

INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO

INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

PROYECTO DE DIVULGACIÓN

ORIGEN Y VIDA DE LAS ESTRELLAS

Axel L. Oviedo C.

2018



Introducción

El espacio se encuentra lleno de maravillas que han inspirado a la humanidad en diferentes ámbitos a lo largo de su evolución. En las noches, al mirar al cielo despejado podemos apreciar la grandiosa iluminación que estos astros nos otorgan. Claramente, todo esto se debe en gran parte a la existencia del fenómeno de la luz con la que podemos percibir de forma visual nuestro alrededor. En este documento podremos explorar el origen y la vida de los astros responsables de este fenómeno: las estrellas.

Origen de las estrellas

En primer lugar, para comprender nuestro actual conocimiento de la naturaleza de las estrellas es necesario entender como nacen. Para que sea posible la formación de una estrella, es necesario la presencia de una nube esparcida en una zona del espacio y constituida de polvo cósmico y gas, principalmente de hidrógeno y algo de helio. De igual manera, es necesario que la cantidad de la materia sea suficiente de modo que una fuerza (magnética o gravitatoria) u otro fenómeno inestabilice la nube, también llamada nebulosa, y empiece a tener lugar la acción de la gravedad en contraposición a la presión ejercida por los gases. A la cantidad suficiente de materia se le conoce como masa de Jeans. La inestabilidad de Jeans se aplica también a la formación de galaxias.

Al desestabilizarse la nube, la materia se empieza a juntar por la acción gravitatoria y a formar cúmulos más y más grandes de materia. Debido a la presión que empieza a actuar en estas formaciones, la energía potencial se transforma en un aumento de temperatura. Por otra parte, debido a que la formación principal colapsa más rápido que el resto de la nube, esta empieza a girar por conservación del momento. En el núcleo de la formación y debido a las altas temperaturas se empiezan a dar los procesos de disociación de las moléculas de hidrógeno en átomos de hidrógeno. En una etapa intermedia entre los procesos descritos y la formación de una estrella propiamente dicha existe un objeto al cual llamamos protoestrella.

Protoestrella

En esta etapa, la futura estrella todavía no ha obtenido la totalidad de su masa. La protoestrella posee una luz intrínseca del calentamiento provocado por la contracción de su masa, es decir, en esta etapa no se da a lugar la fusión nuclear. Debido a que alrededor de la protoestrella encontramos aún una gran cantidad de polvo y gas, mucha de

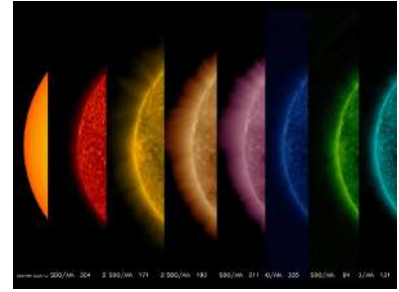


Figura 1: El sol es nuestro punto de comparación para el resto de estrellas. En esta secuencia de imágenes se aprecia al sol desde su superficie hasta su atmósfera externa tomadas casi al mismo tiempo. Crédito: [NASA/GSFC/Solar Dynamics Observatory](#)

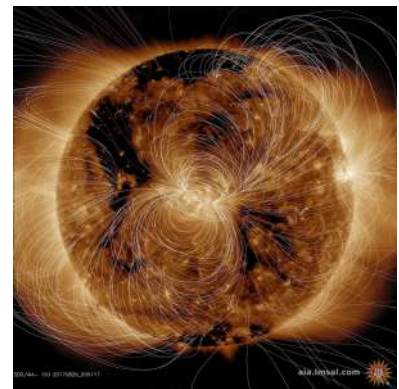


Figura 2: Modelo generado computacionalmente del campo magnético del Sol. Crédito: [NASA/GSFC/Solar Dynamics Observatory](#)



Figura 3: Nebulosa de Orión, Messier 42, que se encuentra a 1500 años-luz de distancia; esta nebulosa es visible a simple vista debajo del cinturón de Orión. Cuna de nacimiento de una estrella. Crédito: [NASA, ESA, M. Robberto \(Space Telescope Science Institute/ESA\) and the Hubble Space Telescope Orion Treasury Project Team](#)

la luz emitida es atrapada y no se puede observar en el rango visible. Para el estudio de esta etapa, los astrónomos necesitan ver el espectro correspondiente a ondas infrarrojas y microondas.

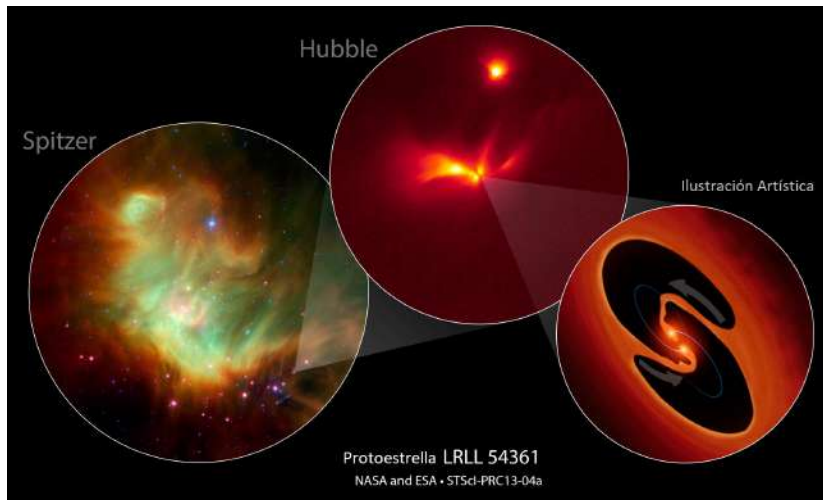


Figura 4: Izquierda, imagen infrarroja de estrella en formación a 950 años-luz de distancia. Centro, imagen del telescopio Hubble del exterior de la protoestrella. Derecha, impresión artística del hipotizado sistema binario en formación. Crédito: [NASA-ESA](#)

El tiempo de existencia de una protoestrella es relativamente corto, de 100 000 años o más, en el cuál la masa del disco formado a su alrededor se irá integrando. Al llegar a la temperatura adecuada en el núcleo se dará lugar a los procesos de fusión nuclear y la estrella entrará dentro de la clasificación de la secuencia principal; como veremos más adelante, una protoestrella no entra en esta clasificación debido a su extremadamente baja luminosidad.

Formación de helio y diferentes elementos

Uno de los hechos más sorprendentes y filosóficamente inspiradores es conocer cómo cada uno de los átomos que dieron lugar a nuestra existencia y la vida como la conocemos, fueron formados en el núcleo de alguna estrella hace miles de millones de años.

Retomando el momento en el que dejamos el desarrollo de la estrella, al aumentar aún más la presión debido a la fuerza gravitacional en la protoestrella y en consecuencia la temperatura, se empiezan a dar los procesos de fusión nuclear del hidrógeno. Este proceso, conocido como cadena protón-protón, da lugar a los átomos de helio y la luminosidad de las estrellas como las conocemos.

Fusión vs. Fisión En este punto es necesario distinguir estos dos procesos opuestos para no confundirlos. En primer lugar, la fusión nuclear se refiere a la reacción en la que dos o más núcleos atómicos se combinan para formar uno o más núcleos y partículas subatómicas. En

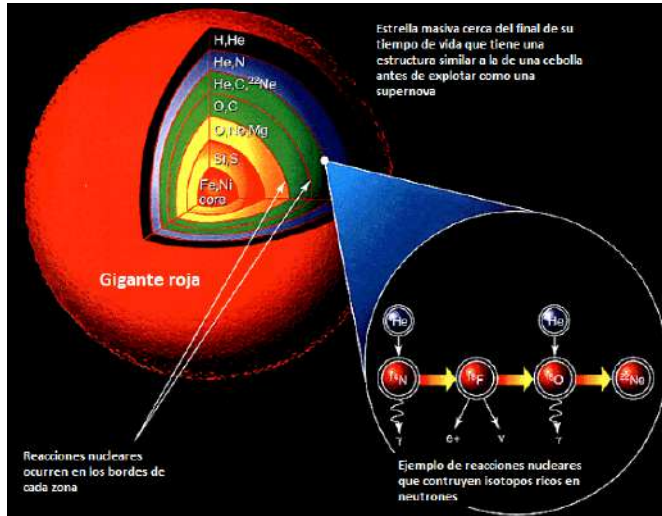


Figura 5: Imagen que muestra la estructura por capas similar a una cebolla en las que se fusionan los diferentes elementos con masas menores al hierro hasta el final de la vida de una estrella masiva que acabará en una supernova. Crédito: NASA/GSFC

contraste, la fisión nuclear divide a núcleos pesados en núcleos más livianos y en el caso de una explosión nuclear esto se da en base a una reacción en cadena.

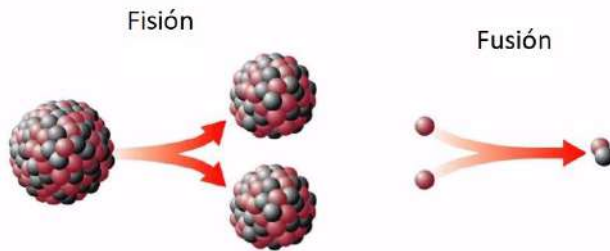


Figura 6: Imagen comparativa y simplificada de los procesos de fusión (derecha) y fisión (izquierda) nuclear. Crédito: Duke Energy

Diagrama de Hertzsprung-Russell

También conocido como diagrama H-R por su abreviatura, es un gráfico en el que se puede observar la distribución de las estrellas comparando su luminosidad y su temperatura (un diagrama equivalente es aquel en función del color o tipo espectral). El diagrama fue creado en 1910 y 1913 de manera independiente por Ejnar Hertzsprung y Henry Norris Russell respectivamente.

Dentro del diagrama podemos encontrar varios clusters de dispersión de las estrellas. Estos nos muestran las características principales

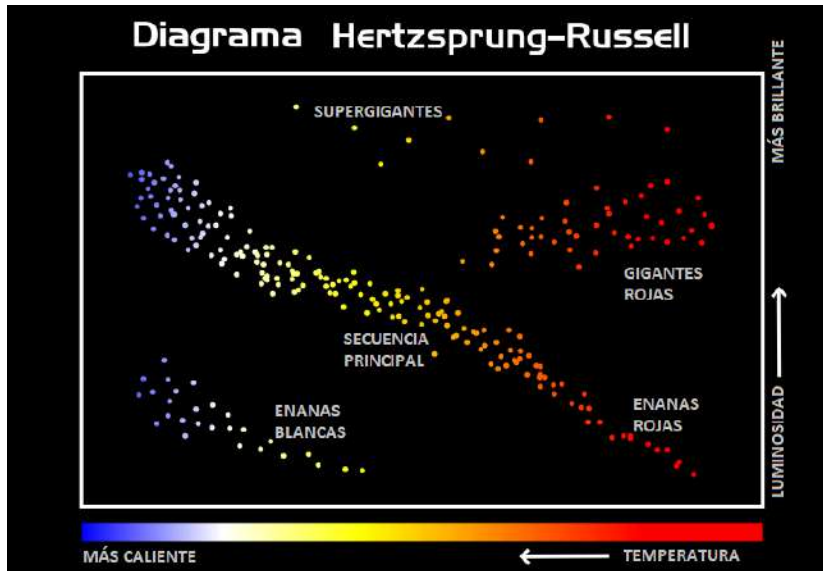


Figura 7: Diagrama básico de Hertzprung-Russell que muestra la distribución de las estrellas con criterios de luminosidad (eje vertical) y su temperatura-color-clase espectral (eje horizontal). Crédito: [Universidad de Utah/ASPIRE](#)

que tendrán a lo largo de su vida. En la diagonal de este diagrama podemos encontrar a la gran mayoría de las estrellas a las que se les conoce en conjunto como secuencia principal. De forma clara, podemos distinguir encima de la diagonal a dos grupos: secuencia de gigantes rojas y secuencia de supergigantes rojas. De modo similar, podemos distinguir debajo de la secuencia principal al grupo de enanas blancas.

En base a este diagrama los astrónomos llegaron a conclusiones acerca de la evolución de una estrella a lo largo de su vida dependiendo de su masa y las reacciones que ocurren en esta. De esta manera, las estrellas pueden seguir diferentes cursos de crecimiento.

Primera etapa de crecimiento

La condición principal que determina como procederá a ser el ciclo de vida de la estrella, al igual que otras múltiples características, es la cantidad de masa que esta tiene al momento de su nacimiento. Esto se debe a que por efecto de la gravedad en su núcleo tiene una gran cantidad de presión que determina una mayor temperatura y que a su vez permite fusiones nucleares de diferentes elementos.

Estrella de masa intermedia

El sol es un claro ejemplo de una estrella promedio que se encuentra en la secuencia principal en la mitad de su vida. Una estrella de masa intermedia está definida entre al menos el 50% de la masa del Sol hasta 8 veces la masa de este. Estas estrellas comienzan su vida

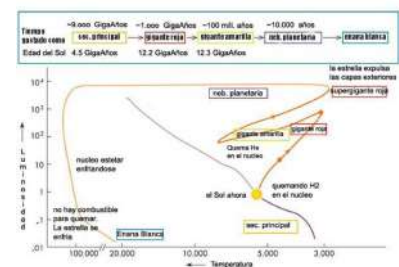


Figura 8: Evolución del Sol (estrella de masa intermedia) a través del diagrama H-R. Crédito: [Asociación Astronómica de España](#)

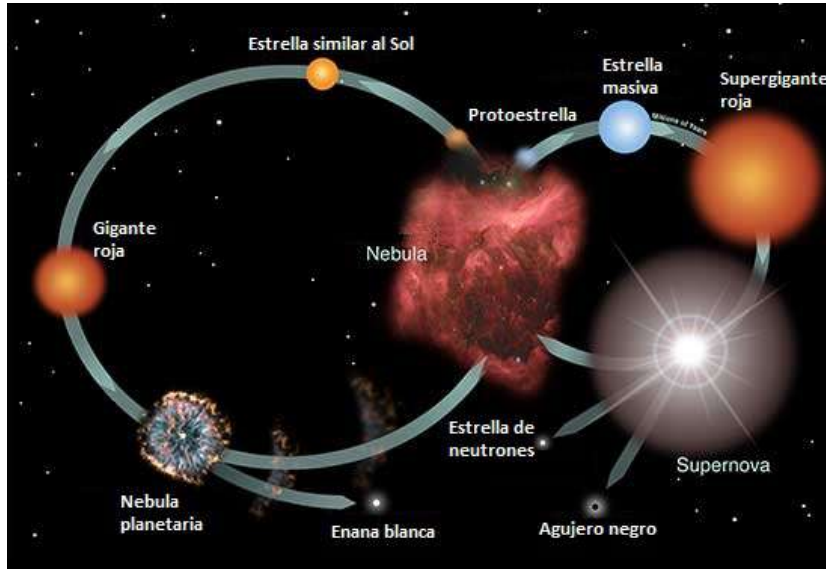


Figura 9: Representación gráfica de la vida de las estrellas en diferentes etapas dependiendo de su cantidad de masa al momento de su nacimiento como protoestrella. Secuencia izquierda: estrellas de masa intermedia. Secuencia derecha: estrellas masivas. Crédito: [NASA and the Night Sky Network](#)

como estrellas amarillas o naranjas y pasan la mayor parte de su vida en esta etapa de secuencia principal.

El siguiente paso en su vida será convertirse en una gigante roja, consecuentemente se volverá una nebulosa planetaria para dejar atrás a una enana blanca. Las estrellas de masa intermedia son las de mayor población en el Universo.

Estrella masiva

Las estrellas con una mayor masa tienen un tiempo de vida mucho más corto, esto debido a que existe mayor fuerza de gravedad en su núcleo lo que acelera los procesos de fusión. Después de llegar a fusionar hierro en su núcleo terminan con una supernova dejando como cadáver una estrella de neutrones o un agujero negro, lo que depende de su masa.

Estrellas enanas

Por otro lado, las estrellas con baja masa después de su nacimiento tienen muy largas vidas. De hecho, para el caso de las enanas rojas (con masas menores al 50% de la masa del Sol) no hay alguna que se encuentre en edad avanzada debido al corto tiempo de existencia del Universo, de forma comparativa con la duración de sus vidas. La mínima masa necesaria para que exista la fusión del hidrógeno en el núcleo de las estrellas se ha observado que es de aproximadamente el 7.5% la masa del Sol. Objetos con una menor masa que esta se los conoce como objetos subestelares e incluyen a las enanas cafés con

una masa intermedia entre los planetas gaseosos más grandes y las estrellas más pequeñas.

Segunda etapa

A medida que incrementa el tiempo de vida de una estrella, su núcleo se contrae y calienta. Las reacciones de fusión de hidrógeno en su núcleo se agotan y suceden en la corteza lo cual expande la forma de la estrella. Ahora en su núcleo ocurren reacciones de fusión del helio o de otros elementos más pesados pero menores al del hierro.

Gigante roja

Por encima de la secuencia principal, en el diagrama H-R, encontramos a las gigantes rojas, la siguiente etapa de vida de una estrella de masa intermedia. Los astrónomos creen que nuestro Sol se convertirá en una estrella de este tipo en aproximadamente 5 mil millones de años. Estas estrellas llegan a fusionar carbono en su núcleo mediante el helio; a medida que la estrella se expande esta pierde sus gases y continúa a su siguiente pero corta etapa, una nebulosa planetaria.

Supergigante roja

Arriba de las gigantes rojas en el diagrama H-R encontramos a las supergigantes rojas. Estas estrellas son la siguiente etapa de vida de estrellas masivas. Al igual que las gigantes rojas, las supergigantes rojas empiezan a fusionar helio en sus núcleos pero debida a su enorme cantidad de masa y a la presión de la gravedad, la fusión del helio continúa en una capa intermedia y en su núcleo se empiezan a fusionar elementos más pesados. Esto crea una estructura de reacciones nucleares similar a las capas de cebolla hasta llegar a la fusión del hierro. Al llegar a fusionar hierro, la estrella colapsa de forma tan rápida que causa una explosión conocida como supernova.

Tercera etapa

Las estrellas de masa intermedia y masivas tendrán finales diferentes pero de una belleza espectacular: nebulosa planetaria o supernova.

Nebulosa planetaria

Este fenómeno ocurre para estrellas de masa intermedia entre 0.8 y 8 masas solares y no hay que confundirse con su nombre pues en verdad se da con la muerte de una estrella de masa intermedia. A medida

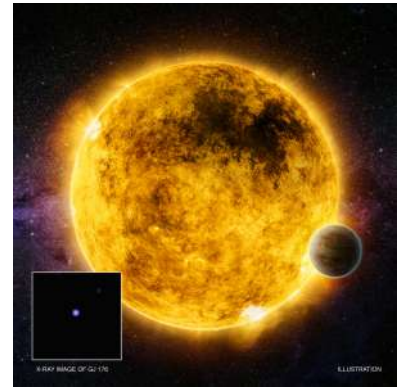


Figura 10: Ilustración de una enana roja a 30.7 años-luz de distancia que tiene un radio del 53 % de nuestro Sol. Crédito: X-ray: NASA/CXC/Queens Univ. of Belfast/R. Booth, et al.; Illustration: NASA/CXC/M. Weiss

que se empiezan a agotar las reacciones nucleares de la estrella, esta colapsa y expulsa material al exterior en forma de diferentes capas produciendo el fenómeno visual observado (Figura 11). En el centro de la nebulosa planetaria podemos encontrar los restos de la estrella conocida como una enana blanca.



Figura 11: Galería de imágenes de nebulosas planetarias, el final de las estrellas de masa intermedia como nuestro Sol. Crédito: X-ray: NASA/CXC/RIT/J.Kastner et al.; Optical: NASA/STScI

Supernova (plural supernovae o supernovas)

Cuando la masa de una estrella es mayor a 8 masas solares, esta probablemente termine en la forma de una supernova. Las reacciones de fusión nuclear en su núcleo, al ser incapaces de sostener la presión por la fuerza de la gravedad, terminan colapsando a la estrella. Al colapsar su núcleo aumenta en densidad y temperatura y su exterior rebota en forma de una explosión que expulsa su material más externo al exterior a velocidades cercanas al 10 % de la velocidad de la luz. Esta explosión deja atrás una estrella de neutrones o un agujero negro.

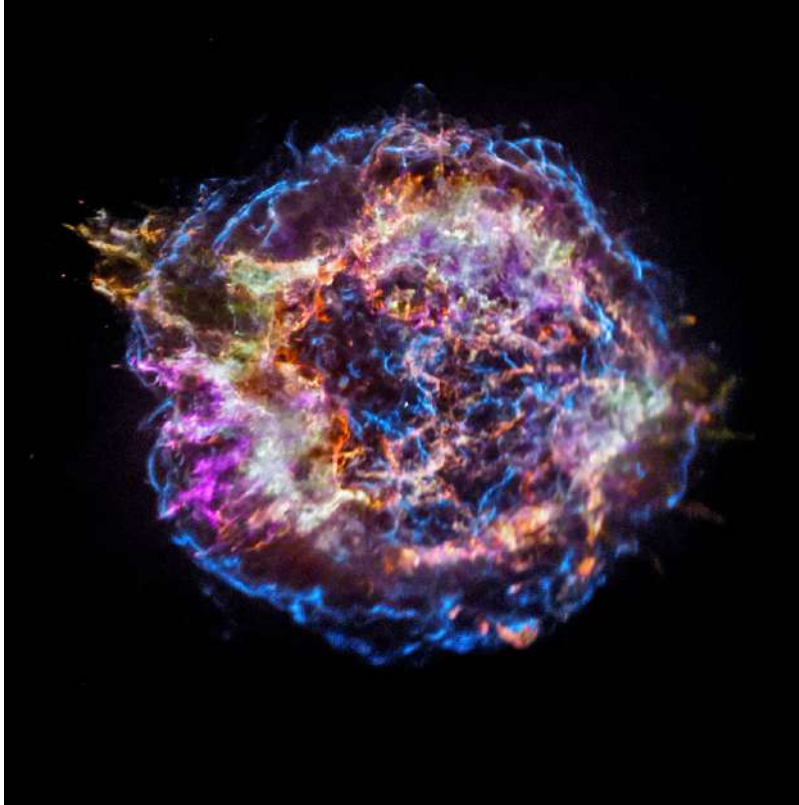


Figura 12: Supernova Cassiopeia A (Cas A), una de las más intensamente estudiados remanentes de supernova. La imagen del Observatorio de rayos-X Chandra nos muestra las locaciones de diferente elementos restantes y productos de la explosión como el silicio (rojo), sulfuro (amarillo), calcio (verde) y hierro (morado). Crédito: NASA/CXC/SAO

El final

Al igual que los humanos, las estrellas dejan atrás cadáveres. Estos pueden ser de tres formas que como se mencionó depende de la cantidad de masa inicial de la estrella: enana blanca, estrella de neutrones y agujero negro. Estos objetos son de gran valor teórico para la comprensión de los grandes enigmas del universo todavía pendientes.

Enana blanca

Al terminar la vida de una estrella en forma de una nebulosa planetaria, esta deja atrás a los objetos conocidos como enanas blancas. Con el tiempo, las enanas blancas perderán su brillo para poco a poco convertirse en enanas negras, un objeto puramente teórico pues se calcula que el universo no tiene la edad suficiente para que exista alguna.

Estrella de neutrones

Como se ha mencionado, la explosión de una supernova deja atrás dos posibles objetos: una estrella de neutrones o un agujero negro. El límite de Chandrasekhar nos dice que una enana blanca con 1.4



Figura 13: En este capullo (nebulosa planetaria NGC 2440) de estrella encontramos a una de las enanas blancas con mayor temperatura conocida por los científicos. Crédito: NASA/R. Ciardullo (PSU)/H. Bond (STScI)

veces la masa del Sol hasta un límite superior a 3 masas solares, se convierte en una estrella de neutrones pues la presión de degeneración de electrones ya no puede contener la fuerza ejercida por la gravedad y estos colapsan en su núcleo atómico. Como resultado, la estrella se vuelve altamente densa y llena completamente de neutrones con electrones en las capas externas y núcleo externo.

Agujero negro

Si los restos de la supernova superan las tres masas solares, entonces el destino de la estrella es convertirse en un agujero negro. Al no ser suficiente la presión de degeneración de neutrones, la estrella colapsa y su materia es tan densa que impide incluso la salida de luz en lo que se conoce como horizonte de sucesos. La comprensión de los agujeros negros es un tema de alta relevancia y estudio actual.

Conclusión

Las estrellas han cautivado, ayudado e inspirado durante cientos de miles de años a los humanos. A medida que hemos comprendido su evolución hemos descubierto los orígenes de la existencia de la vida como la conocemos. En el transcurso de la vida de una estrella encontramos múltiples fenómenos que nos maravillan y atrapan por su belleza y enigma teórico. Su estudio y comprensión nos llevarán cada vez más lejos en nuestro propio enriquecimiento como humanidad.

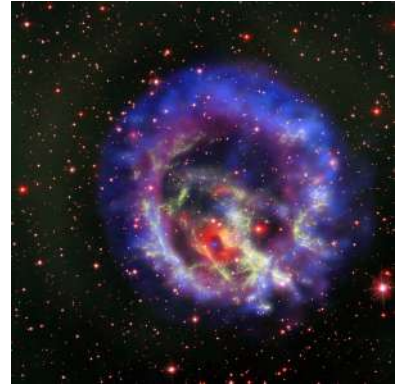


Figura 14: Estrella de neutrones localizada entre los restos de una supernova (curiosamente no en el centro de los restos), conocida como Eo102 de forma abreviada, a 200 000 años-luz de la Tierra. Crédito: NASA/R. Ciardullo (PSU)/H. Bond (STScI)



Figura 15: Recreación artística de un agujero negro en la película *Interstellar*. Hasta la actualidad, no ha sido posible ver a un agujero negro pero se encuentran estudiando diferentes posibilidades de tener observaciones de uno de estos objetos.