

## PROYECTO: AGUJEROS NEGROS ¿Qué podemos entender de ellos a nivel de Bachillerato?

*Einstein se equivocaba cuando decía que “Dios no juega a los dados con el Universo”.  
Considerando la hipótesis de los agujeros negros, Dios no solo juega a los dados con el Universo:  
a veces los arroja donde no podemos verlos.*

Stephen Hawking

### En este documento que vas a encontrar:

Introducción / Objetivo General de la Unidad / Dónde encuadrar esta actividad en el currículo oficial / Metodología a seguir / Productos / Temporalización / Evaluación / Referencias /

### 1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto pretende abordar, de manera somera, un primer acercamiento a la comprensión a nivel superficial del concepto de agujero negro. Los agujeros negros constituyen una singularidad dentro del estudio de la Física, cuya comprensión dista mucho de ser completa, y que resulta altamente atractiva, tanto desde el campo divulgativo como desde la perspectiva propia del alumnado de Bachillerato. Los pocos estudios certeros acerca de la comprensión de los agujeros negros comienzan a detallar algunos de sus rasgos estructurales, como el radio de Schwarzschild o la masa, que describen el aspecto exterior del agujero negro (el continente), si bien, aun apenas se puede afirmar nada veraz acerca del contenido de un agujero negro

De lo poco que se puede afirmar del contenido de un agujero negro es su emisión de chorros de partículas. Si bien, como se verá a través del desarrollo del proyecto, esto no es estrictamente cierto, ya que dicha emisión se produce desde el horizonte de sucesos, límite exterior del agujero negro, y no desde su interior. No obstante, esta cualidad permite prolongar la unidad hacia el desarrollo de su actividad final, donde se enlaza la emisión de partículas con su naturaleza a través de su descripción en un poster. El poster constituye una de las herramientas principales de difusión de los resultados científicos. Con él, las sesiones no se ciñen a una simple presentación de contenido. Se hace al alumno partícipe de cómo funciona la ciencia, cómo se trabaja en ella y cómo se expresan los resultados obtenidos dentro de su propia comunidad.

La aproximación al estudio de los agujeros negros se proyecta como contenido final de la unidad didáctica dedicada al concepto de la fuerza de la gravedad y de sus órbitas asociadas. Con ella, se pretende también reforzar y consolidar todo el aprendizaje significativo, alejando al alumno de las preconcepciones iniciales sobre la fuerza de la gravedad, entre las que cabe destacar la asociación de la gravedad con el vacío [1] o el hecho de que un agujero negro ejerza una mayor fuerza de atracción gravitacional sobre los cuerpos distantes que las estrellas de las cuales se formaron (véase Sesión 1).

Por último, el proyecto incluye una actividad extra diseñada por el departamento de divulgación educativa de la Agencia Espacial Europea (ESA). Se trata de aplicar datos reales a las teorías científicas mostradas en clase, que aumentan el nivel taxonómico, y, por ende, de aprendizaje y metacognición. No obstante, como se detalla posteriormente, se necesita de algunos conocimientos previos como son el espectro electromagnético o la emisión de radiación del cuerpo negro. Estos conceptos se tratan en el desarrollo normal de la asignatura, pero pueden haber sido secuenciados por el docente para sesiones de los próximos meses o trimestres

## 2. OBJETIVO GENERAL DE LA UNIDAD DIDÁCTICA

El objetivo general de la Unidad Didáctica consiste en familiarizar al alumnado de segundo de Bachillerato con los agujeros negros. Para hacerlo, se establecen tres perspectivas y/o bloques conceptuales, de modo que el docente que pretenda emplear el siguiente material, pueda secuenciar cualesquiera de ellos de una forma indistinta, pero, a su vez, correlativa:

- Introducción a los agujeros negros. Parámetros descriptores
- Partículas subatómicas. Poster científico
- Actividad extra. A través de la aplicación ESAsky de la Agencia Espacial Europea

La temporalización de cada uno de los bloques no exige de más de una, dos o a lo máximo, tres sesiones; de modo que puedan implementarse rápidamente, pero, que, a su vez, promuevan un incentivo conceptual al alumnado. Se trata de otorgar al docente material complementario del que pueda disponer y secuenciar, sin que eso le conlleve una demora en otros aspectos del currículo oficial

La Unidad Didáctica se articula siguiendo el orden propio de la lógica de los contenidos. Se comienza por una introducción histórica de la existencia de los agujeros negros. Posteriormente, se enlaza el concepto de agujero negro con descriptores propios del currículo de la Física de segundo de Bachillerato, para finalizar, con la realización de un poster, que permita acercarse al alumnado a los modos clásicos de actuación de la ciencia

## 3. ENCUADRE EN EL CURRÍCULO OFICIAL

Los contenidos de la interacción gravitatoria se encuentran dentro del currículo propuesto para la asignatura de Física en 2º de Bachillerato

Según el Real Decreto por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato 1105/2014 del 26 de diciembre [2] y del Decreto 52/2015 de la Comunidad de Madrid [3] que establece el currículo de Bachillerato para la Comunidad de Madrid, los agujeros negros se enmarcan dentro del bloque 2. *Interacción gravitatoria* de la asignatura de Física en 2º de Bachillerato

A su vez, todo ello se especifica dentro de dicho bloque, en los Criterios de Evaluación 3 y 5, así como en los estándares de aprendizaje 3.1, 5.1 y 5.2

3.1 Calcula la velocidad de escape de un cuerpo aplicando el principio de conservación de la energía mecánica

5.1 Deduce a partir de la ley fundamental de la dinámica la velocidad orbital de un cuerpo, y la relaciona con el radio de la órbita y la masa del cuerpo

5.2 Identifica la hipótesis de la existencia de la materia oscura a partir de los datos de rotación de las galaxias y la masa del agujero negro central

Esto permite pautar y desarrollar los contenidos aquí propuestos en concordancia con la ley educativa presente

#### 4. TEMPORALIZACIÓN POR SESIONES

El desarrollo de las sesiones incluye tanto los contenidos temporalizados, como las herramientas didácticas asociadas para alcanzar el aprendizaje significativo del alumno

Durante la implementación de las sesiones, se parte de un nivel mínimo, dado el curso para el que se enmarca la unidad didáctica, de modo que bastantes de los contenidos básicos son dados por conocidos. En este caso, aquellos conceptos referidos a las fuerzas, y más concretamente, los encarnados en la propia Unidad Didáctica de Interacción Gravitatoria presente en la mayor parte de los libros de texto del curso.

Cada sesión está plantada para una duración de unos 50 minutos, si bien su tiempo de aplicación deberá ser fijado exclusivamente por el docente que aplique estos materiales en el aula

##### *SESIÓN 1. AGUJEROS NEGROS. ¿Qué son?*

Se define un agujero negro como aquella región del espacio que tiene tanta masa concentrada en ella que un objeto cercano no puede escapar de su campo gravitatorio [4]. Tal es así, que ni siquiera la luz es capaz de escapar de la interacción gravitatoria, de tal modo, que, a priori, no se percibe nada de ellos. Por ello su nomenclatura como agujeros negros

Desde esta perspectiva resulta sencillo asociar el agujero negro a la física clásica que debe conocer un alumno de segundo de Bachillerato. Si se tiene un objeto estelar cuya velocidad de escape es mayor o igual a la de la velocidad de la luz en el vacío, entonces, se trata de un agujero negro

Pero ¿qué es la velocidad de escape? Se trata de la velocidad mínima que se debe dar a un cuerpo, para que al lanzarlo desde la superficie de un cierto objeto celeste de masa  $M$  y radio  $R$ , pueda escapar de su atracción gravitatoria. Como la fuerza de la gravedad es una interacción de largo alcance, el objeto debe alcanzar el infinito

Al ser la fuerza de la gravedad una fuerza conservativa, se puede aplicar el teorema de conservación de la energía para deducir el valor de la velocidad de escape. Suponiendo, eso sí, que el cuerpo lanzado solo se encuentra bajo la acción de fuerzas conservativas (en este caso, exclusivamente, la fuerza de la gravedad), se tiene:

$$E_{m_0} = E_{m_f}$$
$$E_{c_0} + E_{p_0} = E_{c_f} + E_{p_f}$$

Por definición, la energía cinética final es cero; ya que se trata de la velocidad mínima a comunicar al objeto para que consiga salir de la acción de la interacción gravitatoria causada por el cuerpo celeste. Por ello se le comunica la justa para que cuando el objeto salga de esta, se detenga, es decir, su velocidad se haga cero.

Del mismo modo, por definición, en la situación final, el objeto ya no siente atracción gravitatoria alguna, siendo su energía potencial asociada nula

$$E_{c_0} + E_{p_0} = 0$$
$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + \left( -G \cdot \frac{M \cdot m}{R} \right) = 0$$

Se puede observar que la solución final no depende de la masa del objeto lanzado (el que pretende escapar), al igual que ocurre en el caso de la caída libre. Ambas vienen regidas por la misma interacción, dando lugar, por tanto, a condiciones semejantes. Cuidado, ya que en nuestra vivencia diaria no ocurre así, a consecuencia de la presencia de fuerzas no conservativas como el rozamiento que invalidan todo el proceso deductivo

La velocidad que aparece en la ecuación es la velocidad de escape,  $v_e$ . Despejando, se obtiene su solución

$$v_e = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{R}}$$

Si ahora se interpreta esa velocidad de escape como la velocidad de la luz en el vacío, de esa misma expresión se puede obtener el radio que debe tener un objeto de cierta masa para que se comporte como un agujero negro. A ese radio se le denomina radio de Schwarzschild.

$$R_s = \frac{2 \cdot G \cdot M}{c^2}$$

Se define el radio de Schwarzschild como el radio del horizonte de sucesos en el que la masa de un cuerpo puede llegar a ser comprimida para formar un agujero negro. Cualquier cosa que suceda dentro de una esfera de radio igual al radio de Schwarzschild no puede ser vista por un observador externo. Esa esfera es su horizonte de sucesos. El límite, por tanto, del agujero negro

Para finalizar la sesión, se plantea la puesta en práctica de las destrezas asociadas al conocimiento teórico previamente definido. En concreto, se pautan algunas pequeñas preguntas asociadas a concepto de radio de Schwarzschild

**Pregunta 1.** ¿Cuál sería el radio de Schwarzschild para que el planeta Tierra se convirtiese en un agujero negro?

Datos: Masa de la Tierra.  $M_T = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

**Pregunta 2.** ¿Cuál es la masa que debe tener una pelota de tenis para ser considerada un agujero negro, si el diámetro estándar de una de ellas es de 6,50 cm?

Al corregir estas cuestiones es importante incidir que, si bien cualquier objeto masivo tiene un radio de Schwarzschild, resulta muy difícil comprimir el objeto hasta ese tamaño [En la siguiente sesión se tratan levemente los tipos de agujeros negros y su posible origen]

**Pregunta 3.** ¿Cuánto tiempo tardaría la Tierra en completar una vuelta al Sol si este de pronto colapsará en un agujero negro?

Datos: Masa del Sol  $M_S = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ Kg}$

**Pregunta 4.** Si la Tierra colapsara al tamaño descrito en la primera pregunta para llegar a convertirse en un agujero negro ¿Cuál sería el periodo de rotación de la Luna sobre ella?

Datos: Masa de la Luna  $M_L = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ Kg}$

Distancia media Luna – Tierra  $d_{L-T} = 3,84 \cdot 10^5 \text{ Km}$

Con estas dos cuestiones se pretende incidir en el hecho de que un agujero negro no ejerce una mayor fuerza de atracción gravitacional sobre los cuerpos distantes que las estrellas de las cuales se formaron. Por eso no cambia el periodo de los cuerpos celestes que lo orbitan, siempre y cuando, claro, se encuentren fuera del horizonte de sucesos del agujero negro

Para finalizar la sesión se puede mostrar la primera foto que se ha obtenido de un agujero negro

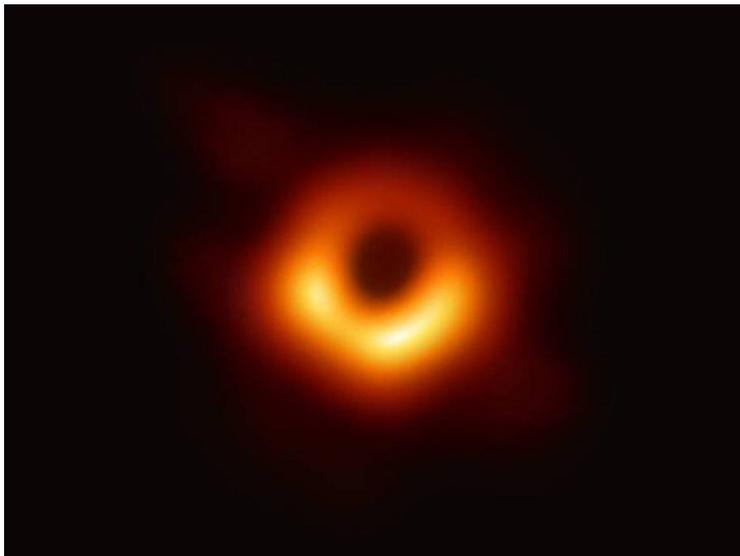


Imagen del agujero negro Messier 87. CCA 4.0  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black\\_hole\\_-\\_Messier\\_87.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black_hole_-_Messier_87.jpg)

El siguiente vídeo muestra cómo se ha realizado la fotografía de un objeto que no desprende radiación en el espectro visible tal como lo hacen otros objetos celestes como las estrellas. [5]

## SESIÓN 2. Los agujeros negros no son tan negros. TEMPERATURA DE HAWKING

En general, la estructura de los agujeros negros se puede describir con tan solo tres números: su masa, su carga eléctrica y su momento angular [6]. Gracias a ello, resulta posible clasificar los agujeros negros según dichas variables en:

- Agujero negro de Schwarzschild. Descrito por la masa
- Agujero negro de Reissner – Nordström. Descrito por su masa y su carga eléctrica
- Agujero negro de Kerr. Descrito por su masa y su momento angular
- Agujero negro de Kerr – Newman. Descrito por la masa, el momento y la carga eléctrica

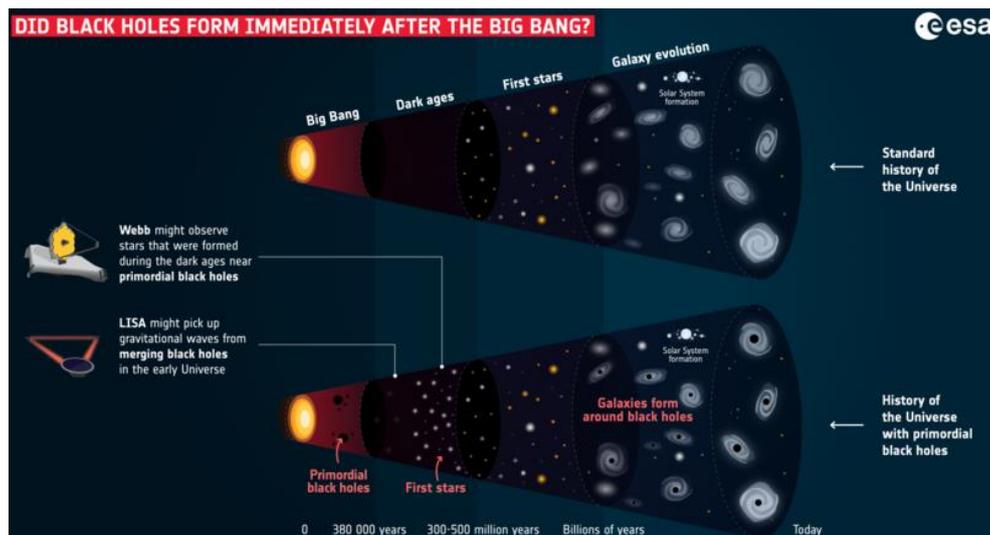
Gargantúa, es quizá, el agujero negro más famoso de la historia reciente del cine. Este agujero negro, personaje central de la película *Interstellar*, pertenece al tipo de Kerr. Al tratarse de un agujero negro en rotación se describe por su momento angular, además de su masa. Si bien la imagen ilustrada en la película no se corresponde con los cálculos relativistas para el planeta de Miller, si se trata de una imagen fehaciente de un agujero negro de Kerr con menor velocidad de rotación, y menor valor de su parámetro descriptor  $a/M$  [7]



Imagen de Gargantúa, el agujero negro de la película de *Interstellar*. La película gozó de la participación del premio Nóbel de Física Kip Thorne. Imagen izquierda tomada de [xataka.com](http://xataka.com) e imagen derecha tomada de [Filmaffinity](http://Filmaffinity)

En función de los rangos de masa, los agujeros negros se pueden clasificar del siguiente modo:

- Primordiales: desde unos pocos gramos a la masa de un planeta. Propuestos por primera vez por Hawking. De momento, no existe evidencia experimental aceptada plenamente por la comunidad científica de ellos

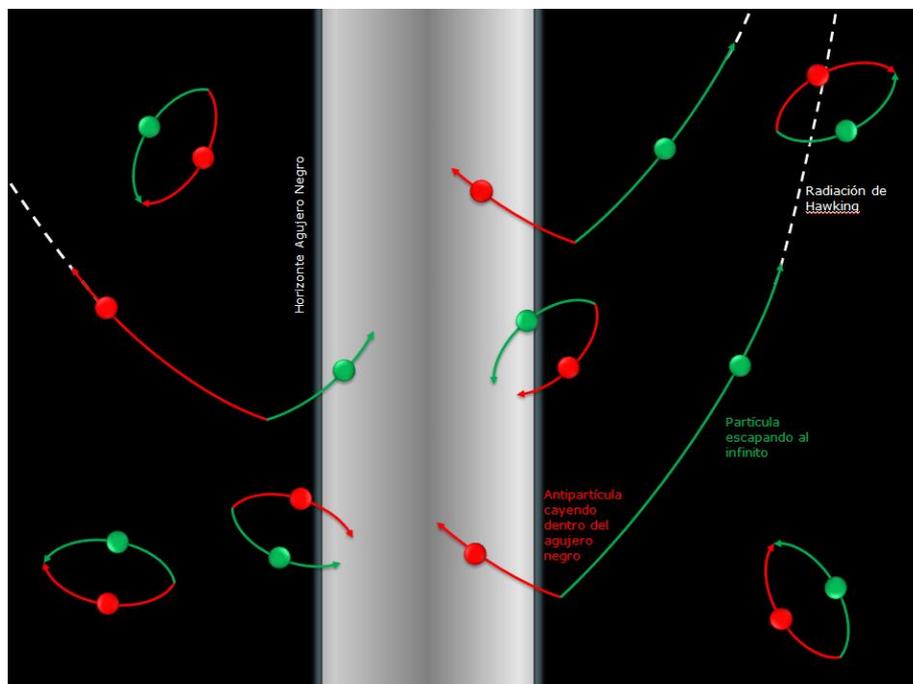


Formación de los agujeros negros primordiales. European Space Agency. CC BY - SA 4.0 <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PBHs-formation.png>

- De masas estelares: Al menos, hasta tres masas solares. Formados a partir del colapso estelar
- De masas intermedias: desde cientos a unas pocas decenas de miles de veces la masa del Sol. Se han encontrado en menor medida que los otros dos subtipos de agujeros negros, siendo sus mecanismos de formación todavía desconocidos
- Supermasivos: de millones a miles de millones de masas solares. Localizados en los centros de las galaxias.

Sea del tipo que sea, todo agujero negro emite radiación. Por ello, Hawking afirmó que los agujeros negros no son tan negros, ya que emiten radiación más allá del horizonte de sucesos. Esto se debe a que la energía de su campo gravitatorio determina la aparición espontánea de pares de partículas en el vacío circundante

La emisión de la radiación de Hawking se basa en el principio de incertidumbre de Heisenberg. El vacío, tampoco está vacío como tal, de tal modo que, a partir de la energía aportada por el fuerte campo gravitacional del agujero negro, durante unos breves instantes de tiempo se crean pares de partícula – antipartícula



Formación de pares partícula – antipartícula. Situación en torno al horizonte de sucesos  
Imagen tomada de abcienciade [8]

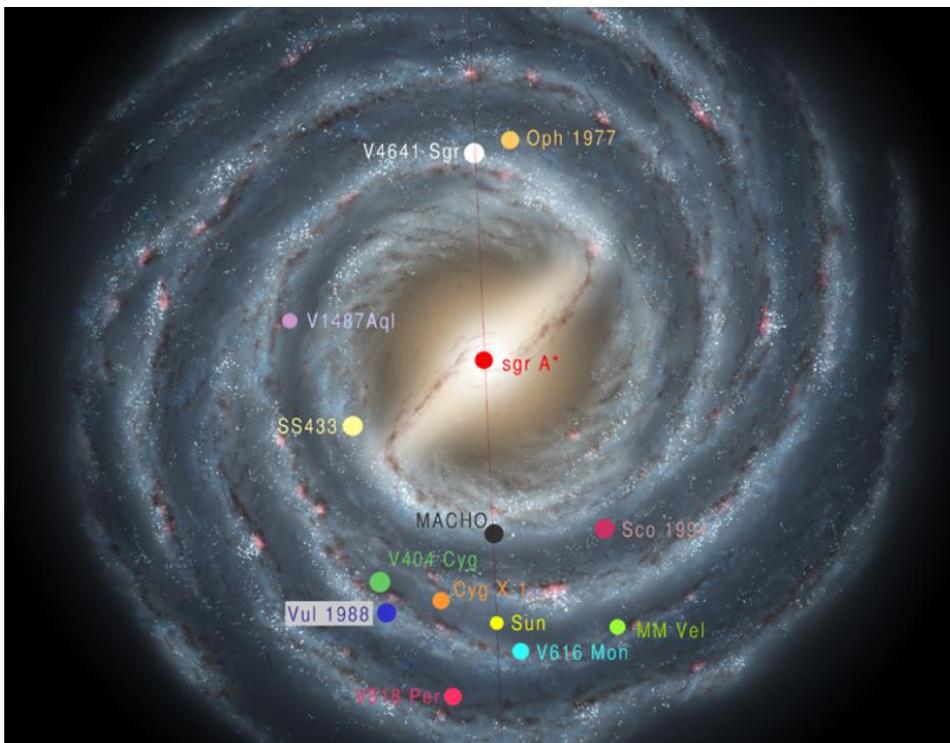
Estos pares de nuevo se convierten en energía a partir de su aniquilación, devolviendo la energía prestada para su formación. Sin embargo, en el límite del horizonte de sucesos de un agujero negro, existe una probabilidad no nula de que se forme una de las partículas en el interior y otra en el exterior. Por lo que una de las partículas podría escapar de la acción del campo gravitatorio del agujero negro, haciendo que la energía de este disminuyese (ya que se ha formado a partir de su energía). Este fenómeno tiene como consecuencia la emisión neta de radiación por parte del agujero negro, lo que hace que disminuya su masa, así como su velocidad de rotación. Se trata de la *evaporación* del agujero negro, que le puede conducir a su extinción [8]. Esto es posible en agujeros negros de pequeño tamaño (los primordiales), pero los agujeros negros mayores, como los supermasivos, tienen un tiempo medio de evaporación mayor que el propio tiempo del Universo

Además de la emisión de la radiación de Hawking, justo fuera del horizonte de sucesos, parte de la materia que cae en el agujero negro se calienta extraordinariamente y es redirigida hacia fuera, lo que produce poderosos chorros de partículas que se mueven a velocidades próximas a las de la luz

Se volverá a la emisión de radiación durante la próxima sesión, centrando el desarrollo final en una actividad práctica relativa a la temperatura de Hawking. A pesar de su compleja deducción, la expresión es relativamente sencilla

$$T = \frac{\hbar \cdot c^3}{8 \cdot \pi \cdot K_B \cdot G \cdot M}$$

**Ejercicio.** A continuación, se adjunta una imagen donde se resaltan objetos celestes inusuales de la vía láctea. Entre ellos, cabe destacar numerosos agujeros negros, así como el agujero negro supermasivo situado en el centro de nuestra vía láctea, Sgr A\*.



Agujeros negros en la vía Láctea. Imagen realizada por la NASA

Obténgase:

- La temperatura de Hawking de cada uno de ellos
- Demuestre qué tipo de relación de proporcionalidad existe entre la masa del agujero negro y la temperatura de emisión de la radiación

Para resolver el ejercicio es necesario el listado de masas de los agujeros negros mostrados en la imagen anterior. Se adjunta a continuación:

Objeto estelar	Masa [Dato en masas solares]
V616 Mon	$11,0 \pm 1,9$
Cyg X-1	21,2
V404 Cyg	9
V4641 Sgr	$6,4 \pm 0,6$
V1487 Aql	12,4
Sgr A*	$(4,15 \pm 0,01) \cdot 10^6$

### SESIONES 3 y 4. RAYOS CÓSMICOS. Elaboración de un póster

Los rayos cósmicos son partículas que llegan desde el espacio exterior y bombardean constantemente la Tierra en todas direcciones [9]. Se tratan de partículas cargadas, muy energéticas, que se propagan a velocidades cercanas a las de la luz.

Los rayos cósmicos menos energéticos, en su mayor parte, provienen del Sol. Se trata de la emisión de protones o electrones durante las erupciones solares que llegan a la Tierra en forma de partículas de alta energía. A pesar de ser la mayor parte, no son ni mucho menos, el único tipo existente

Los rayos cósmicos ultraenergéticos (del orden de cientos a miles de TeV de energía) viajan a velocidades cercanas a las de la luz y tienen cientos de millones de veces más energía que la producida en los aceleradores de partículas construidos por el ser humano. Se trata también de partículas cargadas, principalmente protones, pero también núcleos desnudos de partículas ligeras, como el helio, el litio o el berilio cuyo origen de emisión y procedencia es desconocido. Entre los candidatos a emisor de rayos cósmicos de alta energía se encuentran los agujeros negros

En la sesión anterior ya se afirmó que los agujeros negros son emisores de chorros de partículas de alta intensidad que se propagan a velocidad cercanas a las de la luz. Esas emisiones pueden constituir una de las fuentes de emisión de los rayos cósmicos. No obstante, la dificultad radica en conocer el origen exacto de la procedencia de los rayos cósmicos al ser medidos

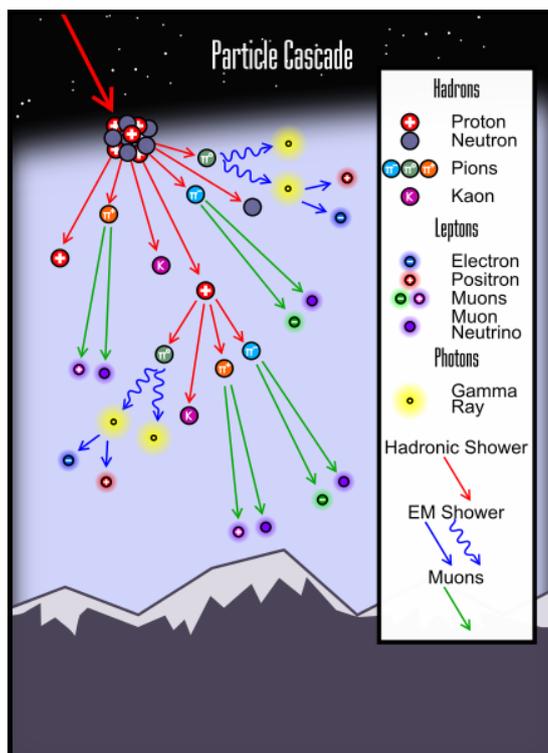
Al ser partículas cargadas, los rayos cósmicos se ven afectados por los campos electromagnéticos existentes a lo largo de su viaje. Estos campos, desvían las trayectorias de las partículas cargadas, lo que hace difícil reconocer el origen de partida del rayo una vez medido su destino en los detectores terrestres. No obstante, es esta misma propiedad la que permite protegernos de su carácter nocivo. La Tierra, en su rotación, y gracias al carácter fluido y metálico de su núcleo externo, crea un campo magnético, la magnetosfera, que nos protege de la llegada masiva de los rayos cósmicos menos energéticos y más abundantes. Actúa, en cierto modo, como un escudo protector que confina las partículas cargadas en las líneas de campo que crea.

De los rayos cósmicos ultraenergéticos no solo resulta difícil estudiar su procedencia, si no también estudiar su composición y propiedades. Estas partículas son una verdadera rareza (llegan a la Tierra apenas tres o cuatro por kilómetro cuadrado y siglo), de modo que, para ser más efectivos en su estudio, se han construido enormes detectores que abarcan ingentes cantidades de kilómetros cuadrados en superficies planas y a cierta altitud como es el Observatorio Pierre Auger en la Pampa

Argentina [10]. Si los detectores se encuentran en la superficie, lo que se mide no es el rayo cósmico en sí, si no la cascada de partículas que provoca en su colisión con las partículas de la atmósfera superior terrestre.

Las colisiones de alta energía en la atmósfera superior producen cascadas de partículas más ligeras. Se conoce como las cascadas de rayos cósmicos. Estas, a su vez, colisionan con las partículas de la atmósfera de niveles inferiores dando lugar a nuevas partículas, cada vez menos energéticas, que son las que finalmente alcanzan la superficie terrestre.

En todo el proceso se generan numerosas partículas distintas a las conocidas habitualmente por el alumnado de segundo de Bachillerato. Esas diversas partículas constituyen el objeto de la actividad propuesta



Cascada de rayos cósmicos. CC BY - SA 3.0

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ParticleCascade.svg>

### Actividad propuesta. Póster de una partícula

La actividad propuesta para las sesiones es la siguiente:

- En grupos pequeños de un máximo de 3 alumnos
- Elaboración y presentación de un póster científico. El póster debe contener el formato típico. Versará exclusivamente acerca de una partícula, que no coincidirá con la partícula de otro de los grupos
- La información del póster debe incluir al menos la notación de la partícula, sus propiedades (masa, carga, ...), su posible origen y su tiempo de vida media. ¿En qué otras partículas se pueden descomponer? Los alumnos pueden incluir más detalles interesantes y descriptivos sobre la partícula en el póster
- Tras realizar el póster, este ha de ser presentado y defendido antes el resto de los compañeros en un tiempo máximo de 10 minutos, ampliable a 15 minutos por la posibilidad de generar un pequeño debate
- La defensa del poster es en formato libre. A elección del grupo.
- La elaboración del póster, así como su exposición y defensa será evaluada mediante rúbricas (Apartado 5. Evaluación)

El docente ayudará a los alumnos en la búsqueda de la información, aportando algunas webs de libre disposición donde encontrar información relevante, que obviamente, podrá ser complementada a partir de fuentes de información aceptadas desde el punto de vista científico

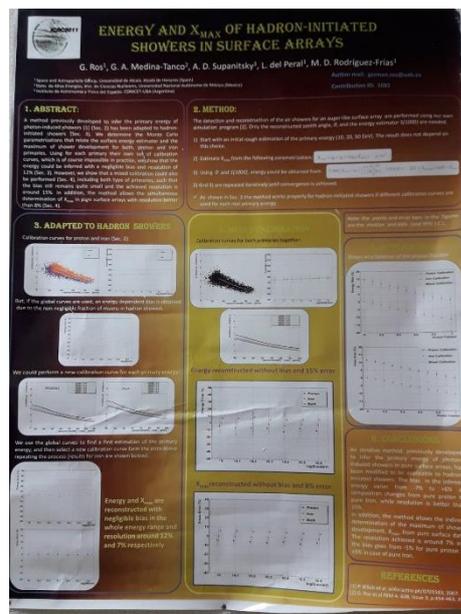
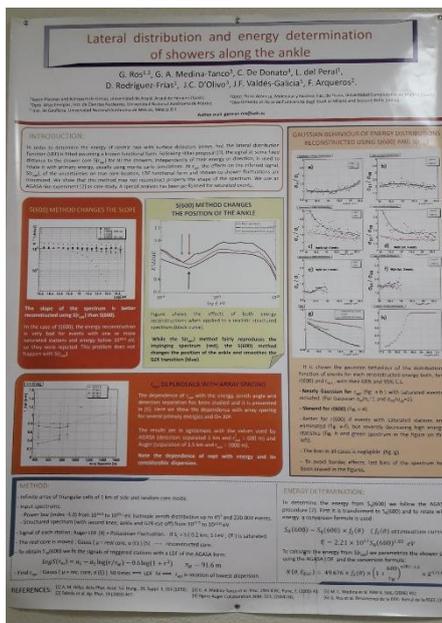
¿Qué componentes debe tener un póster científico?

Un póster científico es análogo a un artículo científico, siendo más conciso, breve y visual. El cuerpo del contenido debe ser similar al del artículo científico, manteniendo el rigor propio de la materia, así como sus correspondientes referencias

En suma, un póster científico suele contener:

- **Introducción.** Se trata de un breve resumen o abstract del contenido científico del póster. Se elabora con el objetivo tanto de captar la atención del espectador como de resaltar los aspectos importantes. El póster, a su vez, puede condensar la información más desarrollada de un artículo científico
- **Cuerpo del póster.** En esta parte se presenta la hipótesis científica y su desarrollo teórico – experimental. Se explica el proceso elaborado por el equipo científico para contrastar dicha hipótesis
- **Resultados.** Se exponen los resultados, ya sea numérica, teórica o gráficamente. En pos de darle un aspecto más visual, los resultados se apoyan en gráficos o simulaciones gráficas. Dependiendo de la rama de las ciencias predominan un tipo de gráfico u otros. Los resultados siempre deben venir ligados a las conclusiones deducidas de estos, que cierren el círculo sobre la teoría inicialmente propuesta
- **Referencias.** Para dotar de rigor al póster, un rigor propio de la ciencia, éste debe incluir referencias bibliográficas asociadas o bien al cuerpo del póster o bien a los resultados y/o sus conclusiones

El formato y la estructura, obviamente, no es cerrado. En función de la disciplina científica, así como de la propia investigación se resaltan unas partes u otras. De modo que al alumnado también se le dotará de total libertad para realizar un enfoque visual y con rigor que capte la atención de sus compañeros de clase



Ejemplo de póster científico. A pesar del diferente formato, su fondo y estructura son semejantes

### SESIONES EXTRA. Actividad de ESAsky

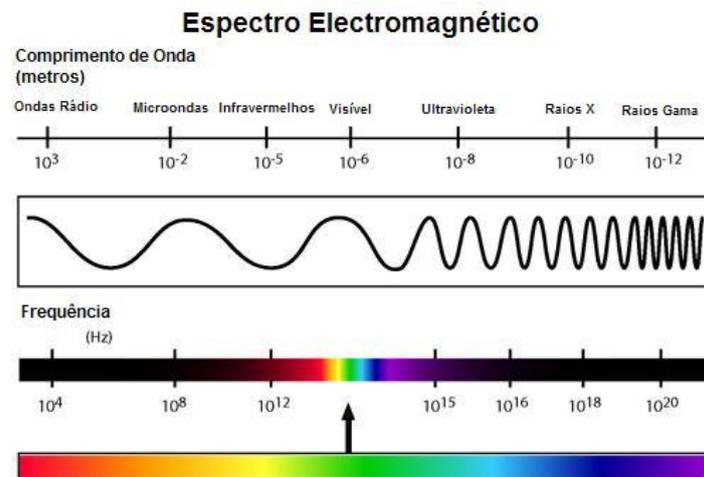
La presente actividad propuesta está diseñada por el departamento educativo de la Agencia Espacial Europea. Se encuentra liberada y disponible para todo docente que requiera de su uso

La actividad se fundamenta en el empleo de la herramienta ESASky. Esta permite mejorar la comprensión del alumnado acerca del medio espacial a través de la implementación y uso de datos reales. De manera guiada, durante una sesión (ampliable a dos) el docente guiará a los alumnos en la herramienta para la obtención de datos reales que posteriormente tendrán que interpretar bajo el prisma de los conceptos físicos previamente adquiridos

En la web educativa de la Agencia Espacial Europea se encuentran diversas actividades propuestas [10]. Todas ellas con una guía preparada tanto para el docente como para el alumnado

Para este proyecto, se recomienda la actividad *Descubriendo el medio interestelar. Polvo y gas entre las estrellas* donde los alumnos deben aprender a reconocer diferentes estructuras espaciales a partir de la recepción de imágenes de satélites en distintas partes del espectro electromagnético. El guion, ya preparado por la Agencia Espacial Europea [11], contiene preguntas para el alumnado, así como una guía de respuestas para el docente

Esta actividad requiere de algunos contenidos previos para el alumnado. Principalmente, el conocimiento del espectro electromagnético, así como el de algunas estructuras del Universo, que pueden ser descritas de un modo somero a modo inicial durante la presentación de la actividad. También es recomendable conocer la emisión de radiación térmica de los cuerpos termodinámicos y su asociación con el espectro electromagnético a través del modelo de cuerpo negro.



*Espectro electromagnético. Imagen de dominio público*  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Espectro\\_Electromagn%C3%A9tico.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Espectro_Electromagn%C3%A9tico.JPG)

Con ello se pretende acercar, de nuevo, a los alumnos del bachillerato científico al verdadero mundo de las ciencias. A partir de un trabajo más práctico y menos academicista se asientan los conceptos físicos ya tratados desde una perspectiva más experimental que permita al alumno alcanzar el aprendizaje significativo. Ese es el objetivo de intercalar una sistemática toma de datos con el uso de preguntas que favorezcan una próspera metacognición

## 5. EVALUACIÓN

La Unidad Didáctica desarrollada se encuentra dentro del bloque de contenidos de la interacción gravitatoria, de modo, que deberá ser evaluada mediante las pruebas consensuadas por el departamento de Física y Química para este bloque de contenidos.

De este modo, los contenidos referidos a las primeras sesiones, los cuales constituyen contenidos ordinarios sumandos a contenidos de profundización no requieren de herramientas de evaluación distintas a las establecidas en las programaciones de cada uno de los departamentos. Muchas de las actividades pautadas, como las pequeñas preguntas, no se verán evaluadas, o bien, puede incluirse en el apartado de actividades de clase; ya que solo pretenden acercar el conocimiento al alumnado desde una visión más divulgativa que académica. Del mismo modo ocurre con la actividad extra de ESASky

El trabajo de exposición, propuesto para las sesiones finales, sí que requiere de un método de evaluación distinto. Para ello se adjunta a continuación una rúbrica de exposición que contiene los principales ítems a valorar por el docente. Esta herramienta puede ser empleada por el docente, o bien adaptada según su necesidad. Tan solo constituye un borrador orientativo a uso según la conveniencia del docente que palpa su aula desde dentro

La rúbrica valora aspectos expositivos, como la dicción, aspectos creativos referentes al póster, así como aspectos argumentativos y de búsqueda de información ajustada al discurso y el material a elaborar

En la rúbrica, cada categoría puntuará dos puntos sobre la nota final. A su vez, dentro de cada categoría, la puntuación aumentará en 0,5 puntos por cada nivel asignado

**RÚBRICA PARA EVALUAR: DEFENSA Y EXPOSICIÓN ORAL**

Alumno:

Calificación Final:

CATEGORÍA	4	3	2	1	TOTAL
<u>Creatividad y Dicción</u>	El póster y la defensa son creativas, hablando y exponiendo pausada y claramente	Pronuncia correctamente, siendo la presentación y defensa correctas	Establece una correcta presentación, pero se traba ligeramente al hablar o al seguir el hilo del diálogo	No se le entiende correctamente, con continuas interrupciones. El discurso no es fluido ni creativo	
<u>Imagen y expresión</u>	El resultado del poster es muy visual. La información está bien estructurada y dispuesta, permitiendo el aprendizaje de un vistazo	El póster es visual. Contiene todos los apartados, pero faltándole fuerza a la hora de captar la atención	A pesar de contener los elementos básicos, su organización y diseño no invita a un aprendizaje sencillo	Los elementos se encuentran dispersos sin orden alguno en el póster. Faltan apartados importantes en él	
<u>Contenido y comprensión</u>	Contiene toda la información relevante a la partícula. El ponente la comprende. Argumenta las ideas durante el discurso	El contenido está bien hilado y elaborado, solo en su mayor parte. A su vez, comprende el contenido en su mayor parte, pero no en su totalidad	El póster no contiene toda la información necesaria. Comprende parcialmente el contenido expuesto. Presenta algunas dificultades al responder a las cuestiones	El póster contiene información deslavazada y sin orden alguno. El ponente no comprende el contenido. Presenta fuertes dificultades para responder a las cuestiones planteadas	
<u>Límite-tiempo</u>	Tiempo ajustado al previsto, con un final que retoma las ideas principales y redondea la exposición	Tiempo ajustado al previsto, pero con un final precipitado o alargado por falta de control	No ajusta al tiempo. Excesivamente corto	Excesivamente largo o insuficiente para desarrollar correctamente el tema	
<u>Búsqueda de información</u>	Realiza una búsqueda de información ajustada a la necesidad. Cita las fuentes	Realiza una contrastada búsqueda de información, que, en ocasiones, no cita	En algunas ocasiones las citas o fuentes de información empleadas son de dudosa certeza científica	No recurre a fuentes de información ajustadas a criterios científicos.	

## 6. REFERENCIAS Y PÁGINAS WEB

- [1] CARRASCOSA, J. y GIL, D. (1992). “Concepciones alternativas en mecánica”. Enseñanza de las Ciencias, 10 (3)
- [2] Boletín oficial del Estado (2015). “Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato”
- [3] Boletín oficial de la Comunidad de Madrid (2015). “Decreto 52/2015, de 21 de mayo, del Consejo de Gobierno, por el que se establece para la Comunidad de Madrid el currículo del Bachillerato”.
- [4] Instituto de Física de Cantabria. “Agujeros negros. 24 preguntas”
- [5] BOWMAN, katie. (2016) “How to take a picture of a black hole”. TED x Beacon Street. <https://www.youtube.com/watch?v=P7n2rYt9wfU>
- [6] INTA-CSIC “La física de los agujeros negros”
- [7] R. VILLATORO, Francisco. “Visualización gráfica de agujero negro de Gargantúa de Interestellar”. Blog La Ciencia de la Mula Francis
- [8] PAUL, Carles. (2011). “La temperatura de Hawking” ABCienciaDe <https://abcienciade.wordpress.com/2011/07/21/la-radiacion-de-hawking/>
- [9] Página web del proyecto Pierre Auger (uno de los principales detectores de rayos cósmicos). <https://visitantes.auger.org.ar/index.php/ique-son-los-rayos-cosmicos-2/>
- [10] Página web del proyecto Pierre Auger (uno de los principales detectores de rayos cósmicos). <https://visitantes.auger.org.ar/index.php/ubicacion/>
- [11] ESASky for Education – ESCD – Cosmos. <https://www.cosmos.esa.int/web/esdc/esasky-for-education>
- [12] ISM\_Guía\_Profesor.pdf “Descubriendo el medio interestelar. Polvo y gas entre las estrellas”. Caso científico CESAR <https://www.cosmos.esa.int/web/esdc/esasky-for-education>