



EVOLUCIÓN DEL UNIVERSO

Universo
Taller número 5

NOTAS PARA EL PROFESOR

Objetivo: Estudiar la evolución del Universo. Desde el Big Bang, expansión y posibles futuros. Valorar la importancia de la presencia de materia y energía oscura.

Edad recomendada: de 12 a 18 años

Resumen de las actividades:

1. Debate sobre la paradoja de Olbers, actividad sobre la expansión del Universo
2. Explicación de la evolución del Universo
3. Visualización de videos sobre Henrietta Swan Leavitt
4. Creación de una línea del tiempo
5. Núcleos activos de galaxias
6. Materia Oscura
7. Futuro del Universo
8. Redacción de noticias sobre científicos/as

Temporización: 2 horas

Contenidos curriculares:

1. Principales modelos sobre el origen del Universo.

Competencias científico-técnicas:

- ✓ Competencia 1:
Identificar y caracterizar los sistemas físicos y químicos desde la perspectiva de los modelos, para comunicar y predecir el comportamiento de los fenómenos naturales
- ✓ Competencia 3:
Interpretar la historia del Universo, la Tierra y de la vida utilizando los registros del pasado

Metodología didáctica:

- Trabajo en grupo
- Coevaluación

Recursos:



- Ordenador del profesor con acceso a internet y proyector
- Ordenadores de los alumnos con acceso a internet.
- Globos, adhesivos, rotuladores, goma elástica
- Copa de cristal

Lecturas recomendadas:

Para alumnos:

- https://www.youtube.com/watch?v=tA_D9p5Z3iY
- [El Universo se está expandiendo más rápido de lo esperado](#)
- <https://editor2702.wordpress.com/2012/07/11/logran-ver-por-primera-vez-un-puente-de-materia-oscura/>
- <https://www.darkmatterday.com/wp-content/uploads/2017/11/dark-matter-infographic-STFC-UK.png>
- https://www.abc.es/ciencia/abci-agujero-negro-directo-maxima-expectacion-primera-foto-agujero-negro-201904101247_directo.html
- Galfard, C., El universo en tu mano. Un viaje extraordinario a los límites del tiempo y el espacio; Blackie Books S.L.U.; 2015
- https://www.youtube.com/watch?v=YI3eNKmiw_4
- <https://rpp.pe/ciencia/espacio/5-preguntas-y-respuestas-que-surgieron-tras-revelarse-la-primera-imagen-de-un-agujero-negro-noticia-1192841>
- https://elpais.com/elpais/2018/07/05/ciencia/1530788593_072320.html

Para profesores:

- https://www.youtube.com/watch?annotation_id=annotation_795620&feature=iv&src_vid=zFPnOUSdMdc&v=uG4xe9cNpP0
- Cosmology calculator; Wright, Eduard L.; Universidad de los Ángeles; <http://www.astro.ucla.edu/~wright/CosmoCalc.html>
- Paradoja de Olbers https://es.wikipedia.org/wiki/Paradoja_de_Olbers
- http://sac.csic.es/astrosecundaria/en/cursos/formato/materiales/ppts/talleres/T8_en.pdf
- https://es.wikipedia.org/wiki/Singularidad_gravitacional
- Pereyra, J.; Las cuatro fuerzas que rigen el Universo; Ediciones Paidós; 2017
- Pereyra, J.; El Universo en una taza de café; Ediciones Paidós; 2015
- GRAVITY Collaboration; [Detection of the gravitational redshift in the orbit of the star S2 near the Galactic centre massive black hole](#); Astronomy & Astrophysics; 2018

TALLER

INTRODUCCIÓN:

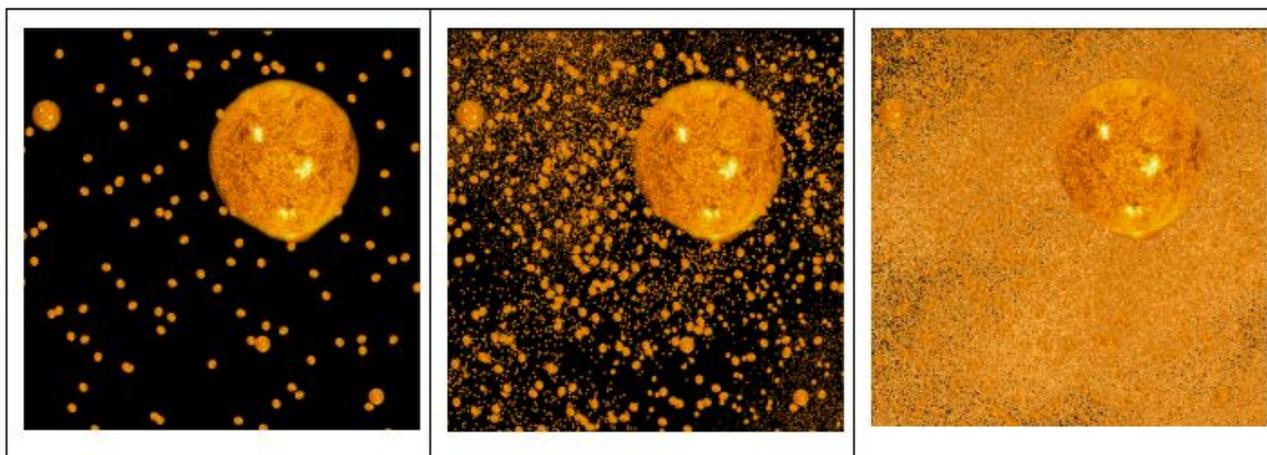
Tiempo: 20 minutos.

Contenido: Paradoja de Olbers

Se empieza con la paradoja de Olbers, que se pregunta cómo es que el cielo es oscuro por la noche si:

- el Universo es infinito y
- las estrellas están uniformemente distribuidas por todo el Universo.

Si las premisas son ciertas, el cielo debería ser blanco, no oscuro, porque siempre deberíamos ver estrellas brillando. Aunque la luminosidad disminuye con el cuadrado de la distancia recorrida y, por lo tanto, la intensidad percibida desde la Tierra es menor, el cielo no debería ser negro por la noche, porque las diferentes capas infinitas de estrellas se superponen.



La 3 imágenes ilustran las diferentes capas superpuestas de estrellas. Se puede visitar el video: <http://xtec.cat/~oschlute/EscapeEarth/video/ParadojaOlbers.mp4> , que también se encuentra en la página web, apartado Fichas Didácticas, Universo.

La explicación más aceptada de la paradoja se resuelve con dos argumentos:

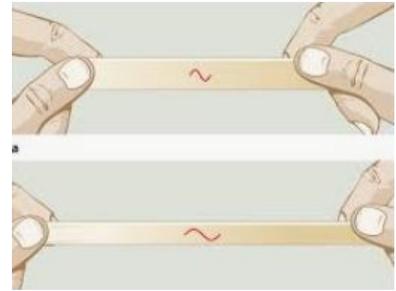
1. El Universo no es infinito, existe desde el Big Bang, hace 13.800 millones de años. Este hecho provoca que la luz de las estrellas más distantes aún no nos haya llegado.
2. El Universo se está expandiendo, de manera que la luz de las estrellas más lejanas llega “con menos energía”, y por lo tanto menos brillante.



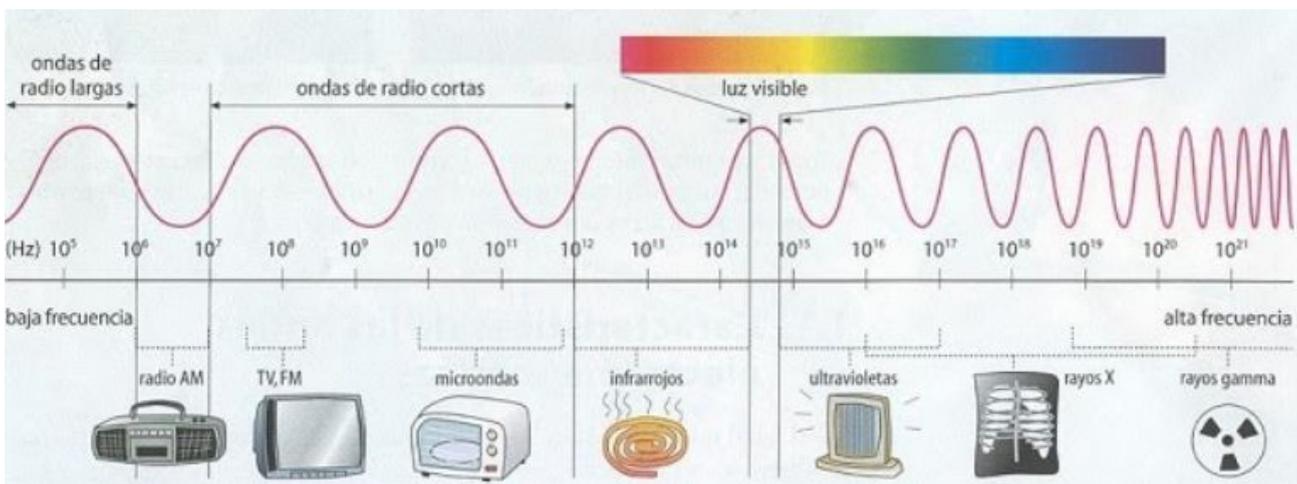
Para entender el concepto de expansión del Universo, se reparten globos a los alumnos para que los hinchen, pero no del

todo. Se pegan pequeños adhesivos o se pintan alguna estrellas y se acaban de hinchar para ilustrar cómo todas las galaxias se apartan unas de las otras sin realidad “moverse”.

Para entender el concepto de la luz que nos llega sin tanta energía, pintamos una onda en una goma elástica y la estiramos para comprobar cómo cambia el perfil de la onda.



Si recordamos el esquema del espectro de la luz, que vimos en el taller de Estrellas, veremos que la luz roja es menos energética, su longitud de onda es más larga. Este efecto se ha observado en las estrellas y galaxias que nos rodean en todas las direcciones, hecho que nos lleva a pensar que el Universo se está expandiendo.



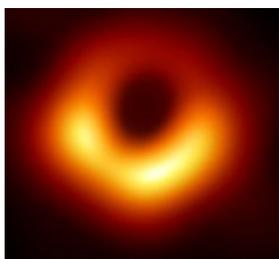
DESARROLLO

Tiempo: 60 minutos.

Contenido: Evolución del Universo, Materia Oscura, Núcleos activos de galaxias, Futuro del Universo

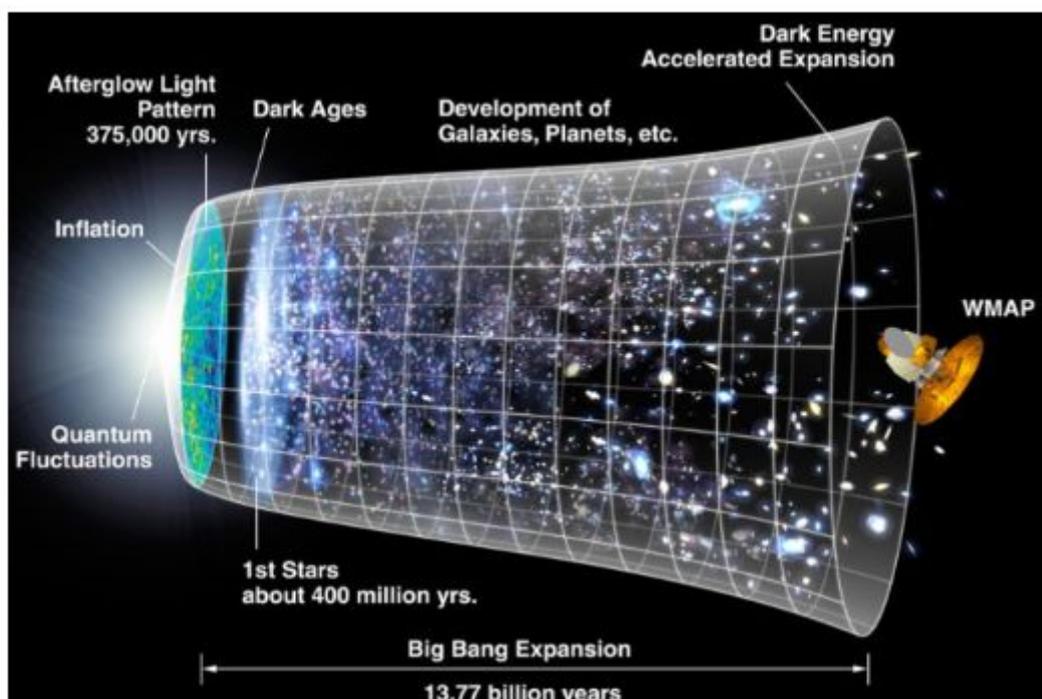
Una consecuencia de la expansión del Universo es deducir que hubo algún momento del pasado en que el Universo estaba mucho más junto. A partir de teoremas geométricos y, asumiendo que la teoría de la relatividad de Einstein es correcta, se prueba que el Universo ha tenido que tener un inicio, en un punto con densidad infinita, en una **singularidad del espaciotiempo**. ?

? Singularidad del espaciotiempo (o gravitacional)



Una singularidad del espaciotiempo implica que las ecuaciones de la teoría de la Relatividad General de Einstein no pueden predecir los fenómenos más allá de cierto punto. Algunas magnitudes, como la densidad por ejemplo, son infinitas dentro de los agujeros negros o en el mismo Big Bang. En ambos casos, los efectos cuánticos no son despreciables y, como actualmente no existe una teoría de relatividad cuántica, no se puede determinar cómo se comporta la naturaleza en estos casos.

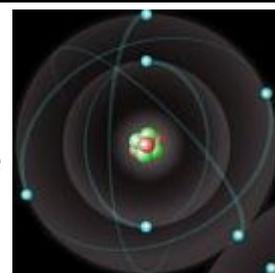
El momento en el que el Universo empezó a expandirse se llama Big Bang, en un espacio tiempo que no conocemos. A grandes rasgos, la evolución del Universo desde entonces se puede dividir en 3 grandes fases:



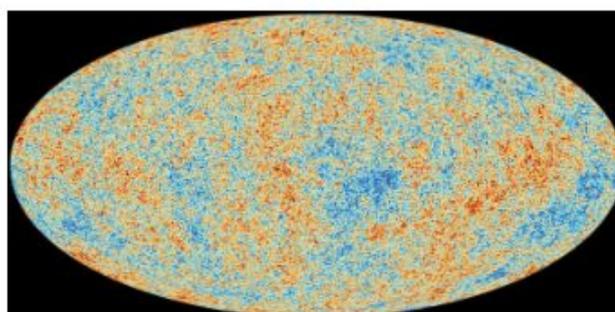
1. **Universo primordial** (de 0 a 2.5×10^{-5} segundos): los conocimientos que se tienen de esta época se basan en conjeturas. Se cree que inicialmente había 10 dimensiones que colapsaron en 4. Al inicio, las **4 fuerzas fundamentales** de la naturaleza estaban unidas en una sola y se fueron separando:
 - a. la gravitación (era de Planck de 0 a 4×10^{-44} segundos)
 - b. la fuerza nuclear fuerte (época GUT de 4×10^{-44} a 10^{-36} segundos). En este momento, el Universo se expande de manera acelerada: **inflación**, hecho que provocó el enfriamiento progresivo del Universo.
 - c. la electromagnética y la interacción nuclear débil (época electrodébil de 10^{-36} a 10^{-10} segundos)
 - d. la interacción fuerte pierde su predominio en la época quark (partícula elemental).

? 4 fuerzas fundamentales del Universo

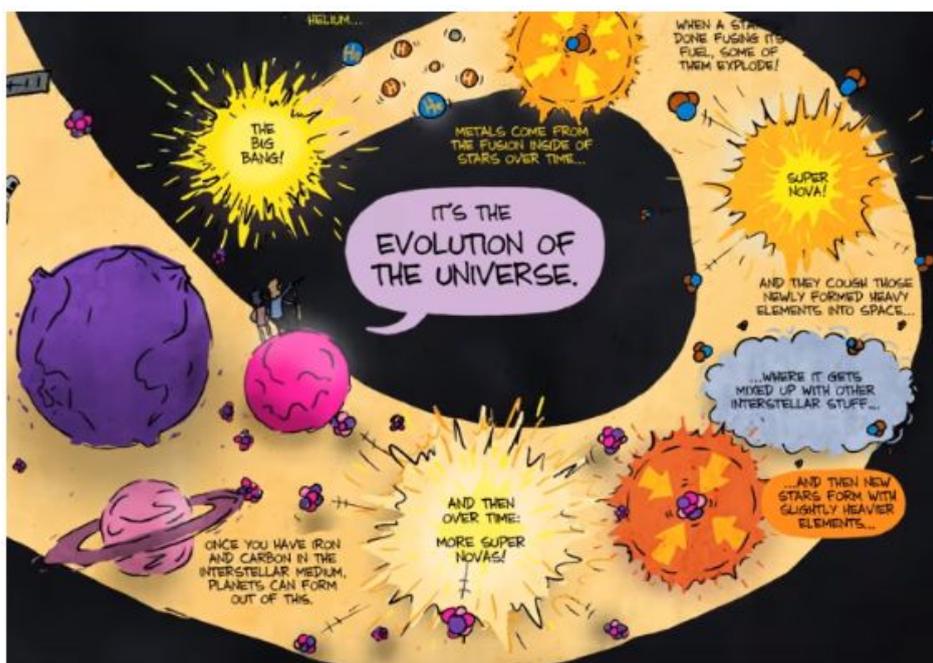
1. La gravitatoria es la fuerza de atracción mutua de alcance infinito que experimentan cuerpos con masa.
2. La nuclear fuerte mantiene unidos los componentes de los núcleos atómicos en las dimensiones nucleares.
3. La fuerza electromagnética afecta a los cuerpos eléctricamente cargados. Es de alcance infinito, tiene sentido positivo y negativo y es más fuerte que la gravitatoria.
4. La interacción nuclear débil es la responsable de la desintegración radiactiva y es la responsable de la producción de energía y luz en las estrellas. Su alcance es menor que la nuclear fuerte.



2. **Universo temprano** (de 2.5×10^{-5} segundos a 2.7×10^5):
 - a. Se suceden diferentes épocas (hadrónica, leptónica, fotónica), que se caracterizan porque el Universo estaba compuesto de distintas combinaciones de partículas elementales: hadrones, leptones, fotones, protones, neutrones, electrones...
 - b. Época atómica: se produce la recombinación y el desacoplamiento: después de unos 400.000 años del Big Bang, el plasma se enfrió lo suficiente (3500 K) para permitir que los electrones y los protones formaran los primeros átomos de Hidrógeno. Los fotones fueron capaces de disociarse y viajaron libremente por el espacio por primera vez. "Se hizo la luz". Aún se puede "oír" su ruido en la llamada **radiación de fondo de microondas**. Uno de cada diez puntos de la "nieve" de un televisor analógico proviene del fondo de microondas.



- c. Época oscura: durante 500 millones de años los átomos de Hidrógeno y Helio fueron capturando los electrones libres, desionizándose.
3. **Formación de estructuras:** de manera jerárquica, se van formando estrellas, galaxias, cúmulos:
- por colapso gravitacional, se forman los primeros quásares y galaxias activas y aparecen las primeras estrellas de población III, que son las más viejas del Universo, a partir de Hidrógeno, Helio y Litio.
 - La materia se va colapsando para formar galaxias. Nacen las estrellas de población II, que son “hijas” de las de población III. Más tarde aparecen las estrellas de población I, las más jóvenes, como nuestro Sol.
 - Las galaxias se atraen para formar grupos, cúmulos, supercúmulos.
 - Hoy en día, la expansión acelerada continúa.



La siguiente actividad propone dividir los alumnos en 6 grupos, de manera que cada grupo visualiza uno de los vídeos siguientes, que duran pocos minutos. Cada grupo se convertirá, así, en experto de uno de los temas. Se forman luego grupos de 6 alumnos, con todos los expertos y se intercambian la información aprendida.

- [¿Cómo terminará el Universo?](#)
- [Una regla para medir el Universo](#)
- [El día que el Universo dobló su tamaño](#)
- [Como la piel de un globo](#)
- [¿Cómo de grande es el Universo?](#)
- [Pastel de Universo](#)

Después de poner en común el contenido de los vídeos, se introduce el futuro de nuestra galaxia, a la vez que se recuerda cuál será el futuro de nuestro Sol, que se vio en el taller [3.1 Espectrografía y Tipos de estrellas](#).

Colisión de nuestra galaxia



Se cree que casi todas las galaxias han pasado por procesos de **colisión o interacción** con otras. De hecho, actualmente nuestra galaxia se encuentra en estado de fusión con galaxias enanas: SagDEG, la del Can Mayor y la Corriente estelar de Virgo. Su contenido (estrellas, gas y materia oscura) y sus velocidades relativas tienen efecto en sus órbitas, formación estelar, efectos de marea (puentes y colas), acreción de satélites y fusiones de estrellas. Las simulaciones tienen en cuenta todos estos componentes y explican los procesos físicos.

Por ejemplo, las simulaciones indican que en 4.000 millones de años la galaxia de Andrómeda y nuestra Vía Láctea se cruzarán, deformándose mutuamente por los efectos gravitatorios y expulsando gas, polvo y estrellas al espacio. Sus velocidades se ralentizarán y millones de años más tarde (5.860 m.a.), volverán a colisionar formando una galaxia elíptica gigante a la cual ya se le ha asignado un nombre: **Milkomeda o Lactómeda**, de un aspecto similar a la de M87.

En el siguiente video de la Nasa de 1 minuto se puede observar la simulación de la interacción entre las dos galaxias:

https://www.youtube.com/watch?v=tA_D9p5Z3iY

Dada la distancia entre las estrellas, es improbable que acaben colisionando, pero es posible que nuestro Sistema Solar acabe 3 veces más alejado del centro de la nueva galaxia, aunque es poco probable también que la colisión acabe afectando las órbitas de nuestros planetas. Sin embargo, para entonces, la Tierra ya será inhabitable, según los modelos de evolución Solar. El aspecto del cielo nocturno será muy diferente, sin las constelaciones ni las estrellas que conocemos.



Las simulaciones asimismo indican que la galaxia del Triángulo, M33, también participará en el fenómeno y acabará como satélite de Milkomeda.

Se propone como actividad realizar una **línea del tiempo**, pero esta vez físicamente, sin una aplicación web, de manera que las separaciones entre eventos sean proporcionales. Se puede dibujar una línea por todos los pasillos del centro escolar e ir marcando los fenómenos: Big Bang, aparición de la luz, primeras estrellas, etc. Además, se pide también, marcar los fenómenos futuros: evolución del Sol a gigante roja, etc. Como base:

THE COSMIC CALENDAR

If the universe began at midnight on January 1, and it is now midnight on December 31...

January	February	March	April	May	June
New Year's Day: The Big Bang  13.8 billion years ago		Milky Way Galaxy forms  11 billion years ago			
July	August	September	October	November	THE SCALE:
	The Sun and planets form  4.5 billion years ago	First known life appears  3.5 billion years ago	Origination of the atmosphere  2.3 billion years ago	First complex cell life evolves  2 billion years ago	1 month = 1.1 billion years 1 day = 37.8 million years 1 minute = 26,238 years

DECEMBER

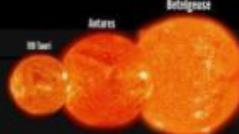
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14 First animals  670 mil. yrs ago
15	16	17 First fish  530 mil. yrs ago	18	19	20 Land plants  430 mil. yrs ago	21 Insects  400 mil. yrs ago
22 Amphibians  370 mil. yrs ago	23 Reptiles  300 mil. yrs ago	24	25 Dinosaurs  230 mil. yrs ago	26 Mammals  200 mil. yrs ago	27 Birds  150 mil. yrs ago	28 Flowers  130 mil. yrs ago
29	30 Dinosaur extinction  65 mil. yrs ago	31 6:12 a.m.: First apes appear, 28 million years ago 9:11 p.m.: Humans and chimps diverge, 6 million years ago 11:52 p.m.: Anatomically modern humans, 200,000 years ago 11:59:49 p.m.: Great Pyramid built at Giza, 2560 BCE One second before midnight: Columbus travels to America, 1492 CE				

tamapaysolarsystem.org
Copyright: Carl Sagan, BackRoads image: www.Pixabay.com, Galaxy image: European Space Agency, Clouds image: NASA, Planet image: NASA, Sun image: NASA, Earth image: NASA, Life image: NASA, Insects image: NASA, Amphibians and Reptiles image: NASA, Birds image: NASA, Mammals image: NASA, Flowers image: NASA, Dinosaur image: NASA

Timeline of The Future:

36,000 YEARS:
The Sun Gets a New Neighbor:
 Ross 248 (a small, neighboring dwarf star) passes within 3.024 light-years of Earth, becoming the Sun's nearest neighbor.

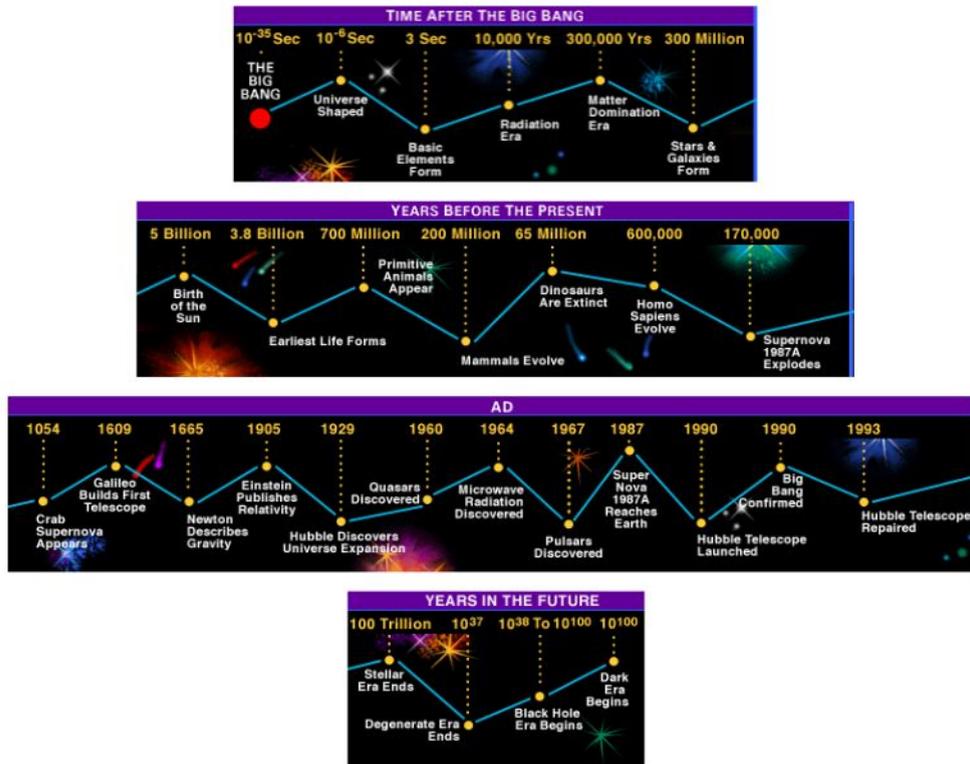

100,000 YEARS:
R.I.P. VY Canis Majoris:
 By this time, the hypergiant star, VY Canis Majoris, will have likely exploded in a hypernova (think "supernova," but with a LOT more energy).


1,000,000 YEARS:
The Sun Gets a Rival:
 Highest estimated time until the red super-giant, Betelgeuse, explodes in a brilliant supernova event. The explosion should be easily visible during the daytime.


1,400,000 YEARS:
Turbulent Times Ahead For Our Solar System:
 Gliese 710 passes within 1.1 light-years of the Sun. This may perturb the Oort Cloud, increasing the likelihood of a comet striking a rocky body in the inner solar system (perhaps even Earth).

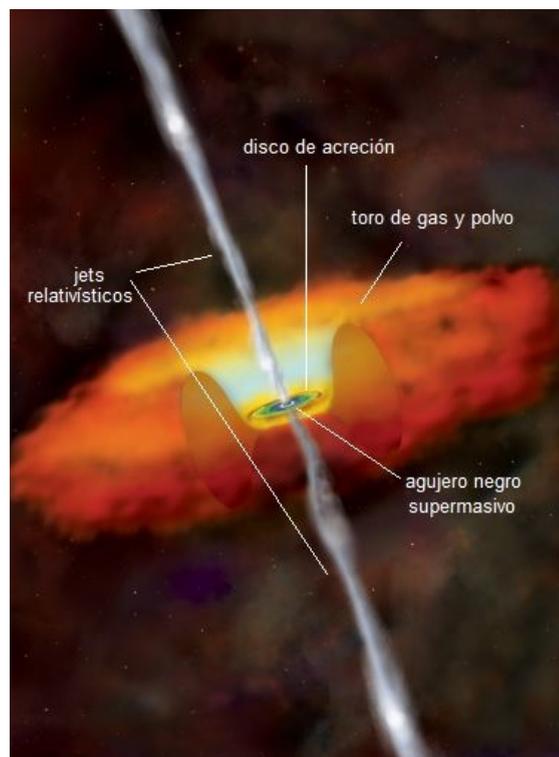

8,000,000 YEARS:
So Long, Phobos: Mars Gets Rings!
 Mars' moon comes within 7,000 km of the planet. Tidal forces will disintegrate Phobos and turn it into a ring of orbiting debris that will continue to spiral in toward the planet (meaning, we better hurry up and get that moon base set up).


100,000,000 YEARS:
Planet-Wide Destruction = Danger
 Earth will have likely been hit by a meteorite comparable in size to the one that triggered the K-Pg extinction event that happened some 65 million years ago.

Núcleos activos de galaxias

Los AGN (**Active Galactic Nucleus**) son regiones en el centro de galaxias activas, que emiten una gran cantidad de energía en diversos rangos espectrales. Se deduce que esta energía no es producida por estrellas, porque en este caso, su presencia en un espacio tan pequeño y compacto sería inestable.





Según el modelo unificado, un AGN se compone de:

- Un **agujero negro supermasivo** y compacto de unas 10^5 - 10^9 masas solares que atrae también la luz. Su energía proviene de la energía potencial gravitatoria cuando el material cae al agujero negro. En este proceso se transforma del 6% al 32% de materia y se produce radiación X, IR medio, radio y UV. Además, debido al potente campo gravitacional del agujero negro, el material acreta alcanza temperaturas del orden de millones de grados Kelvin, emitiendo así rayos X. Antes de cruzar el horizonte de sucesos, es posible que se produzca gas expulsado hacia el medio intergaláctico, con un efecto combinado de gravedad y campos electromagnéticos produciendo emisión en rayos X.

Por otra parte, se espera que el rastreo de rayos X emitidos por el material acreta, justo antes de ser engullido, proporcione información acerca del spin (propiedad física por el cual tiene momento angular) del mismo agujero negro. Se cree que la determinación del spin podría ayudar a entender la evolución de la galaxia que alberga el AGN, ya sea a partir de la fusión de galaxias o bien la dinámica del propio gas.

- Rodeando el **disco** en rotación de **acreción**, se encuentra un **toro** de gas y polvo que rodea la masa central y genera un campo electromagnético debido a su momento angular. A medida que el material se acerca al agujero negro, su velocidad aumenta. Emite en MIR y FIR.

Algunos AGN presentan:

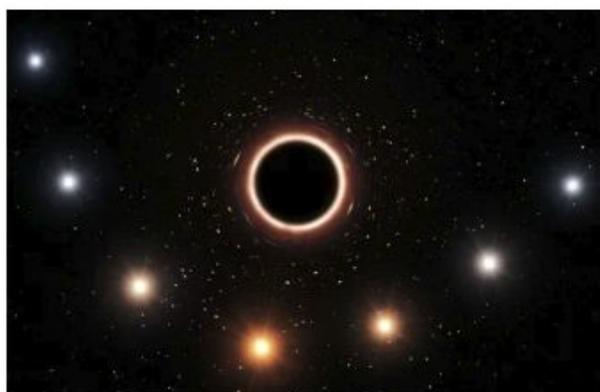
- Dos lóbulos simétricos gigantes a gran distancia fuera de la galaxia que emiten en radio por mecanismo sincrotrón debido a la presencia de electrones a la radiación electromagnética.
- Dos **jets** que se dirigen a los lóbulos y eyectan chorros de partículas colimados y gas ionizado a velocidades relativistas. Emiten en óptico, rayos X y radio también en sincrotrón. Los espectros de rayos X aportan mucha información acerca de su composición, temperatura, velocidades y condiciones físicas. La gravedad extrema deforma las líneas espectrales y desplaza su energía hacia el rojo debido a los efectos predichos ya la teoría de la relatividad. El observatorio espacial [XMM-Newton](#) (ESA-1999) investiga las fuentes de rayos X con espectroscopía y también en la franja óptica.

El estudio de los **agujeros negros** es un laboratorio ideal para la comprensión de la física en los límites de campos gravitacionales intensos, donde la teoría de la relatividad y la cuántica se encuentran.

Últimamente se han hecho famosos dos agujeros negros: Sagitario A*, en el centro de nuestra galaxia y el agujero negro de M87.

Un equipo de astrónomos de varios países demostraron en mayo del 2018 que el agujero negro del centro de nuestra galaxia “tira” de la luz de las estrellas que pasan cerca de él. Durante casi tres décadas, astrónomos de seis países europeos y Estados Unidos rastrearon una estrella llamada S2 a lo largo de su trayectoria alrededor del agujero negro.

El agujero negro, que está en el centro de nuestra galaxia, tiene una masa de 4 millones de veces la del Sol, siendo el lugar de la Vía Láctea donde la fuerza gravitatoria es más fuerte. Con instrumentos como el interferómetro [GRAVITY](#), que combina la luz de cuatro telescopios e imágenes obtenidas desde otro [observatorio en Chile](#), se estudió en 2018 la velocidad de la estrella S2 al pasar cerca del agujero negro. La combinación de las observaciones detectó cómo la luz de la estrella se estiró a longitudes de onda más largas por el efecto gravitatorio de Sagitario A*. Este fenómeno, conocido como desplazamiento al rojo por gravedad, es parecido al cambio del sonido de una ambulancia que se acerca o se aleja y ya fue predicho por Einstein en la teoría general de la relatividad. Por esta razón, los astrónomos continuarán observando Sagitario A* y la estrella S2 para poder confirmar otras predicciones de Einstein, como la forma en que el agujero negro tira del espacio-tiempo mientras gira sobre sí mismo.



Impresión artística de cómo el agujero negro de nuestra Vía Láctea cambia el color de la estrella S2 al rojo cuando se acerca a él. Fuente: ESO / M. Kornmesser

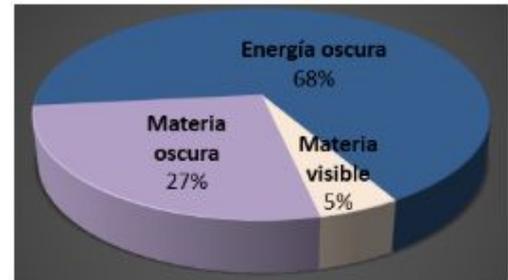


Primera fotografía de un agujero negro en el centro de M87

Por otra parte, el agujero negro supermasivo de M87, situado a 55 millones de años luz, fue el primero en ser fotografiado en 2019. De hecho, la imagen muestra un conjunto de estrellas siendo absorbidas por el agujero negro. Más de 200 personas y 8 telescopios colaboraron en el proyecto del [Telescopio Horizonte de Sucesos](#) (EHT).

Materia oscura

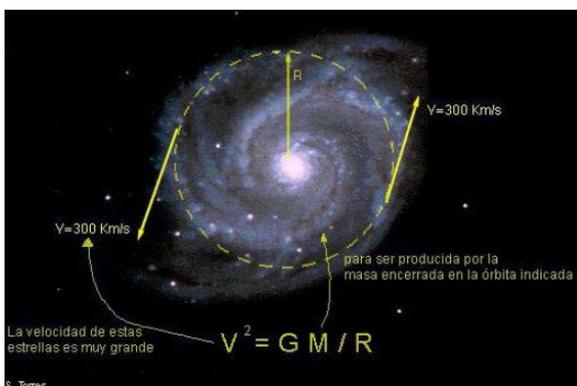
Se calcula que la materia oscura constituye el 84'5% de la materia total del Universo. Desde el punto de vista energético, se cree que el Universo está compuesto de 26'8% de materia oscura, 68'3% de energía oscura y sólo 4'9% de materia visible. Se entiende como materia visible aquella que interacciona con nuestros dispositivos electromagnéticos, mientras que la materia oscura es invisible para nosotros.



Ahora bien, se puede medir la **influencia gravitatoria** que la materia oscura ejerce sobre la materia visible en diferentes observaciones:

- velocidad angular de las estrellas en una galaxia
- cinemática de las galaxias en sus cúmulos
- formación y evolución de galaxias
- colisiones galácticas
- fondo de microondas
- lentes gravitacionales

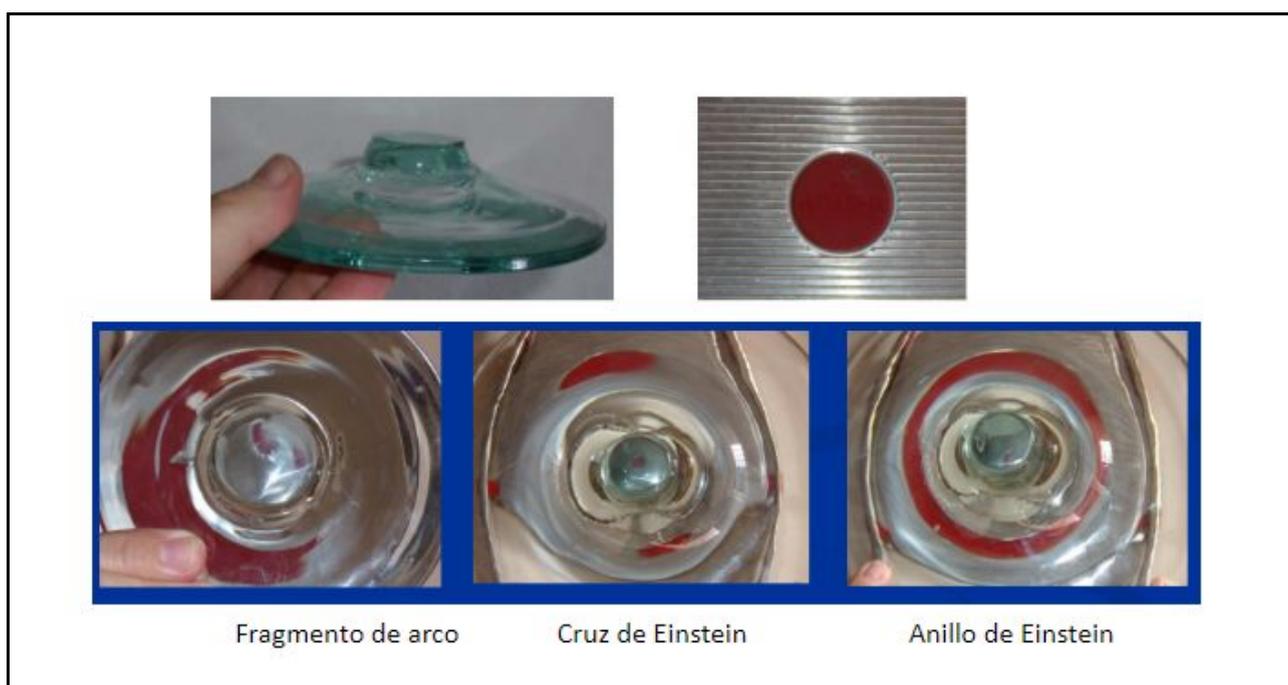
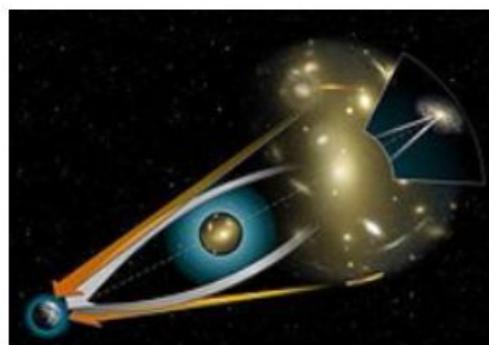
El primero en hablar de la materia oscura fue el astrofísico **Fritz Zwicky** en 1.933, al calcular la masa gravitatoria de las galaxias del cúmulo de Coma y deducir mediante el teorema del Virial (relación entre la media energía cinética a lo largo del tiempo) que debería haber más masa gravitacional que la esperada debido a su luminosidad.



Pero no fue hasta los años 60-70 que una astrónoma del Carnegie Institute of Washington, **Vera Rubin**, midió la curva de velocidad de las galaxias espirales con el espectrógrafo DTM (Department of Terrestrial Magnetism) Image Tube. El anuncio que las estrellas de muchas galaxias giraban casi a la misma velocidad angular en distintas órbitas fue recibido con gran escepticismo, pero sus observaciones fueron confirmadas por otros astrónomos. Se determinó, pues que debía existir una materia oculta que no interactúa electromagnéticamente con nuestros

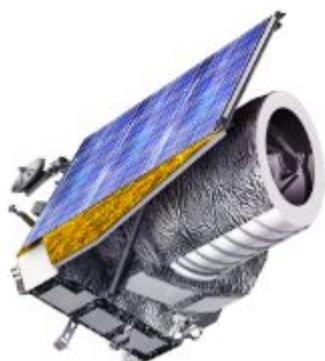
instrumentos para explicar el efecto gravitatorio observado.

Otra evidencia, descubierta más recientemente, de la existencia de la materia oscura es el efecto lente que los cúmulos producen cuando observamos estrellas lejanas situadas tras ellos. La siguiente actividad simula una **lente gravitacional** distorsionando imágenes a través de un vidrio grueso. Tal como predijo Einstein en su teoría de la relatividad general, objetos masivos curvan la luz de otros objetos que están situados detrás. Desde la Tierra, podemos observar arcos, cruces y anillos de Einstein:



Fuente: [nase](#)

Se deduce que **la materia oscura debe interactuar con la materia bariónica** (partícula subatómica de 3 quarks), con lo que se piensa que seguramente debe tratarse de una hipotética partícula elemental aún no descubierta, que interactúa debido a la fuerza nuclear débil y a la gravedad. Sería como el neutrino, pero más masivo y, por lo tanto, más lento. Según la cosmología del Big Bang, se debería haber creado térmicamente en el Universo temprano, con lo que se esperaría que fuera materia oscura fría. Sin embargo, los experimentos en el Large Hadron Collider (LHC) hasta ahora no han producido resultados positivos en la detección de esta partícula hipotética.



La importancia de la materia y la energía oscura es trascendental para conocer qué influencia tiene en la expansión del universo y su relación con la constante cosmológica que Einstein propuso.

- Se estima que durante la próxima década se conocerá de qué está compuesta la materia oscura
- Se prevén lanzamientos de nuevas misiones, como EUCLID (ESA, 2020)

Las simulaciones en cosmología indican que debe estar dispersa en el medio intergaláctico en forma de gas o plasma muy tenue, difícil de detectar y a una temperatura entre 100 mil a 1 millón de grados. La información que la astrofísica de altas energías pueda proporcionar, ayudará también a comprender qué papel juega en el Universo la materia bariónica, la materia oscura y la energía oscura.

Futuro del Universo

En 1.929 Hubble dedujo que el universo se está expandiendo y determinó la **ley de Hubble**, que establece que el desplazamiento al rojo de una galaxia, y por lo tanto su velocidad de alejamiento, es proporcional a la distancia a la que se encuentra, es decir que cuanto más lejos se encuentra una galaxia, más rápido se aleja de nosotros. Los modelos cosmológicos elaborados por **Friedmann y Lemaître**, explicaron esta expansión basándose en las ecuaciones de campo de **Einstein**. Actualmente, gracias a las observaciones del satélite Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) de la NASA y la nave espacial Planck de la Agencia Espacial Europea sabemos que:

- H_0 , la **constante de Hubble**, determina la velocidad de expansión del Universo, de manera que a mayor H_0 , el Universo se expande más rápido.
- Ω_M , la **densidad de materia** enlentece la expansión del Universo debido al **efecto gravitatorio**.
- Ω_Λ , **densidad del vacío** o energía oscura, influye en la expansión del Universo en sentido contrario al gravitatorio
- Ω_k **curvatura del Universo**: a gran escala, la curvatura del universo es prácticamente 0, por lo tanto, el Universo es plano

Donde,

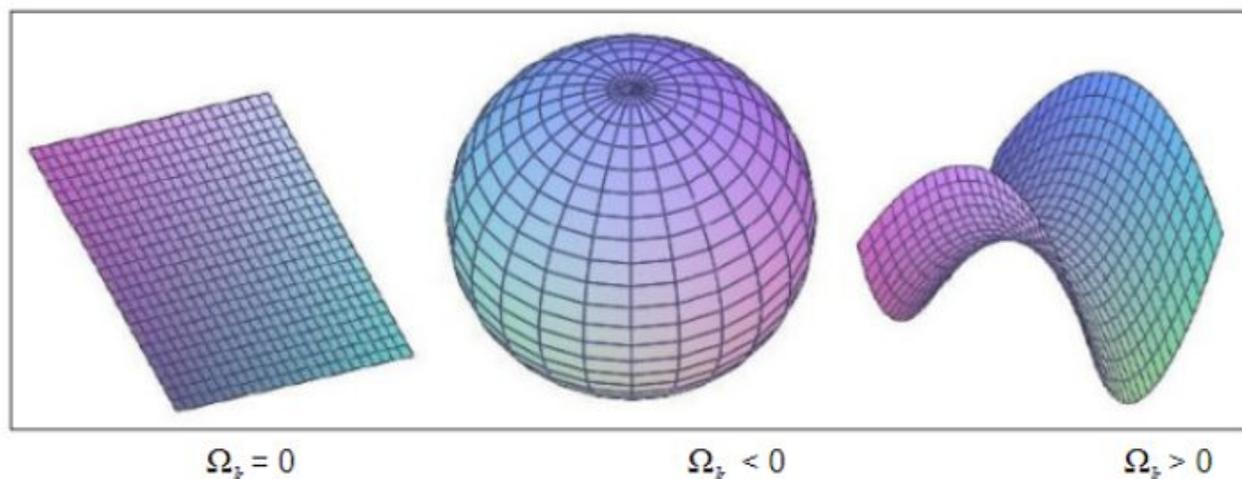
$$\Omega_M + \Omega_\Lambda + \Omega_k = 1$$

Ω_M → densidad normalizada de materia

Ω_Λ → densidad normalizada de la energía del vacío

Ω_k → densidad normalizada de curvatura

Que establece que la suma de la densidad normalizada de la materia, la densidad normalizada de la energía del vacío y la de curvatura suman 1.



Las últimas observaciones son coherentes con el modelo de la expansión acelerada del Universo. Los datos de WMAP y Planck dan valores muy semejantes y consecuentes con la edad de los objetos de nuestra galaxia: ~ **13,8 Gyr**.

Las densidades de materia y energía oscura son determinantes para poder predecir la evolución del Universo. En la figura, se observa cómo dependiendo de los valores de los parámetros de densidad del vacío y de materia (visible y oscura), el Universo podría dirigirse a una expansión infinita en un Universo abierto, también llamado muerte térmica (en rojo). Sin embargo, desconocemos también cuánta materia (visible y oscura) existe, dato que podría llevar al Universo a colapsar en el Big Crunch en un Universo cerrado (en amarillo). Antes del descubrimiento de la materia oscura, se creía en el Universo Einstein - de Sitter con $\Omega_M = 1$ (verde) en un Universo plano.

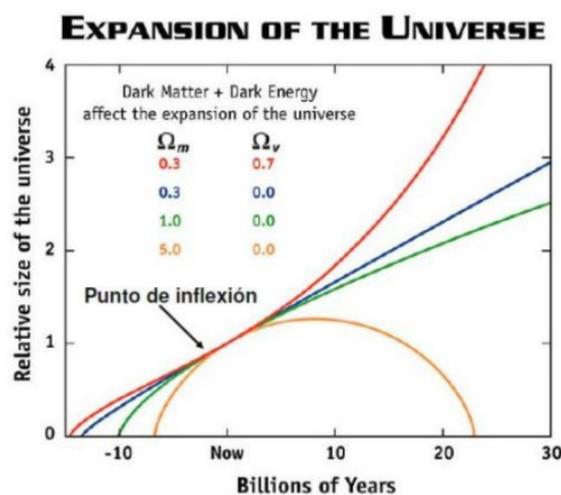


Figura 3: Expansión del Universo [4]

En relación a la curvatura, las observaciones son compatibles con un Universo plano y su error, suponiendo que el Universo es homogéneo e isótropo más allá de nuestro horizonte (CCMB). Aún y así, la curvatura podría ser un poco positiva (Universo cerrado y en contracción \Rightarrow Big Crunch) o un poco negativa (Universo abierto y en expansión).

PARA SABER MÁS

@ [Big Bang](#)

@ [Radiación de fondo del microondas](#)

@ [¿Qué es la Materia Oscura?](#) (inglés)

@ [Lente gravitacional](#)

@ [Cómo sabemos que el Universo es plano](#) (inglés)

@ [Cosmology calculator; Wright, Eduard L.; Universidad de los Ángeles; http://www.astro.ucla.edu/~wright/CosmoCalc.html](http://www.astro.ucla.edu/~wright/CosmoCalc.html)

Retos para casa

1. Se pide ordenar cronológicamente los siguientes científico/as, escoger uno/a y hacer una noticia con sus aportaciones a la astronomía con la herramienta:

<https://www.fodev.com/generators/newspaper/snippet.asp>

- ★ Nicolás Copérnico
- ★ Carl Sagan
- ★ Stephen Hawking
- ★ Annie Jump Cannon
- ★ Johannes Kepler
- ★ Edwin Hubble
- ★ Charles Messier
- ★ William Herschel
- ★ Henrietta Swan Leavitt
- ★ Vera Rubin
- ★ Hiparco de Nicea
- ★ Edmond Halley
- ★ Isaac Newton
- ★ Galileo Galilei
- ★ Tycho Brahe
- ★ Albert Einstein
- ★ Jocelyn Bell



2. Averiguar qué son LIGO, VIRGO y LISA.

CONCLUSIÓN:

Tiempo: 40 minutos

Contenido: Puesta en común de los deberes y debate sobre lo que no sabemos:

1. Como reflexión a la lista de científicos pasada, se comenta la poca presencia de mujeres y se amplía la observación con la noticia de la investigadora Jessica Wade, quien añade cada día una mujer a la wikipedia:

https://elpais.com/elpais/2018/07/05/ciencia/1530788593_072320.html

Buscar, por ejemplo, Hipatia de Alejandría, Mae Jemison y Alyssa Carson:



2. LIGO, VIRGO y LISA son detectores de ondas gravitatorias que son capaces de detectar ondas de dos agujeros negros fusionándose. Las observaciones de la señal **GW150914** son compatibles con las predicciones de la relatividad general. Se espera que pueda detectar ondas más allá del universo visible, la inflación cósmica y quizás el mismo Big Bang.
3. ¿Qué no sabemos del Universo?
 - ¿Qué había antes del Big Bang?
 - ¿Cuál fué la causa del Big Bang?
 - ¿Por qué las leyes y las fuerzas de la física son las que son?
 - ¿Hay Multiversos?



Esta obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)