

Caso Científico CESAR

# Los secretos de las galaxias

## ¿Cuántos tipos de galaxias existen?

Guía del Profesor





## Índice

<b>Ficha didáctica .....</b>	<b>5</b>
<b>Resumen de actividades .....</b>	<b>6</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>9</b>
<b>Fundamentos teóricos .....</b>	<b>11</b>
Un universe de galaxias .....	11
Cómo los astrónomos estudian las galaxias .....	12
<b>Descripción de las actividades .....</b>	<b>15</b>
Actividad 1: ¿Qué es una galaxia? .....	15
Actividad 2: Conociendo ESASky (Opcional) .....	15
Actividad 3: Clasificando galaxias .....	16
Actividad 4: Los colores de las galaxias .....	19
Actividad 5: Las galaxias vistas con otra luz .....	20
Actividad complementaria: La evolución de las galaxias.....	22
<b>Enlaces .....</b>	<b>25</b>



## Ficha didáctica

<p><b>DATOS BÁSICOS</b></p> <p><b>Rango de edad:</b> 14-18 años</p> <p><b>Tipo:</b> Actividad didáctica</p> <p><b>Complejidad:</b> Media</p> <p><b>Tiempo de preparación:</b> 30-45 minutos</p> <p><b>Tiempo lectivo requerido:</b> 1 hora 30 minutos</p> <p><b>Ubicación:</b> Interior</p> <p><b>Incluye el uso de:</b> Ordenadores, internet, aplicación web <i>ESASky</i></p>	<p><b>Descripción</b></p> <p>Con este conjunto de actividades, los alumnos aprenderán la clasificación de Hubble y la emplearán para clasificar una lista de galaxias según su forma. Después estudiarán otras diferencias entre los distintos tipos de galaxias, como su contenido en estrellas, polvo y gas, y su aspecto al ser observadas en rangos diferentes del espectro electromagnético. Como ampliación, los alumnos pueden aplicar el conocimiento adquirido para discutir si el diagrama de Hubble podría representar una secuencia de la evolución de las galaxias.</p>
<p><b>Curriculum</b></p> <p><b>Física</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El método científico.</li> <li>• Utilización de tecnologías de la información y la comunicación.</li> <li>• Ondas. El espectro electromagnético.</li> </ul> <p><b>Cultura científica</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los métodos de la ciencia. Uso de las TIC.</li> <li>• Estudio y exploración del universo.</li> <li>• Los niveles de agrupación en el Universo.</li> <li>• Evolución de las estrellas.</li> </ul>	<p><b>Los alumnos aprenderán...</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cómo clasifican los astrónomos las galaxias en base a su forma y contenido.</li> <li>2. Las propiedades básicas de los distintos tipos de galaxias.</li> <li>3. Las ideas básicas de evolución estelar.</li> <li>4. Las propiedades del espectro electromagnético.</li> <li>5. La información que puede obtenerse a partir de una imagen astronómica.</li> </ol>
<p><b>Los alumnos deben conocer...</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. El concepto y las propiedades básicas de las ondas.</li> <li>2. El concepto de luz como onda electromagnética.</li> <li>3. El concepto de "galaxia".</li> </ol>	<p><b>Los alumnos mejorarán...</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Su comprensión del pensamiento científico.</li> <li>• Sus estrategias para trabajar según el método científico.</li> <li>• Sus competencias de trabajo en grupo y de comunicación.</li> <li>• Sus competencias de evaluación.</li> <li>• Su habilidad de aplicar conocimiento teórico a situaciones reales.</li> <li>• Sus competencias en el uso de las TIC.</li> </ul>

## Resumen de actividades

Título	Actividad	Objetivos	Requisitos	Tiempo
1. <i>¿Qué es una galaxia?</i>	Los alumnos discuten qué es una galaxia y cómo estudiar los diferentes tipos de galaxias que existen.	Los alumnos mejorarán: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Su comprensión del pensamiento científico.</li> <li>• Sus estrategias para trabajar según el método científico.</li> <li>• Sus competencias de trabajo en grupo y de comunicación.</li> </ul>	Ninguno.	10-15 min
2. <i>Conociendo ESASky</i>	Los alumnos juegan con la aplicación para familiarizarse con ella.	Los alumnos mejorarán: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sus competencias en el uso de las TIC.</li> </ul>	Ninguno.	15 min
3. <i>Classificando galaxias</i>	Los alumnos clasifican las galaxias según el diagrama de Hubble.	Los alumnos aprenderán: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cómo clasifican los astrónomos las galaxias en base a su forma y contenido.</li> <li>• Las propiedades básicas de los distintos tipos de galaxias.</li> </ul> Los alumnos mejorarán: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Su comprensión del pensamiento científico.</li> <li>• Sus estrategias para trabajar según el método científico.</li> <li>• Sus competencias de trabajo en grupo y de comunicación.</li> <li>• Sus competencias de evaluación.</li> <li>• Su habilidad de aplicar conocimiento teórico a situaciones reales.</li> <li>• Sus competencias en el uso de las TIC.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actividad 1 completada.</li> </ul>	15 min

Título	Actividad	Objetivos	Requisitos	Tiempo
<p>4. <i>Los colores de las galaxias</i></p>	<p>Los alumnos examinan imágenes de galaxias en el rango visible y estudian la relación entre su forma y sus colores.</p>	<p>Los alumnos aprenderán:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cómo clasifican los astrónomos las galaxias en base a su forma y contenido.</li> <li>• Las propiedades básicas de los distintos tipos de galaxias.</li> </ul> <p>Los alumnos mejorarán:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Su comprensión del pensamiento científico.</li> <li>• Sus estrategias para trabajar según el método científico.</li> <li>• Sus competencias de trabajo en grupo y de comunicación.</li> <li>• Su habilidad de aplicar conocimiento teórico a situaciones reales.</li> <li>• Sus competencias en el uso de las TIC.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actividad 3 completada.</li> <li>• Conocimiento básico de la relación entre el color y la edad de una estrella (masiva).</li> </ul>	<p>20 min</p>

Título	Actividad	Objetivos	Requisitos	Tiempo
5. <i>Las galaxias vistas con otra luz</i>	Los alumnos comparan imágenes de galaxias en los rangos visible, infrarrojo y de rayos X, y hacen hipótesis sobre el origen de las diferencias observadas.	<p>Los alumnos aprenderán:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cómo clasifican los astrónomos las galaxias en base a su forma y contenido.</li> <li>• Las propiedades básicas de los distintos tipos de galaxias.</li> <li>• La información que puede obtenerse a partir de una imagen astronómica</li> </ul> <p>Los alumnos mejorarán:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Su comprensión del pensamiento científico.</li> <li>• Sus estrategias para trabajar según el método científico.</li> <li>• Sus competencias de trabajo en grupo y de comunicación.</li> <li>• Su habilidad de aplicar conocimiento teórico a situaciones reales.</li> <li>• Sus competencias en el uso de las TIC.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actividad 4 completada.</li> <li>• Conocimiento del espectro electromagnético.</li> <li>• Conocimiento de la radiación de cuerpo negro.</li> <li>• Conceptos básicos de evolución estelar.</li> </ul>	30 min
6. <i>Evolución de las galaxias</i>	Los alumnos discuten si el diagrama de Hubble representa la evolución de las galaxias.	<p>Los alumnos mejorarán:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Su comprensión del pensamiento científico.</li> <li>• Sus estrategias para trabajar según el método científico.</li> <li>• Sus competencias de trabajo en grupo y de comunicación.</li> <li>• Sus competencias de evaluación.</li> <li>• Su habilidad de aplicar conocimiento teórico a situaciones reales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actividad 4 completada.</li> <li>• Conceptos básicos de evolución estelar.</li> </ul>	10 min



## Introducción

Hace un siglo, los astrónomos creían que nuestra galaxia, la Vía Láctea, constituía todo el universo. Entre 1910 y principios de los años veinte, hubo mucho debate acerca de si las llamadas “nebulosas espirales” (manchas difusas de luz con forma espiral) que se veían entre las estrellas eran o no parte de la Vía Láctea. Finalmente, el trabajo de Edwin Hubble (1889-1953) y Milton Humason (1891-1972) estableció que cada una de aquellas nebulosas espirales era en realidad un enorme sistema estelar que hoy llamamos *una galaxia*. Hubble y Humason consiguieron medir la distancia a algunas de esas galaxias, demostrando que el universo era mucho mayor de lo que se pensaba y que nuestra galaxia sólo es una de los miles de millones de galaxias que existen.

En estas actividades, los alumnos usarán la aplicación web *ESASky* para analizar auténticas observaciones de galaxias en varios rangos de longitud de onda, realizadas con misiones espaciales y telescopios terrestres.



## Fundamentos teóricos

### Un universo de galaxias

En 1926, Edwin Hubble propuso una clasificación basada en el aspecto de las galaxias en las placas fotográficas. Su sistema tiene tres categorías básicas: galaxias elípticas, espirales e irregulares. Los dos primeros tipos se subdividen a su vez en diversos subtipos. Gráficamente, la clasificación se representa en el llamado “diagrama de horca de Hubble”, el cual se muestra en la Figura 1. Nuestra galaxia, la Vía Láctea, es probablemente una galaxia espiral barrada.

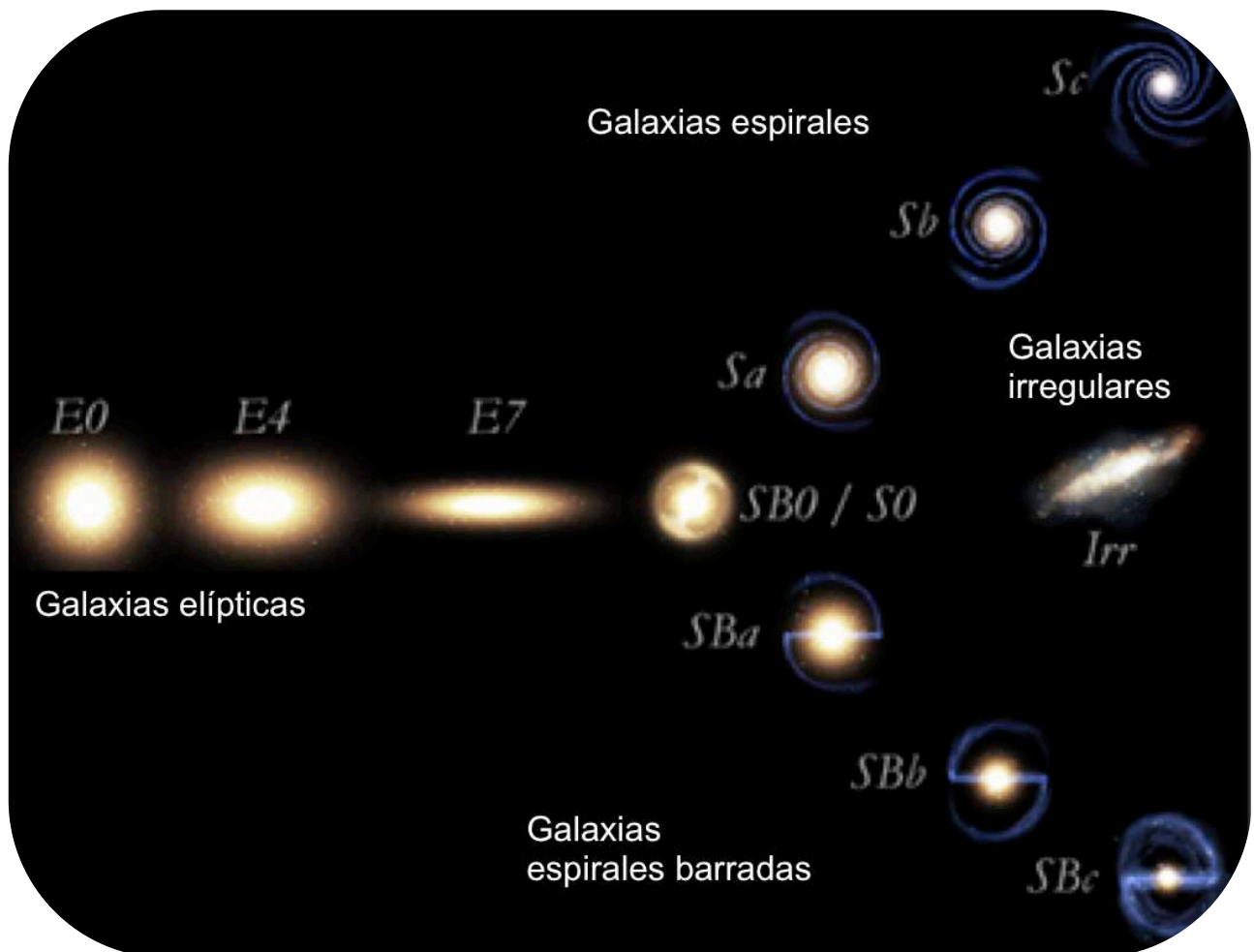
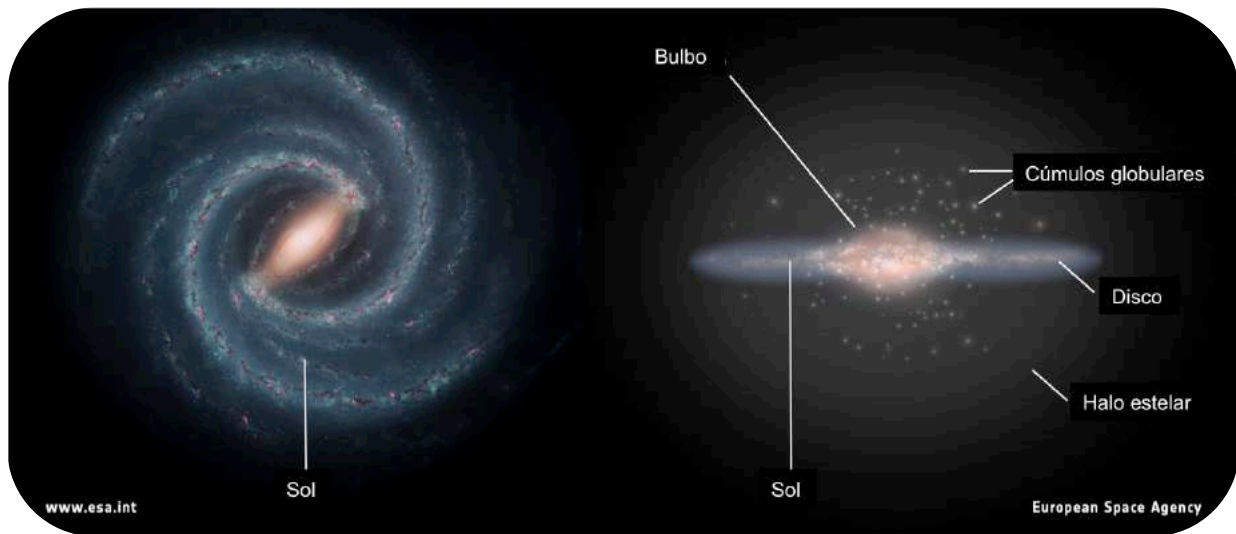


Figure 1: Diagrama de horca de Hubble. (Crédito: NASA/ESA)

Mientras que las galaxias irregulares y elípticas apenas tienen estructura, en las galaxias espirales y espirales barradas podemos distinguir distintas partes (Figura 2): La parte central, llamada *bulbo*, tiene forma esférica en las espirales normales, mientras que en las barradas tiene forma alargada, con una *barra* que lo une a los brazos espirales. El bulbo está rodeado por el *disco*, el cual contiene los *brazos espirales*. Bulbo y disco están rodeados por un *halo* esférico.



**Figure 2:** Estructura de una galaxia espiral, la Vía Láctea. (Crédito: ESA)

## Cómo los astrónomos estudian las galaxias

Muy pronto, los astrónomos descubrieron que la forma de una galaxia está relacionada con otras propiedades, como su color en el rango visible, el cual a su vez depende del tipo de estrellas que contiene.

Dado que las galaxias se encuentran a muy grandes distancias, en la mayoría de los casos no es posible resolver de manera individual las estrellas que las forman; lo que vemos es la luz combinada de todas esas estrellas. En realidad, son las estrellas más brillantes y más grandes – las llamadas *gigantes* y *supergigantes* las responsables de los colores observados.

Los astrónomos también saben que todas las estrellas se forman en nubes de gas y polvo, y que las estrellas gigantes azules son jóvenes y masivas, mientras que las gigantes y supergigantes rojas son estrellas viejas que están llegando al final de sus vidas. Dependiendo de su masa, estas estrellas se convertirán en enanas blancas o explotarán en forma de supernovas, dejando después una estrella de neutrones o un agujero negro (Figura 4). Las estrellas jóvenes y poco masivas, llamadas *enanas rojas* y *amarillas*, son muy débiles y apenas contribuyen a la emisión total de luz de la galaxia.

Pero las galaxias no sólo contienen estrellas. Ahora bien, para poder estudiar otros tipos de objetos astronómicos dentro de una galaxia, los astrónomos necesitan observarla en luz diferente. La razón es que los objetos emiten luz de longitudes de onda diferentes dependiendo de su temperatura y de los fenómenos físicos que tienen lugar en ellos. La Tabla 1 presenta algunos ejemplos de objetos astronómicos que pueden encontrarse en una galaxia, los cuales tienen diferentes temperaturas y emiten en distintos rangos del espectro electromagnético.

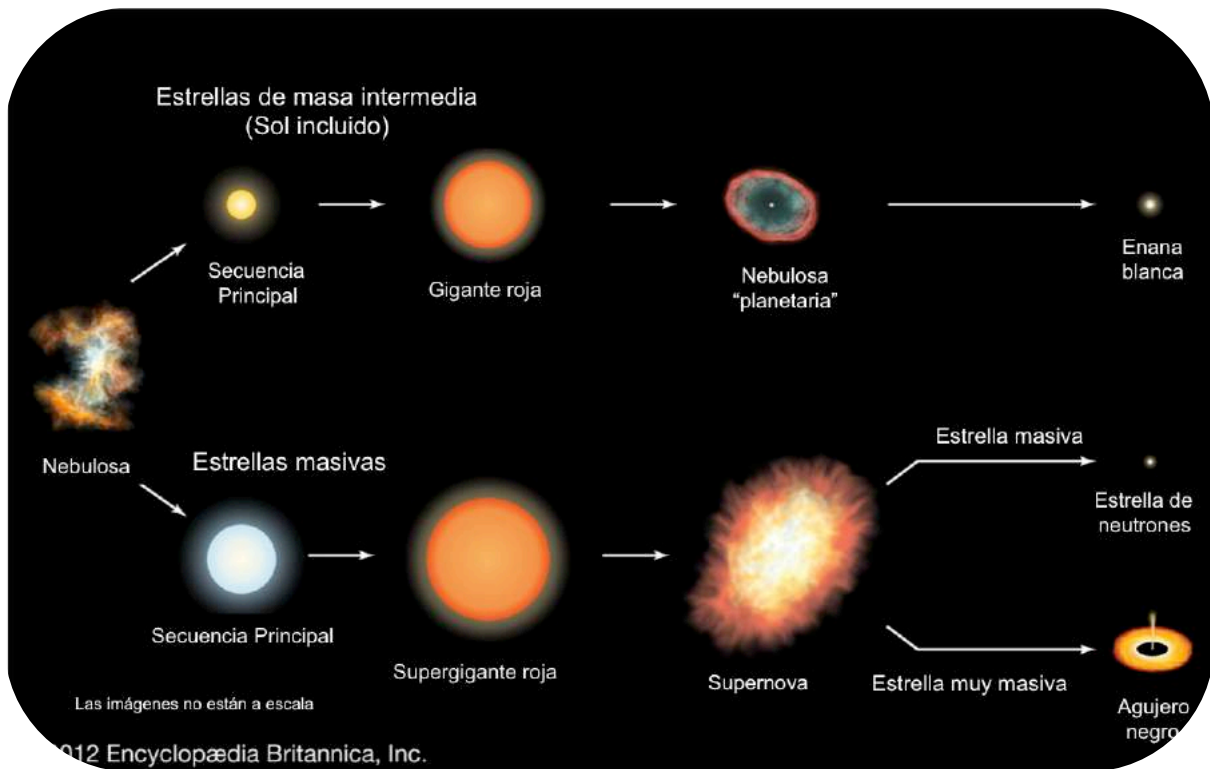


Figura 4: La evolución de una estrella depende de su masa. (Crédito: Encyclopaedia Britannica)

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

Tipo de radiación	Temperatura	Ejemplos
Rayos gamma	$>10^8$ K	Materia cayendo en un agujero negro
Rayos X	$10^6$ - $10^8$ K	Remanentes de supernova Coronas estelares
Ultravioleta	$10^4$ - $10^6$ K	Remanentes de supernova Estrellas muy calientes
Visible	$10^3$ - $10^4$ K	Estrellas Planetas calientes
Infrarrojo	$10$ - $10^3$ K	Estrellas muy frías Planetas Nubes frías de polvo
Radio	$<10$ K	Nubes frías de gas Electrones moviéndose en campos magnéticos

\* Adaptado de: NASA/Imagine the Universe!



## Descripción de las actividades

### Actividad 1: ¿Qué es una galaxia?

Esta actividad proporciona una introducción al tema de las galaxias, estableciendo el conocimiento previo de los alumnos.

La Guía del Estudiante pide a los alumnos que hagan una lista de lo que ya saben de las galaxias, y de lo que les gustaría saber. Para ayudarles en esta tarea, se les pueden plantear preguntas del tipo:

- *¿Qué es una galaxia?*
- *¿Cómo se llama la galaxia en la que vivimos?*
- *¿Cuántas galaxias pensáis que hay en el universo?*
- *¿Son todas las galaxias iguales? ¿Qué haríais para averiguar qué tipos de galaxias existen?*
- *¿Las galaxias contienen solamente estrellas? ¿Qué haríais para investigar el contenido de una galaxia?*

Como alternativa, los estudiantes pueden investigar estas cuestiones en casa, como preparación para las actividades siguientes.

### 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:

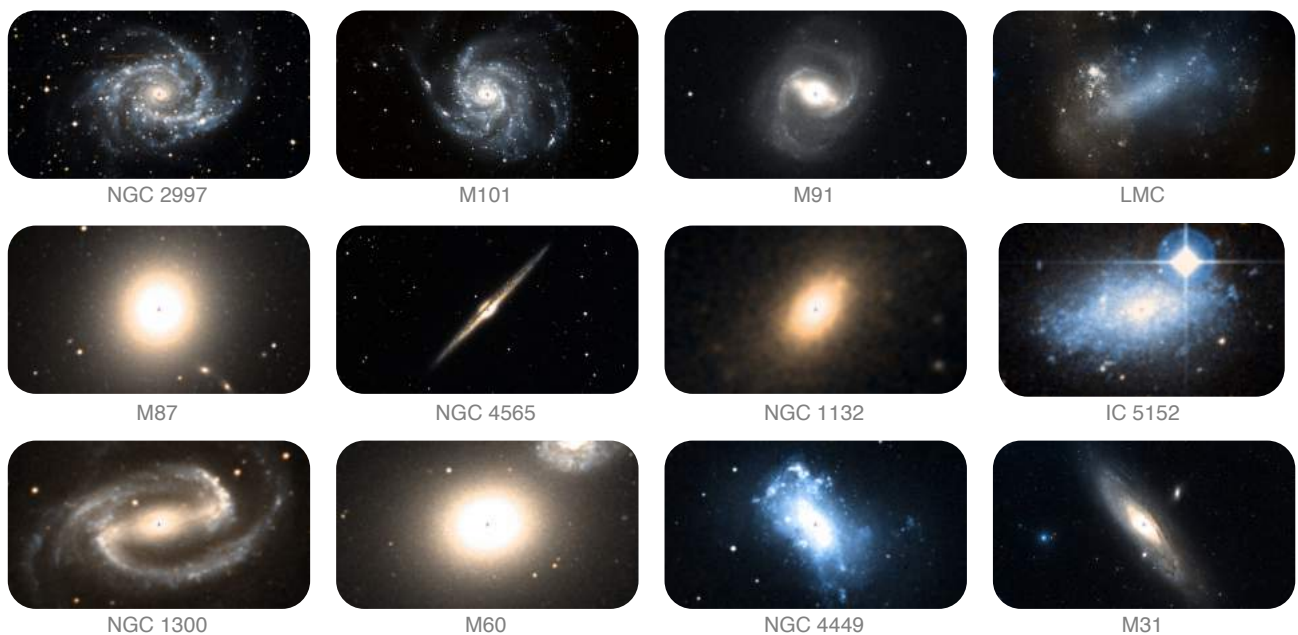
- Moverse por el cielo, acercarse o alejarse de un objeto.
- Cambiar de objeto usando el campo de búsqueda (esquina superior derecha).
- Visualizar el cielo en diferentes longitudes de onda.

### Actividad 3: Clasificando galaxias

En esta actividad, los alumnos visualizan las galaxias de una lista con *ESASky*, y las clasifican de acuerdo con su forma. Emplean para ello el mapa óptico *Digital Sky Survey 2 (DSS2)*<sup>1</sup> y el diagrama de Hubble mostrado en la Figura 1. La Guía del Estudiante proporciona instrucciones detalladas.

Siguiendo las indicaciones de la Guía, primero los alumnos tienen que cargar la lista de galaxias en *ESASky*, disponible entre las listas predefinidas de la aplicación con el nombre “CESAR Galaxias”. Los nombres de las galaxias en la lista, junto con una descripción de cada una, se muestran también en la Tabla 2. La Figura 5 muestra las imágenes ópticas de las galaxias.

A medida que visualizan las galaxias, los estudiantes tienen que comparar su aspecto con los distintos tipos del diagrama de Hubble y asignar un tipo a cada galaxia. La Tabla 3 indica la clasificación oficial.



**Figura 5:** La galería de galaxias, observadas en luz visible por el Digital Sky Survey (DSS2).  
Crédito: ESA/ESDC

<sup>1</sup> Para más información acerca de los datos visualizados en ésta y las demás actividades, consúltese la documentación (en inglés) de *ESASky* y los enlaces allí proporcionados:

<https://www.cosmos.esa.int/web/esdc/esasky-skies>



**Tabla 2:** Lista de galaxias, con sus descripciones.

Galaxia	Descripción
NGC 2997	NGC 2997 se encuentra aproximadamente a 25 millones de años luz de distancia, en la constelación de Antlia (la Máquina Neumática).
M101	M101, conocida como la Galaxia del Molinillo, es una galaxia espiral situada a unos 21 millones de años luz, aproximadamente, en la constelación de la Osa Mayor.
M91	M91 se encuentra a una distancia de unos 63 millones de años luz de la Tierra, en la constelación de la Cabellera de Berenice. Forma parte del Cúmulo de Galaxias de Virgo.
LMC	La Gran Nube de Magallanes (LMC, por sus siglas en inglés) es la mayor galaxia satélite de la Vía Láctea. A tan sólo 163.000 años luz, es la tercera galaxia más próxima, después de la Galaxia Enana de Sagitario y la Galaxia Enana del Can Menor.
M87	M87, situada cerca del centro del Cúmulo de Virgo, es una de las galaxias más masivas en el Universo Local.
NGC 4565	NGC 4565, también llamada la Galaxia de la Aguja por su forma estrecha y alargada, se encuentra a una distancia de entre 30 y 50 millones de años luz de nosotros, en la constelación de la Cabellera de Berenice.
NGC 1132	NGC 1132 está situada a una distancia de 320 años luz, en la constelación de Erídano.
IC 5152	IC 5152 es una galaxia enana del Grupo Local, el grupo de galaxias al que también pertenece la Vía Láctea.
NGC 1300	NGC 1300 está situada a unos 61 millones de años luz de distancia, en la constelación de Erídano, y tiene un diámetro de unos 110.000 años luz (unos dos tercios del tamaño de la Vía Láctea). Es miembro del Cúmulo de Erídano, formado por unas 200 galaxias.
M60	M60, también llamada NGC 4649, se encuentra a una distancia de unos 55 millones de años luz, en la constelación de Virgo. Forma con NGC 4647 una pareja de galaxias en interacción conocida como Arp 116.
NGC 4449	NGC 4449 es una galaxia de la constelación de los Perros de Caza. A una distancia de 12 millones de años luz, forma parte del Grupo M94, un grupo de galaxias relativamente próximo al Grupo Local, que contiene la Vía Láctea.
M31	La Galaxia de Andrómeda, M31, se encuentra a unos 2,5 millones de años luz, en la constelación de Andrómeda. Con un diámetro de unos 220.000 años luz, es la mayor galaxia del Grupo Local, que también incluye la Vía Láctea, la Galaxia del Triángulo y otras 44 galaxias menores.

**Tabla 3:** Clasificación oficial de las galaxias seleccionadas.

Tipo	Galaxias
Espirales	NGC 2997, M101, M31
Espirales barradas	M91, NGC 1300, NGC 4565
Elípticas	M87, NGC 1132, M60
Irregulares	LMC, NGC 4449, IC 5152

### Respuestas a las preguntas de la Guía del Estudiante

6. Comparad vuestra clasificación con la de otros grupos, y discutid las discrepancias.

Resulta interesante discutir estas clasificaciones con los alumnos. Por ejemplo:

- ¿Es la Gran Nube de Magallanes realmente una galaxia irregular o, como afirman algunos astrónomos, una galaxia espiral barrada?
- Si M31 es una galaxia espiral, ¿por qué tiene esa forma tan alargada, comparada con las demás? La razón es la perspectiva: Estamos viéndola algo inclinada, mientras que las otras galaxias espirales se ven desde arriba.
- ¿Están de acuerdo todos los grupos en la clasificación de NGC 4565? Se trata de una espiral barrada, pero el disco de esta galaxia se ve de canto, así que no podemos reconocer los brazos espirales. Aún así, podemos ver una banda oscura que indica la presencia del disco (causada por el polvo contenido en los brazos espirales, que bloquea la luz visible). Los alumnos pueden comparar esta galaxia con la Figura 2, que muestra la estructura de la Vía Láctea vista de canto y desde arriba. Por otro lado, los astrónomos piensan que NGC 4565 tiene una barra a causa de la elongación del bulbo.

Los alumnos deberían reflexionar acerca de la dificultad de determinar cuál es la forma real de una galaxia cuando no podemos observarla desde perspectivas diferentes, y cómo la clasificación no siempre resulta totalmente clara, y requiere consenso. Para resolver este tipo de discrepancias, los astrónomos realizan observaciones de seguimiento, a fin de observar en más detalle algunas partes de la galaxia, o cómo se ve la galaxia en otras longitudes de onda. De esta forma pueden aprender más cosas acerca de su forma y contenido.

Conviene asegurarse de que todos los alumnos tienen la clasificación correcta antes de pasar a las actividades siguientes.

## Actividad 4: Los colores de las galaxias

En esta actividad, los alumnos emplean la clasificación oficial de las galaxias estudiadas en la Actividad 3 para determinar algunas de sus propiedades. La investigación se basa en los colores ópticos de las galaxias, tal y como se ven en *ESASky*, y en algunos conceptos básicos de las propiedades de las estrellas.

Sólo las estrellas más masivas y luminosas contribuyen de manera significativa a la luminosidad de una galaxia. Por este motivo, los alumnos pueden asumir que: estrellas azules = estrellas jóvenes y estrellas rojas = estrellas viejas, aunque las estrellas poco masivas jóvenes sean rojas y no azules. Algunos alumnos pueden argumentar que las galaxias elípticas y los bulbos de las galaxias espirales presentan más bien un color amarillento o blanquecino, antes que rojizo. Si este punto surge en la discusión, es necesario explicar que esas regiones contienen estrellas de muchas edades diferentes, pero en todo caso, la falta de estrellas azules está indicando que esas estrellas son más viejas que las de las regiones azuladas de la galaxia.

### Respuestas a las preguntas de la Guía del Estudiante

1. Examinad de nuevo las galaxias en *ESASky*. ¿Veis alguna relación entre el color y la forma de las galaxias? Explicad cuál.

Como regla general, las galaxias elípticas tienen un color amarillento, mientras que las espirales y las irregulares son más azuladas. Aún así, los alumnos pueden notar algunas excepciones: El color de NGC 4565 no es azul, pero hay que recordar que, en este caso, sólo vemos el borde del disco (la franja oscura debido a la presencia de polvo que absorbe la luz visible), y es en éste donde se encuentran la mayoría de las estrellas azules en las otras galaxias espirales.

2. Fijaos en las galaxias espirales. ¿Por qué son tan diferentes los colores del bulbo (parte central) y de los brazos espirales? Sugerid una explicación. (Recordad que sólo las estrellas más brillantes son observables a grandes distancias)

Esta observación sugiere que las estrellas contenidas en cada región son diferentes. Los brazos espirales son azulados porque contienen muchas estrellas jóvenes (ya que las estrellas jóvenes y masivas son azules), mientras que los bulbos son amarillentos porque son ricos en estrellas evolucionadas (más rojizas).

3. Comparad los bulbos de las galaxias espirales con las galaxias elípticas. ¿En qué se parecen?

Los bulbos de las galaxias espirales se asemejan a las galaxias elípticas en forma y color, lo que sugiere que su contenido en estrellas es similar (estrellas evolucionadas).

## Actividad 5: Las galaxias vistas con otra luz

Esta actividad muestra a los alumnos el aspecto de las galaxias al ser observadas en luz diferente del rango visible. Tienen que comparar imágenes de la misma galaxia en distintos tipos de luz y discutir las semejanzas y diferencias. Después reflexionan en cómo apoyan estas observaciones sus conclusiones de la Actividad 4 acerca de las propiedades de las galaxias.

Para completar con éxito la actividad, los alumnos deben conocer las propiedades básicas del espectro electromagnético, y en particular, los diferentes tipos de luz que existen, la definición de longitud de onda y frecuencia y su relación con la energía y la temperatura (radiación de cuerpo negro).

Los alumnos necesitan también algunos conceptos básicos de evolución estelar. En concreto, deben de saber que las estrellas se forman en nubes frías de gas y polvo, y ser capaces de asociar la ubicación de este tipo de nubes dentro de una galaxia con la ubicación de las estrellas jóvenes. Pueden comprobar esto visualizando imágenes de la galaxia en infrarrojo y radio, ya que es a estas longitudes de onda que la emisión está dominada, respectivamente, por el polvo y el gas en su interior. Ello se debe a las bajas temperaturas de estos dos componentes.

Asimismo, los alumnos tienen que saber que las estrellas masivas terminan su vida como supernovas, dando lugar a estrellas de neutrones o agujeros negros (dependiendo de la masa final). Ambos tipos de objetos están asociados con fuentes de emisión de rayos X observadas en el centro de nubes remanentes de supernova. Por lo tanto, observando en rayos X, los alumnos deberían de establecer la conexión entre la localización de las fuentes de rayos X en una galaxia y la de las estrellas evolucionadas detectadas en luz visible.

La Tabla 1 (incluida también en la Guía del Estudiante) presenta un resumen de las propiedades del espectro electromagnético con ejemplos de fuentes astronómicas que emiten en cada tipo de luz. Para guiar la investigación, se proponen algunas preguntas en la Guía del Estudiante.

### Acerca de las imágenes

A la hora de comparar imágenes tomadas en rangos de longitud de onda diferentes, puede ser necesario advertir a los alumnos que no todas ellas tienen la misma resolución: como regla general, las imágenes ópticas tienen la mejor resolución, y las imágenes en radio y rayos gamma, la peor. Por este motivo, algunos detalles visibles en las imágenes ópticas pueden no ser apreciables en el infrarrojo.

Conviene también recordar a los alumnos que los colores de las imágenes astronómicas en luz no visible no corresponden a lo que veríamos con nuestros ojos, ya que no podemos ver luz infrarroja ni rayos X. Los colores empleados son simplemente una codificación para representar diferentes frecuencias (o energías) en ese rango del espectro en particular.

## Respuestas a las preguntas de la Guía del Estudiante

1. Las estrellas se forman a partir de nubes frías de gas y polvo que colapsan bajo el efecto de su propia gravedad. Por este motivo, normalmente se observan estrellas jóvenes cerca de este tipo de nubes. Con lo que habéis deducido en la actividad anterior a partir de los colores de las galaxias, ¿creéis que las galaxias espirales tendrán mucho gas y polvo? ¿Y las galaxias elípticas? Justificad vuestras respuestas.

Puesto que, como acabamos de ver, las galaxias espirales contienen muchas estrellas jóvenes, y las elípticas no, cabe esperar que las primeras sean también ricas en gas y polvo, mientras que las elípticas no deben de contener muchas nubes de este tipo.

2. En base a la información de la Tabla 3, ¿qué tipo de luz usaríais para estudiar el gas y el polvo en una galaxia?

De acuerdo con la Tabla 1, el polvo se observa de manera óptima en el infrarrojo, y el gas frío, en radio.

3. ¿Dónde pensáis que se encontrará la mayor parte del gas y el polvo dentro de una galaxia espiral? Escribid vuestra hipótesis:

Si las nubes de gas y polvo se asocian con estrellas jóvenes, cabe esperar que se encuentren en la misma zona de la galaxia donde observamos dichas estrellas, esto es, los brazos espirales.

5. Cuando tengáis vuestra pila de mapas, comparad las imágenes de las galaxias M31 y M91 en el rango visible (óptico) con sus imágenes en el infrarrojo lejano y el rango submilimétrico (ondas muy cortas de radio). ¿Qué aspecto tienen estas galaxias en estos otros tipos de luz? ¿Cuál es el motivo?

M91 y M31 son dos galaxias espirales. Podemos ver los brazos espirales en sus imágenes tanto el visible como en el infrarrojo. Esto confirma que esas regiones de estas galaxias son ricas en polvo y gas frío, además de contener estrellas jóvenes.

6. Comparad el aspecto de la galaxia M31 en rayos X blandos con sus imágenes en el óptico e infrarrojo lejano. ¿Por qué se ve tan diferente?

Mientras que los brazos espirales se ven claramente en el óptico y el infrarrojo, en rayos X lo que vemos es una aglomeración de fuentes aproximadamente esférica, cuya ubicación corresponde al bulbo de la galaxia en luz visible. De acuerdo con la Tabla 1, las fuentes de rayos X más prominentes son remanentes de supernova, estrellas de neutrones y agujeros negros; se trata de los restos de la vida de estrellas masivas, lo que confirma que el bulbo de las galaxias contiene muchas estrellas evolucionadas.

7. Comparad el aspecto de la galaxia M60 en rayos X, el rango óptico y el infrarrojo lejano. ¿Cuáles son las razones de las diferencias que veis?

M60 es una galaxia elíptica. Su aspecto es muy similar en rayos X y en el visible, lo que confirma que contiene muchas estrellas evolucionadas. En cambio, si la observamos en el infrarrojo, lo que vemos es esencialmente ruido; sin embargo, la vecina galaxia NGC 4647 puede verse claramente en la imagen. Esto significa que M60 apenas contiene polvo, lo que concuerda con el hecho de que no tenga muchas estrellas jóvenes.

8. NGC 4565 está clasificada como una galaxia espiral vista de canto. ¿Cuál es el aspecto de esta galaxia en el infrarrojo lejano? ¿Y en rayos X? ¿Cómo confirman estas observaciones que NGC 4565 es una galaxia espiral?

La imagen infrarroja de esta galaxia la muestra con forma alargada, similar a una aguja, lo que sugiere el borde de una estructura aplanada, el disco. En rayos X, sin embargo, lo que vemos es una aglomeración de fuentes en la parte central, que tiene forma esférica en la imagen óptica; se trata del bulbo de la galaxia.

9. ¿Qué galaxias están formando estrellas, y qué galaxias no? Justificad vuestra respuesta.

Hemos visto que las galaxias elípticas contienen sobre todo estrellas viejas, y muy poco polvo y gas frío; mientras que las galaxias espirales contienen muchas estrellas jóvenes y mucho polvo y gas en sus brazos espirales, pero no en sus bulbos, que recuerdan a las galaxias elípticas. Dado que las estrellas se forman en nubes frías de polvo y gas, la conclusión es que las galaxias espirales estarán formando estrellas en sus brazos espirales, mientras que poca o ninguna formación estelar estará teniendo lugar en las galaxias elípticas.

## Actividad complementaria: La evolución de las galaxias

En esta actividad complementaria, los alumnos analizan si el diagrama de horca de Hubble podría representar una secuencia evolutiva de las galaxias. Para ello, tienen que aplicar los conocimientos adquiridos acerca de las propiedades de las galaxias y decidir si parece probable que las galaxias elípticas evolucionen transformándose en galaxias espirales y, más tarde, galaxias irregulares. Esta actividad podría usarse como transición al tema de formación y evolución de las galaxias.

## Respuestas a las preguntas de la Guía del Estudiante

Hubble pensaba que su diagrama mostraba una secuencia evolutiva para las galaxias. Según su hipótesis, las galaxias tendrían primero forma esférica, y se irían aplanando y desarrollando los brazos espirales con el tiempo, para terminar con una forma irregular.

Teniendo en cuenta todo lo que habéis aprendido acerca del contenido de los diferentes tipos de galaxias, creéis que esta hipótesis es plausible? Justificad vuestra respuesta.

Si las galaxias elípticas contienen tan sólo estrellas relativamente viejas, y muy poco gas y polvo, y las galaxias espirales contienen tanto estrellas viejas como jóvenes, no parece probable que las primeras evolucionen hacia las segundas. Parece más probable lo contrario: que las galaxias espirales (y al menos algunas galaxias irregulares) evolucionen de alguna forma a galaxias elípticas.

En realidad, el modelo actual de formación de galaxias es mucho más complejo. Actualmente, los astrónomos creen que las primeras galaxias eran pequeñas e irregulares, y evolucionaron gracias a colisiones, fusionándose para formar estructuras de mayor tamaño. Las galaxias elípticas gigantes que vemos en el centro de muchos cúmulos de galaxias serían el último producto de este proceso, y se habrían originado por la unión de muchas galaxias menores.





## 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)
- *Descubriendo el medio interestelar:*  
[http://cesar.esa.int/index.php?Section=Exploring the Interstellar Medium](http://cesar.esa.int/index.php?Section=Exploring%20the%20Interstellar%20Medium)

### Galaxias

- CESAR Booklet: *Galaxies*  
[http://cesar.esa.int/upload/201801/galaxies\\_booklet.pdf](http://cesar.esa.int/upload/201801/galaxies_booklet.pdf)
- Galaxies and the expanding universe:  
<http://sci.esa.int/education/36827-galaxies-and-the-expanding-universe/>
- The *Galaxy Zoo* project: <https://www.galaxyzoo.org>
- Edwin Hubble:  
[http://www.esa.int/About Us/Welcome to ESA/ESA history/Edwin Hubble The man who discovered the Cosmos](http://www.esa.int/About_Us/Welcome_to_ESA/ESA_history/Edwin_Hubble_The_man_who_discovered_the_Cosmos)

### Estrellas

- CESAR Booklet: *Stellar evolution*
- Stellar processes and evolution:  
<http://sci.esa.int/education/36828-stellar-processes-and-evolution/>

### El espectro electromagnético y las misiones de la Agencia Espacial Europea

- CESAR Booklet: *The electromagnetic spectrum*  
[http://cesar.esa.int/upload/201711/electromagnetic\\_spectrum\\_booklet\\_wboxes.pdf](http://cesar.esa.int/upload/201711/electromagnetic_spectrum_booklet_wboxes.pdf)
- Science@ESA: *The full spectrum* (video)  
<http://sci.esa.int/education/44685-science-esa-episode-1-the-full-spectrum/>
- 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/>

### ESASky

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