean capaces de interpretar la naturaleza de la emisión difusa en la imagen en rayos X. Corresponde al profesor decidir si proporciona esta información.
- Puede ser interesante comparar M82 con M33, para ver las diferencias entre una galaxia activa como ésta y una galaxia espiral normal como M33.

Tabla A3

Objeto: Galaxia del Triángulo (M33) – Galaxia espiral			
Tipo de luz	Imagen	Descripción	Explicación
Rayos X (blandos) (XMM-Newton)		Esta imagen muestra varias fuentes brillantes en la zona central, rodeadas por muchas otras, sin formar ninguna estructura reconocible.	Las fuentes de rayos X en las galaxias son mayoritariamente los restos de la muerte de estrellas masivas, como estrellas de neutrones y agujeros negros. Por tanto, lo que nos indica esta observación es que M33 contiene estrellas viejas, en particular en la región central.
Ultravioleta (GALEX)		En esta imagen, la galaxia se ve muy parecida a la imagen óptica. Vemos que es una galaxia espiral, con multitud de brazos girando en torno al centro.	La mayor parte de la emisión ultravioleta está producida por estrellas muy calientes. Así pues, la imagen nos muestra que los brazos espirales de la galaxia contienen muchas de esas estrellas.
Óptico (luz visible) (DSS2)		La imagen óptica muestra una galaxia espiral típica, con una parte central esférica, de color entre amarillento y blanquecino, y unos brazos espirales azulados rodeándola. En los brazos también vemos algunas franjas oscuras.	El color azulado de los brazos espirales sugiere que contienen muchas estrellas calientes (y masivas). El color blanco-amarillento del bulbo (parte central) sugiere que las estrellas de esta parte de la galaxia no son tan calientes. Las zonas oscuras indican la presencia de polvo interestelar que bloquea la luz visible.

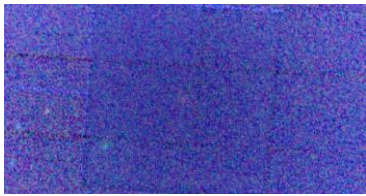
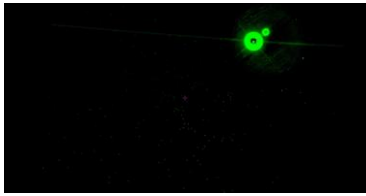


<p>Infrarrojo cercano (2MASS)</p>		<p>En esta imagen apenas se aprecian los brazos espirales, trazados muy débilmente por algunos patrones de estrellas en torno a la parte esférica central. La resolución de la imagen permite confirmar que esta zona central contiene numerosas estrellas.</p>	<p>La luz en el infrarrojo cercano, al ser más larga que la luz visible, no es bloqueada por el polvo interestelar. Por ello, podemos ver las estrellas escondidas en el polvo, o que son demasiado frías y débiles (y por tanto, muy rojas) para ser detectadas en luz visible. La falta de un patrón espiral claro sugiere que los brazos espirales contienen mucho polvo.</p>
<p>Infrarrojo lejano (Herschel/PACS)</p>		<p>En esta imagen, volvemos a ver el patrón espiral. La imagen recuerda a las imágenes en el visible y ultravioleta.</p>	<p>Esta imagen confirma que el polvo es un componente importante de los brazos espirales. Es posible detectarlo en este rango porque es en el infrarrojo lejano donde emite la mayor parte de su energía, a causa de su baja temperatura (unos 100 K).</p>
<p>Submilimétrico (microondas cortas) (Herschel/SPIRE)</p>		<p>Esta imagen es muy parecida a las imágenes en el visible, ultravioleta e infrarrojo lejano, mostrando de nuevo los brazos espirales.</p>	<p>En este caso estamos observando temperaturas más bajas todavía (ya que la temperatura de la fuente decrece con la longitud de onda), lo que corresponde a la emisión del gas frío en la galaxia. Por tanto, la imagen nos dice que los brazos espirales de esta galaxia contienen mucho gas frío.</p>

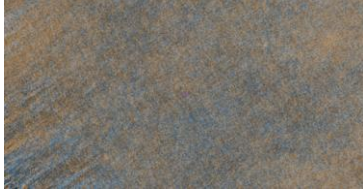
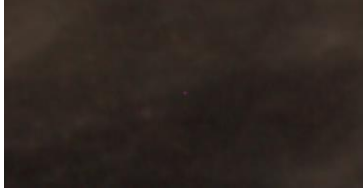
Notas:

- Como en el caso de M82, los alumnos tienen que tener presente que, en aquellos rangos en que las estrellas son particularmente prominentes (ultravioleta, visible e infrarrojo cercano), la emisión está dominada por la luz de las estrellas masivas y brillantes, incluso aunque no puedan resolverse de manera individual.

- Aunque no es necesario hablar de las fases de evolución de las distintas poblaciones estelares, puede animarse a los alumnos a establecer una conexión entre los colores ópticos de las estrellas y su edad, basándose en su localización en la galaxia y la descripción que proporciona la aplicación (y la Tabla 2).

Tabla A4



Objeto: NGC 4372 – Cúmulo globular			
Tipo de luz	Imagen	Descripción	Explicación
Rayos X (blandos) (XMM-Newton)		Sólo se aprecian unas pocas fuentes débiles de rayos X en la región donde se encuentra el cúmulo. Esencialmente, lo que vemos es ruido.	En el cúmulo hay muy pocas explosiones de supernova y sus productos (estrellas de neutrones y agujeros negros).
Ultravioleta (XMM-Newton/OM)		El cúmulo no se detecta en el ultravioleta. Tan sólo vemos una estrella brillante y azul, visible también en la imagen óptica, la cual no está relacionada con el cúmulo, así como una estrella vecina.	La carencia de emisión ultravioleta indica que el cúmulo no contiene estrellas calientes, lo que concuerda con las observaciones en longitudes de onda más largas (visible e infrarrojo cercano).
Óptico (luz visible) (DSS2)		La imagen muestra una agrupación amarillenta de estrellas, de forma aproximadamente esférica. La densidad de estrellas aumenta hacia el centro del cúmulo. En la parte superior derecha de la imagen, se ve una estrella azul y brillante, que no guarda relación con el cúmulo.	La carencia de estrellas azules (jóvenes y masivas) sugiere que las estrellas del cúmulo son relativamente viejas. La forma esférica es consecuencia de la atracción mutua de estas estrellas.
Infrarrojo cercano (2MASS)		Esta imagen es muy parecida a la imagen óptica: una agrupación esférica de estrellas con densidad creciente hacia el centro del cúmulo. La estrella azul de la imagen visible no destaca tanto aquí.	Esta imagen confirma que las estrellas del cúmulo son rojas y frías, ya que tienen una emisión importante en el infrarrojo cercano. El hecho de que la estrella azul de la imagen óptica no destaque confirma que es mucho más caliente que las estrellas del cúmulo.


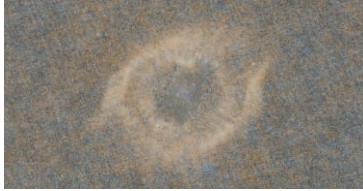
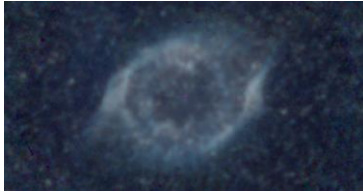
<p>Infrarrojo lejano (Herschel/PACS)</p>		<p>En esta imagen, sólo se aprecia ruido: El cúmulo no se detecta.</p>	<p>Esta observación (o la falta de ella) indica que el cúmulo no emite mucha luz en este rango del espectro. Puesto que la fuente más importante en el infrarrojo medio es el polvo interestelar, esto indica que el cúmulo contiene muy poco polvo.</p>
<p>Submilimétrico (microondas cortas) (Herschel/SPIRE)</p>		<p>No vemos señales del cúmulo en esta imagen.</p>	<p>Puesto que el cúmulo no emite luz en este rango, dominado por la emisión de gas interestelar frío, la conclusión es que contiene muy poco gas.</p>

Notas:

- La distancia relativamente alta de los cúmulos globulares (que forman parte del halo galáctico) debe ser tomada en cuenta para comprender que sólo se observan estrellas brillantes y masivas.
- Si se quiere, se puede explicar a los alumnos que la carencia de gas y polvo implica que en este cúmulo se están formando muy pocas estrellas nuevas. Después, pueden compararlo con el cúmulo abierto NGC 3766.

Tabla A5

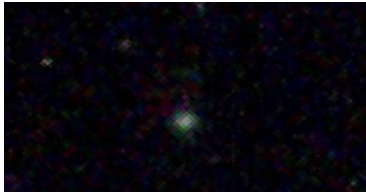



Objeto: Nebulosa de la Hélice (NGC 7293) – Nebulosa planetaria			
Tipo de luz	Imagen	Descripción	Explicación
Rayos X (blandos) (XMM-Newton)		En esta imagen no se aprecia la nebulosa, tan sólo la emisión en rayos X de la fuente central, y algunas otras fuentes más débiles en el campo de visión.	La fuente central debe de ser la enana blanca en el centro de la nebulosa, esto es, lo que queda de una estrella como nuestro Sol al final de su vida. Las enanas blancas no son unas fuentes de rayos X tan intensas como las estrellas de neutrones o los agujeros negros. El resto de fuentes en la imagen no guardan relación con la nebulosa.
Ultravioleta (GALEX)		Esta imagen es muy similar a la imagen en el rango visible, pero aquí el anillo se ve más oscuro y el área circular central, más pequeña. También podemos apreciar una fuente ultravioleta intensa en el centro de la nebulosa, que no destaca tanto a longitudes de onda más cortas.	La emisión en el área central confirma que el gas de la nebulosa está siendo calentado por una fuente central. Los bordes oscuros de la nube indican la presencia de polvo que bloquea la luz azul y ultravioleta. La intensa emisión de la fuente central se debe a su elevada temperatura.
Óptico (luz visible) (DSS2)		Esta imagen muestra una nebulosa brillante. La región central, azulada y aproximadamente circular, está rodeada por una especie de anillo de un azul más claro. Los bordes son más oscuros y difusos. Algunas fuentes blanquecinas (probablemente estrellas) se ven a través de la nube.	El gas en la nebulosa está siendo calentado e ionizado por la enana blanca central. La presencia de polvo se indica por el oscurecimiento de los bordes de la nebulosa.

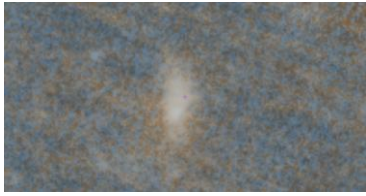
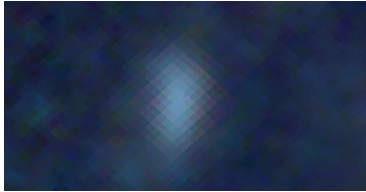
<p>Infrarrojo cercano (2MASS)</p>		<p>La nebulosa no se ve en esta imagen, tan sólo un campo de estrellas bastante anodino.</p>	<p>La luz en el infrarrojo cercano, al tener longitudes de onda más largas que la luz visible, es capaz de atravesar el polvo y revelar qué se esconde detrás de él.</p>
<p>Infrarrojo lejano (Herschel/PACS)</p>		<p>La imagen reproduce la forma de la nube visible en el óptico, pero en negativo: Lo que en la otra imagen es oscuro, aquí está emitiendo luz, y viceversa.</p>	<p>Lo que estamos observando es la emisión del polvo en la nube. Las áreas en las que hay más polvo, que se ven oscuras en las imágenes óptica y ultravioleta, son ahora las más brillantes.</p>
<p>Submilimétrico (microondas cortas) (Herschel/SPIRE)</p>		<p>Esta imagen se asemeja mucho a la imagen en el infrarrojo lejano, mostrando la nebulosa como el negativo de las imágenes óptica y ultravioleta.</p>	<p>Aquí estamos observando la emisión del gas frío en la nebulosa.</p>

Notas:

- En la imagen óptica, la nube podría ser azul por dos motivos: o bien el polvo está reflejando luz de la fuente central, o bien el gas está siendo calentado e ionizado por esta fuente. En caso de que ambas posibilidades sean mencionadas por los alumnos, se puede comentar que una forma de comprobar cuál es correcta es observar la nebulosa en otros rangos espectrales: el gas frío y el polvo no emiten en el ultravioleta.
- Los alumnos pueden comparar la Nebulosa de la Hélice con la Nebulosa del Cangrejo. ¿En qué se parecen? ¿En qué se diferencian?

Tabla A6

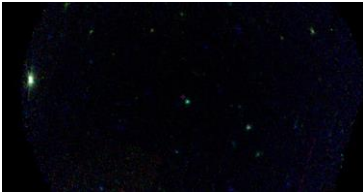
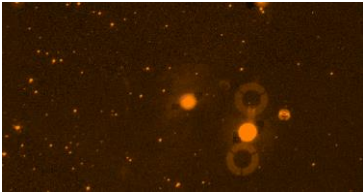
Objeto: IC 3583 – Galaxia irregular			
Tipo de luz	Imagen	Descripción	Explicación
Rayos X (blandos) (XMM-Newton)		Lo único que se ve en esta imagen es una fuente de rayos X, cuya ubicación corresponde a la parte inferior de la nebulosidad alargada y azulada observada en la imagen visible.	Éste podría ser el centro de la antigua galaxia espiral barrada, ya que la mayoría de las galaxias presentan emisión en rayos X en su parte central a causa de la presencia de agujeros negros.
Ultravioleta (GALEX)		Las estrellas brillantes visibles en la imagen óptica se ven mucho más rojas que las estrellas en la estructura alargada difusa (visibles a pesar de la baja resolución).	Las estrellas de esta galaxia deben de ser muy calientes. Las otras dos estrellas, al ser mucho más rojas, son probablemente estrellas de campo, no relacionadas con la galaxia.
Óptico (luz visible) (DSS2)		En la imagen se aprecia una estructura alargada, difusa y azulada, con una fuente brillante en la parte inferior y otras estrellas brillantes (que probablemente no guardan relación con la galaxia) en las cercanías. Vemos algunas franjas oscuras entre la nebulosidad.	La forma alargada podría ser los restos de una barra en lo que una vez fue una galaxia espiral barrada. El color azulado sugiere la presencia de estrellas calientes. Las regiones oscuras son probablemente fruto de la absorción de luz visible por parte del polvo interestelar en la galaxia.
Infrarrojo cercano (2MASS)		En esta imagen sólo podemos distinguir las estrellas más brillantes que se ven en la imagen visible, así como la fuente brillante observada entre la estructura alargada en esa misma imagen.	En el infrarrojo medio podemos ver a través de la nebulosidad. Sin embargo, el telescopio no es lo bastante potente para observar la galaxia.




<p>Infrarrojo lejano (Herschel/PACS)</p>		<p>De nuevo aparece una estructura alargada en esta imagen.</p>	<p>En este rango espectral estamos observando la emisión térmica del polvo interestelar en la galaxia.</p>
<p>Submilimétrico (microondas cortas) (Herschel/SPIRE)</p>		<p>Esta imagen tiene un aspecto muy similar a la imagen en el infrarrojo lejano, mostrando nuevamente una estructura alargada y difusa.</p>	<p>Ahora estamos observando la emisión del gas interestelar en la galaxia.</p>


Notas:

- Los alumnos pueden comparar esta galaxia con M33 y M84, a fin de ver las semejanzas y diferencias con otros tipos de galaxias (espirales y elípticas).

Tabla A7

Objeto: Nebulosa Burbuja (NGC 7635) – Nebulosa de emisión			
Tipo de luz	Imagen	Descripción	Explicación
Rayos X (blandos) (XMM-Newton)		Esta imagen muestra unas pocas fuentes prominentes de rayos X. La del centro corresponde a la estrella caliente que aparece medio escondida en la nube en la imagen óptica. Hacia abajo y a la derecha de ésta se encuentra la contrapartida en rayos X de la estrella azul vista cerca de la nebulosa en la imagen visible.	La emisión en rayos X sugiere que ambas estrellas están muy calientes y tienen una intensa actividad coronal.
Ultravioleta (GALEX)		En esta imagen vemos la emisión de un cierto número de estrellas, muchas de las cuales tienen contrapartida en la imagen óptica. La fuente más brillante es la estrella azul vista hacia la derecha de la nebulosa en la imagen visible, y la segunda más brillante, la estrella que aparece semiescondida en la nube en esa misma imagen.	Esta imagen confirma que la estrella en la nube es lo bastante caliente para ionizar la nebulosa. Probablemente, la burbuja que se ve a longitudes de onda más largas sea el resultado de la fotoevaporación y expansión de la nube por los vientos de dicha estrella. La imagen muestra también otras estrellas calientes en el campo de visión, que pueden o no estar relacionadas con la nebulosa.

<p>Óptico (luz visible) (DSS2)</p>		<p>La imagen muestra una nube difusa con un brillo rojizo y algunas áreas oscuras. Una estrella brillante aparece semiescondida en la nube, en el borde de una especie de "burbuja". Entre la nebulosidad, o cerca de ella, pueden verse otras estrellas más débiles, incluyendo una estrella azulada en la parte inferior derecha de la imagen.</p>	<p>El gas en la nebulosa está siendo ionizado por la estrella caliente en su interior, lo que origina el brillo rojizo. Las áreas oscuras en la nube se deben a la absorción de luz por el polvo de la misma.</p>
<p>Infrarrojo cercano (2MASS)</p>		<p>En esta imagen apenas se aprecia nebulosidad, excepto en la proximidad de la estrella más brillante en la imagen óptica (no tan brillante en ésta), donde se observa un jirón de luz difusa. La imagen también revela algunas estrellas que permanecían ocultas por la nube en la imagen visible.</p>	<p>Al tener longitudes de onda más largas, la luz en el infrarrojo cercano atraviesa el polvo, mostrando las estrellas ocultas dentro o detrás de la nube.</p>
<p>Infrarrojo lejano (Herschel/PACS)</p>		<p>En esta imagen vemos de nuevo la nube. La región más azulada corresponde a la posición del jirón de luz difusa en la imagen en el infrarrojo cercano. Parte de la burbuja también brilla con luz azulada. La nube se va haciendo progresivamente menos azul a medida que nos alejamos de esta región.</p>	<p>Como en el caso de la imagen visible, el color azul corresponde en esta imagen a la longitud de onda más corta en este rango espectral. Por tanto, esa región de la nebulosa está más caliente que los alrededores, probablemente a causa de la proximidad de la estrella caliente.</p>

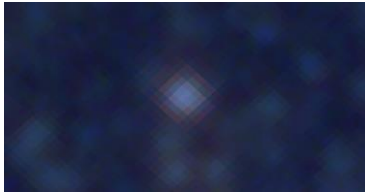
<p>Submilimétrico (microondas cortas) (Herschel/SPIRE)</p>		<p>A pesar de la baja resolución, esta imagen recuerda mucho a la imagen en el infrarrojo lejano. De nuevo podemos ver un área más azulada en la posición del jirón de nebulosidad visto en el infrarrojo cercano.</p>	<p>Estamos viendo ahora la emisión del gas frío en la nebulosa.</p>
--	---	--	---

Notas:

- Los anillos que se ven en la imagen ultravioleta pueden intrigar a los alumnos. Conviene explicarles que se trata de artefactos de la imagen, y no de un fenómeno real en el cielo.

Tabla A8


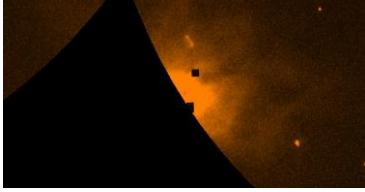


Objeto: Messier 84 (M84) – Galaxia elíptica			
Tipo de luz	Imagen	Descripción	Explicación
Rayos X (blandos) (XMM-Newton)		La imagen muestra una emisión extendida y más irregular que en el resto de rangos espectrales.	La emisión en rayos X está causada principalmente por supernovas y los restos de estrellas masivas (estrellas de neutrones y agujeros negros).
Ultravioleta (XMM-Newton/OM)		La imagen muestra una fuente débil y alargada.	Esta imagen sugiere que la galaxia contiene algunas estrellas relativamente calientes, pero la baja intensidad de la emisión ultravioleta, comparada con el visible y el infrarrojo cercano, indica que el contenido en estrellas calientes no es tan alto como el de estrellas frías.
Óptico (luz visible) (DSS2)		En esta imagen, la galaxia muestra una forma esférica y un color blanco-amarillento.	El color de la galaxia está causado por la emisión de luz de las estrellas que contiene. En base al color en el rango visible, estas estrellas deben ser relativamente frías.
Infrarrojo cercano (2MASS)		El aspecto de M84 en esta imagen es muy parecido al de la imagen en luz visible.	Esta observación confirma que M84 contiene un número elevado de estrellas frías.
Infrarrojo lejano (Herschel/PACS)		En esta imagen, la galaxia se ve como una estructura esférica y débil, de tamaño menor (esto es, menos brillante) que en longitudes de onda más cortas.	Puesto que la emisión de luz en este rango se debe sobre todo al polvo interestelar, esta imagen nos está diciendo que M84 contiene algo de polvo.



<p>Submilimétrico (microondas cortas) (Herschel/SPIRE)</p>		<p>Esta imagen es muy parecida a la imagen en el infrarrojo lejano, mostrando la galaxia como una fuente débil de forma esférica.</p>	<p>Esta emisión está causada por gas frío, confirmando que M84 también contiene gas interestelar.</p>
--	---	---	---

Notas:

- Los alumnos pueden comparar esta galaxia con M33 para ver las diferencias entre las poblaciones estelares de las galaxias elípticas y espirales.

Tabla A9

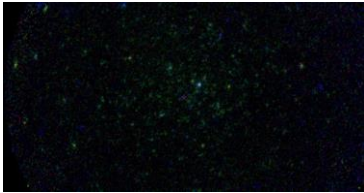
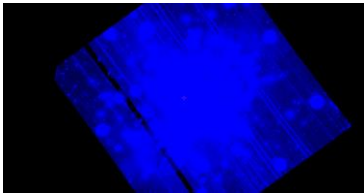


Objeto: Nebulosa Iris (NGC 7023) – Nebulosa de reflexión			
Tipo de luz	Imagen	Descripción	Explicación
Rayos X (blandos) (XMM-Newton)		Esta imagen revela la presencia de varias fuentes de rayos X en la región central de la nebulosa.	En el interior de la nebulosa debe de haber estrellas muy calientes o con alta actividad coronal. Las más brillantes parecen corresponderse con aquéllas cuya luz está siendo reflejada por el polvo en la imagen visible.
Ultravioleta (GALEX)		Tan sólo parte de la nube ha sido observada en el ultravioleta. Se aprecia emisión difusa en la región central de la misma.	La emisión ultravioleta debe provenir de la misma fuente que está produciendo la luz azul dispersada por la nube en la imagen visible: una estrella relativamente caliente.
Óptico (luz visible) (DSS2)		La imagen muestra una nube oscura, con una parte central sobreexpuesta (por eso se ve blanca) que está rodeada de nebulosidad azulada.	El polvo en la nube está bloqueando la mayor parte de la luz visible, lo que nos impide ver dentro y detrás de ella. En la parte central, la luz de una fuente caliente está siendo dispersada por el polvo. La nebulosa se ve azul porque la luz de este color se dispersa más que la roja.
Infrarrojo cercano (2MASS)		En el infrarrojo cercano, no vemos ninguna nube, sólo un jirón de emisión difusa rodeando la estrella central, que queda ahora al descubierto, al igual que otras muchas estrellas en el área.	En el infrarrojo cercano podemos ver a través del polvo y confirmar que la fuente de la luz dispersada en el visible es una estrella ubicada en el centro de la nebulosa. También podemos ver otras muchas estrellas que están ocultas entre el polvo en la imagen óptica.

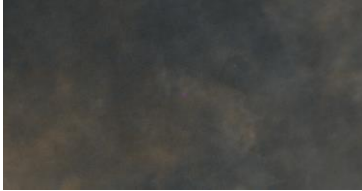

<p>Infrarrojo lejano (Herschel/PACS)</p>		<p>En esta imagen se ve de nuevo la nube, esta vez como emisora de luz. En la región central se aprecia una especie de cavidad en la misma posición donde se observa la estrella central en el infrarrojo cercano.</p>	<p>Ahora estamos viendo la emisión del polvo mismo, a causa de su baja temperatura. La radiación de la estrella central parece estar excavando un hueco en la nube.</p>
<p>Submilimétrico (microondas cortas) (Herschel/SPIRE)</p>		<p>Esta imagen se asemeja mucho a la imagen en el infrarrojo lejano: Vemos la nube y la cavidad central donde se encuentra la estrella.</p>	<p>Esta vez estamos observando la emisión térmica del gas de la nube, que es más frío que el polvo y domina la emisión en este rango espectral.</p>

Notas:

- Dependiendo del tamaño del campo que empleen, puede que los alumnos no encuentren la imagen ultravioleta. No hay problema; ya se advierte en la Guía del Estudiante que algunos objetos pueden no tener imágenes disponibles en todos los rangos de longitud de onda.
- Puede resultar interesante para los alumnos comparar esta nebulosa de reflexión con la Nebulosa Burbuja, NGC 7635 (una nebulosa de emisión).

Tabla A1o

Objeto: Cúmulo de la Perla (NGC 3766) – Cúmulo abierto			
Tipo de luz	Imagen	Descripción	Explicación
Rayos X (blandos) (XMM-Newton)		En esta imagen podemos identificar muchas de las estrellas del cúmulo como fuentes débiles de rayos X.	La detección de estas estrellas en rayos X confirma que son muy calientes y/o tienen intensa actividad coronal.
Ultravioleta (XMM-Newton/OM)		En la imagen ultravioleta, podemos reconocer el cúmulo observado en el visible. Sin embargo, la imagen es menos clara, ya que no es posible separar las estrellas de la parte central, debido tanto a la baja resolución de la cámara como al brillo de las estrellas, que satura la parte central.	Esta imagen confirma que la mayoría de las estrellas del cúmulo están muy calientes, por lo que son fuentes prominentes de luz ultravioleta.
Óptico (luz visible) (DSS2)		Esta imagen muestra un rico cúmulo estelar de estrellas azuladas de diferentes brillos. Un par de estrellas más rojizas son visibles también.	Esta observación indica que la mayoría de las estrellas en el cúmulo son azules y calientes, excepto dos que son rojas y frías.
Infrarrojo cercano (2MASS)		En esta imagen hay dos estrellas mucho más brillantes que las demás. Su posición coincide con la de las estrellas rojas en la imagen visible.	El hecho de que estas dos estrellas destaquen tanto en el infrarrojo cercano confirma que son muy frías. Mientras que ellas son más brillantes en el infrarrojo que en el visible, con las estrellas azules sucede al revés.

<p>Infrarrojo lejano (Herschel/PACS)</p>		<p>El cúmulo no es visible en esta imagen. Tan sólo se aprecia una emisión difusa por toda la región.</p>	<p>Esta imagen simplemente nos dice que existe algo de polvo entre las estrellas y nosotros, pero el cúmulo no parece asociado con ninguna nebulosa.</p>
<p>Submilimétrico (microondas cortas) (Herschel/SPIRE)</p>		<p>Al igual que en la imagen en el infrarrojo lejano, el cúmulo no es visible en el submilimétrico, donde sólo vemos una emisión difusa.</p>	<p>De manera similar a la imagen anterior, todo lo que podemos afirmar en este caso es que hay algo de gas interestelar en esta región.</p>

Notas:

- Los alumnos pueden comparar este cúmulo con el cúmulo globular NGC 4372 y comentar las diferencias entre las estrellas contenidas en cada uno.
- También pueden comparar ambos cúmulos con las nebulosas Iris y Burbuja, y discutir las diferencias entre las estrellas contenidas en cada región y también en su contenido en gas y polvo. Si se desea, esta comparación puede servir como transición hacia el tema de la evolución de las estrellas.

Enlaces

Otros Casos Científicos relacionados

- *Descubriendo el medio interestelar:*
http://cesar.esa.int/index.php?Section=Exploring_the_Interstellar_Medium&ChangeLang=es
- *Los secretos de las galaxias:*
http://cesar.esa.int/index.php?Section=The_Secrets_of_Galaxies&ChangeLang=es

Objetos astronómicos

Para estudiantes:

- CESAR Booklet: *The Interstellar Medium*
http://cesar.esa.int/upload/201801/ism_booklet.pdf
- CESAR Booklet: *Stellar evolution*
http://cesar.esa.int/upload/201801/stellarevolution_booklet_v2.pdf
- CESAR Booklet: *Galaxies*
http://cesar.esa.int/upload/201801/galaxies_booklet.pdf

Para profesores:

- Stellar processes and evolution:
<http://sci.esa.int/education/36828-stellar-processes-and-evolution/>
- Galaxies and the expanding universe:
<http://sci.esa.int/education/36827-galaxies-and-the-expanding-universe/>

El espectro electromagnético y las 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/>
- Science@ESA: *The full spectrum* (video)
<http://sci.esa.int/education/44685-science-esa-episode-1-the-full-spectrum/>
- Science@ESA: *The untamed, violent universe* (video)
<http://sci.esa.int/education/45421-science-esa-episode-5-the-untamed-violent-universe/>
- 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 electromagnetic spectrum*
<http://www.scienceinschool.org/2011/issue20/em>
- Science in School: *More than meets the eye: the exotic, high-energy Universe*
<http://www.scienceinschool.org/2012/issue24/em>
- Science in School: *More than meets the eye: unravelling the cosmos at the highest energies*
<http://www.scienceinschool.org/2011/issue21/em>
- 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>