
El Universo

**Galaxias, Constelaciones, Supernovas, Púlsares,
Agujeros Negros y Cuásares**



Rolando Herrera Rojo



Índice

Introducción	Pag. 3
Galaxias	Pag. 4
Vía Láctea	Pag. 8
Constelaciones	Pag. 12
Supernovas	Pag. 14
Púlsares	Pag. 18
Agujeros Negros	Pag. 20
Cuásares	Pag. 23
Conclusiones	Pag. 27
Bibliografía	Pag. 28
Linkografía de Fotografías	Pag. 29

Introducción

¿Cuál es la relación entre la geología y la cosmología?. Una forma de relacionarlas podría ser decir que ambas buscan explicar el origen, la evolución y el destino del *donde* habitamos. Sin embargo, una relación más ajustada es que una es consecuencia de la otra; la geología es el estudio del *donde* que nos toca en el desarrollo del Universo.

Chile es un país con cielos privilegiados. Algunos de los observatorios más importantes del mundo se han asentado aquí. El principal beneficio de esto es que cada observatorio extranjero instalado en Chile garantiza un 10% de tiempo de uso para científicos chilenos. Y los científicos chilenos lo han aprovechado.

El documento oficial de la Real Academia de Ciencias de Suecia que explicaba las razones del premio Nobel de Física del año 2011, otorgado a Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt y Adam G. Riess por el descubrimiento de la expansión acelerada del Universo, menciona el aporte fundamental al descubrimiento del proyecto Calan/Cerro Tololo encabezado por los astrónomos chilenos Mario Hamuy y Jose Maza.

Este proyecto juntó una enorme cantidad de datos obtenidos de la observación y catalogización de supernovas, con lo que los cálculos de las distancias en el Universo se ajustaron de forma muy precisa. Estos datos fueron vitales para la investigación.

Este caso y otros nos cuentan el nivel que ha logrado la astronomía en Chile. Jose Maza ha manifestado en mas de una ocasión que el primer premio Nobel de ciencias de Chile será sin duda en el campo de la astronomía, donde tenemos ventajas con respecto a otros países.

Estos logros de la astronomía chilena también se han plasmado en una prolífica obra de divulgación astronómica por parte de académicos y por supuesto astrónomos chilenos, de la cuál este trabajo se ha nutrido mayoritariamente.

La metodología de investigación se basó en la recolección de datos en literatura especializada de autores chilenos principalmente, pero también de extranjeros, y de información disponible en internet en webs dedicadas al tema.

Las fotos que se han usado provienen de sitios públicos y al final del trabajo aparecen los enlaces de las paginas de internet de las que se obtuvieron.

Los temas se han tratado en un orden que relaciona en una secuencia el origen de los objetos y fenómenos investigados.

El objetivo de este trabajo es entender un poco el Universo en el que vivimos y conocer algunas de sus manifestaciones mas poderosas; Las Galaxias, de las cuales la Vía Láctea es nuestro hogar, las Supernovas, las que al final de su apoteósica muerte dejan un fantasma llamado púlsar o, si su masa fue enorme, desencadenan los casi imposibles Agujeros Negros, y finalmente los Cuásares, los objetos más brillantes y lejanos del Universo.

I. Galaxias

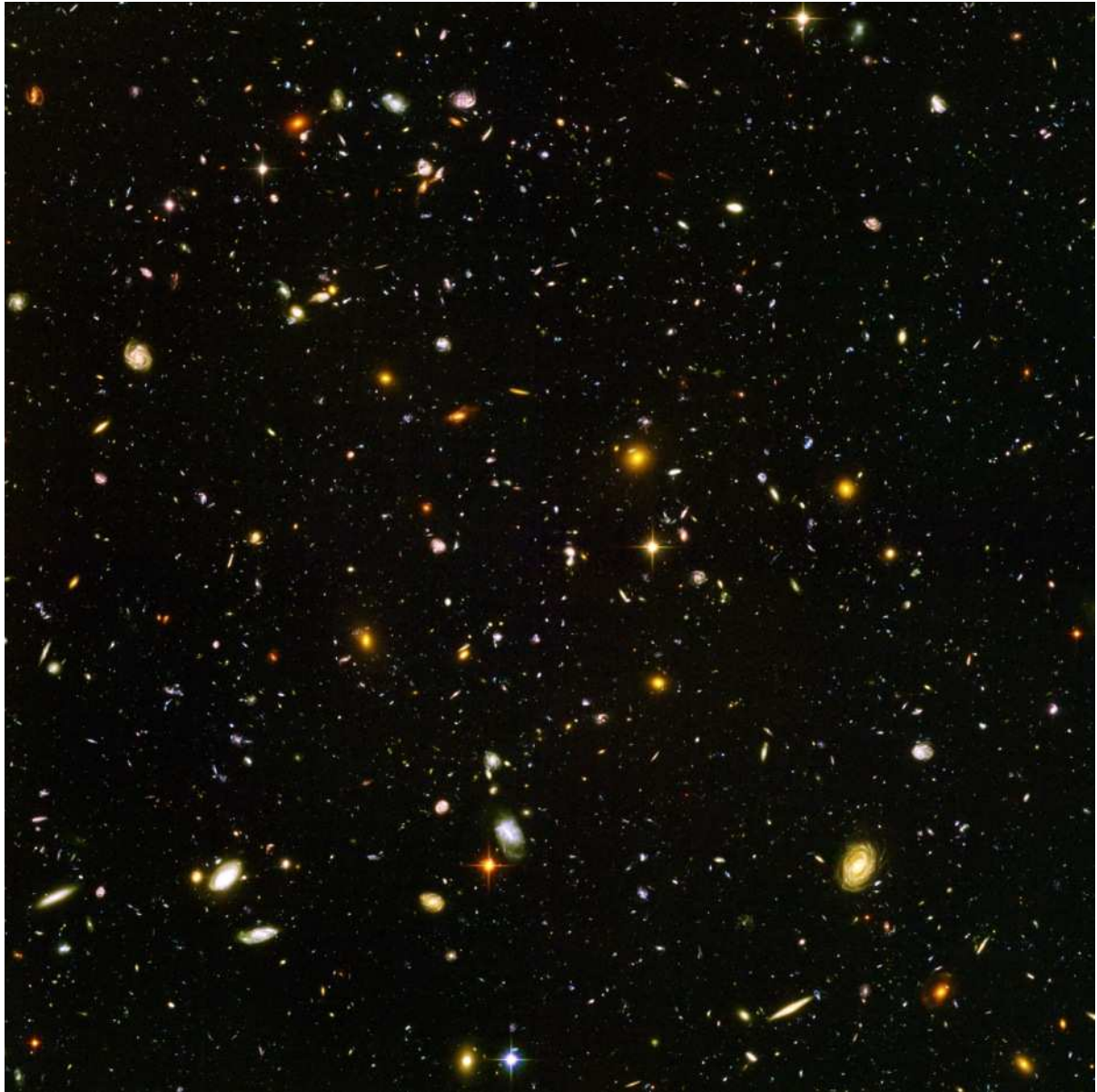


Figura 1. HUDF

La Fotografía de la Figura 1 se conoce como “Hubble Ultra Deep Field” (Campo Ultra Profundo de Hubble). Fue tomada en una exposición de 11.3 días por el Observatorio espacial Hubble que está en órbita a la Tierra. Lo interesante de esta foto es que el área que cubre del cielo corresponde al área que veríamos si mirásemos por el agujero de una pajita de bebida de 2,5 metros de largo. Y en la fotografía aparecen aproximadamente 10.000 galaxias! Esta es la abundancia de las galaxias en el Universo.

Las galaxias son una agrupación de estrellas, planetas, gases y polvo cósmico que se mantienen unidos gravitacionalmente. Es en ellas donde nacen, viven y mueren las estrellas y los planetas.

Las galaxias se conocen como tal desde apenas un poco más de 100 años. En las primeras observaciones que se hicieron del cielo luego de que se inventó el telescopio, se las clasificó dentro de los objetos difusos que carecían de interés observacional, a diferencia de los cometas. Por ello, el astrónomo y caza-cometas Charles Messier (1730-1817) catalogó estos objetos nebulosos para evitar confusiones al buscar cometas en el cielo. El catálogo Messier contiene 110 objetos observables principalmente desde hemisferio norte, y nuestra vecina galaxia Andrómeda es el objeto M 31.

El filósofo alemán Immanuel Kant (1724-1804) planteó en 1755 la idea de que algunas de estas nebulosas eran en verdad “universos islas”, y que nuestra Vía Láctea era uno más de estos. Claro que Kant no tenía apoyo observacional para su idea, pero no estaba lejos de la realidad como quedó demostrado años después.

Durante parte del siglo XIX se le empezó a dar mayor importancia a la observación de estos objetos, pero no fue hasta 1917, cuando el astrónomo Herbert Curtis (1872-1942) observó una nova en la vecina galaxia Andrómeda que se empezó a especular que esta estaría ubicada fuera de la Vía Láctea.

En 1920 se llevó a cabo en la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos el llamado “Gran Debate” entre Herbert Curtis y el también astrónomo Harlow Shapley (1885-1972) con respecto a la distancia a la que se encontraban las galaxias. Harlow Shapley defendía la idea de que estaban dentro de nuestra galaxia y Curtis lo contrario.

Si bien después de este debate quedó la idea de que la posición de Shapley tenía mejores fundamentos basados en las observaciones, fue el gran astrónomo Edwin Powell Hubble (1889-1953) quien terminó la controversia al lograr determinar que Andrómeda se encontraba fuera de la Vía Láctea a una distancia que él estimó de forma equivocada en un primer momento de 900.000 años luz¹. Hoy se sabe que la distancia corresponde a 2.500 millones de años luz.

El método que usó Hubble para determinar la distancia de Andrómeda fue la observación de estrellas Cefeidas dentro de esta. Las Cefeidas son estrellas de brillo e intensidad variable en periodos de tiempo regulares descubiertas y catalogadas por Henrietta Swan Leavitt con las que se puede determinar las distancias de estas a nosotros.

Hubble logró también observar otro fenómeno aún más fascinante de las galaxias; estas se alejan unas de otras y mientras más lejos se encuentran, la velocidad de alejamiento es mayor. Este descubrimiento llevó a plantear la idea más fabulosa y revolucionaria de la cosmología moderna; la teoría del Big Bang.

Si las galaxias se están alejando unas de otras con una velocidad conocida (constante de Hubble: 70.000 (Kms/s)/Mpc²), se puede hacer el ejercicio de saber cuanta

¹ Un año luz es lo que recorre en el vacío la luz en un año, esto es $9,46 \times 10^{15}$ metros.

² megapársec (Mpc): un millón de pársecs, distancia equivalente a unos 3,26 millones de años luz.

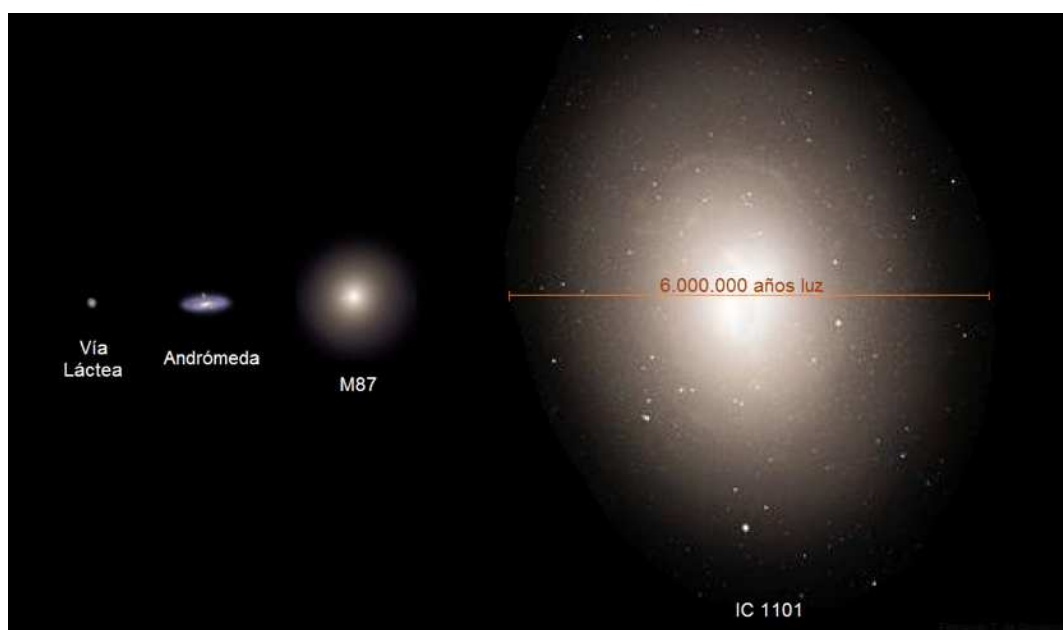
distancia recorren las galaxias en el tiempo, pero de forma inversa. Con eso se logró determinar que toda la materia del Universo estuvo concentrada en un solo punto hiper denso hace 13.700 millones de años atrás.

En ese punto diminuto nació el tiempo, el espacio y la materia del Universo que habitamos. Aún no se sabe que fue lo que desencadenó, pero si se ha logrado explicar lo que ocurrió desde 10^{-47} segundos después del Big Bang hasta nuestros días.

Lo que si se sabe es que unos 300 millones de años después se formaron las primeras galaxias.

Las galaxias existen en variadas formas y tamaños y se distribuyen en el universo en grupos y estos a su vez en cúmulos mayores, aunque a un nivel de observación de mayor escala, hoy se sabe que las galaxias forman un enorme entramado que abarcaría todos los confines del Universo.

Se estima que hay al menos 100.000 millones de galaxias, cada una con un promedio de 400.000 millones de estrellas. En las galaxias más antiguas que se han observado se han detectados enormes chorros de energía en forma de luz que emanan desde sus centros, a los que se les llama cuásares, misteriosos objetos a los que dedicaremos el capítulo final de este trabajo.



Figura

2. Comparación de 4 galaxias en cuanto a su tamaño. La Vía Láctea tiene un diámetro de 100.000 años luz, Andrómeda 250.000 años luz, M 87 alrededor de 500.000 años luz. El tamaño de IC 1101 es sobrecogedor. Equivale a al espacio que ocupan las 30 galaxias de nuestro grupo local.

Hubble propuso una secuencia de galaxias (Figura 3) y asoció sus formas a eventos evolutivos, donde todas empezarían como galaxias elípticas y con el tiempo se transformarían en galaxias espirales. Hoy se sabe que hay galaxias tanto espirales como

elípticas que tienen estrellas con edades similares, por lo que se podrían haber formado en tiempos parecidos.

Observaciones de galaxias que están en proceso de unirse y simulaciones computacionales han determinado que la forma de las galaxias depende mas bien las interacciones gravitacionales durante las colisiones entre ellas y también la presencia de hoyos negros súper masivos en sus núcleos. Ya abordaremos este tema con más detalles más adelante en este trabajo.

Los cálculos de las masas de las galaxias muestran sin embargo una discordancia con respecto a la atracción gravitacional que las debería mantener unidas. Simplemente les falta masa. Esto ha llevado a establecer que el Universo que conocemos estaría compuesto por apenas por un 5% de materia ordinaria, la conformada por átomos como unidad básica, un 25% de materia oscura, que es la que mantiene a las galaxias unidas, y un abundante 70% de energía que es la responsable de mantener la expansión acelerada del Universo. Se les llama materia y energía oscura porque no emiten ni absorben radiación, y por que no tienen aún explicación.

En el capítulo siguiente describiremos nuestra Galaxia, la Vía Láctea. Ahí veremos las características principales de una galaxia común.



Figura 3. Secuencia de clasificación de galaxias de Hubble. A la izquierda secuencia de galaxias elípticas, donde E significa elíptica y el numero indica el grado de achatamiento de la galaxia. El tipo S0 es para clasificar las de tipo lenticular. A la derecha arriba están representadas las espirales normales (Sa, Sb, Sc) y abajo las espirales barradas (SBa, SBb, SBc)

II. La Vía Láctea



Figura 4. Imagen del Observatorio La Silla con la Vía Láctea y 2 de sus galaxias satélites de fondo; La Gran Nube de Magallanes y la Pequeña Nube de Magallanes, las que son visibles exclusivamente desde el hemisferio sur.

Tener la oportunidad de estar bajo el cielo en una noche despejada de invierno en el desierto de Atacama sin ningún tipo de luz artificial ni Luna produce una emoción muy difícil de explicar. La Vía Láctea se derrama por el cielo, y después de un rato, cuando los ojos se acostumbran a la oscuridad, se puede incluso ver la sombra de nuestro cuerpo en el suelo producto de la luz que las estrellas emanan.

Este espectáculo sobrecogedor lo han presenciado los humanos desde que se irguieron, caminaron y formaron las civilizaciones. Muchos mitos se imaginaron y dibujaron en el cielo, como se verá en el capítulo de Constelaciones.

Nuestra Galaxia (se escribe con mayúscula cuando se habla de la Vía Láctea) fue durante mucho tiempo el límite de lo que se consideraba era el Universo. El gran astrónomo William Herschel (1738-1822) después de muchos años de observación, dibujó un mapa representando la ubicación de nuestro Sol en la Vía Láctea (Figura 5)

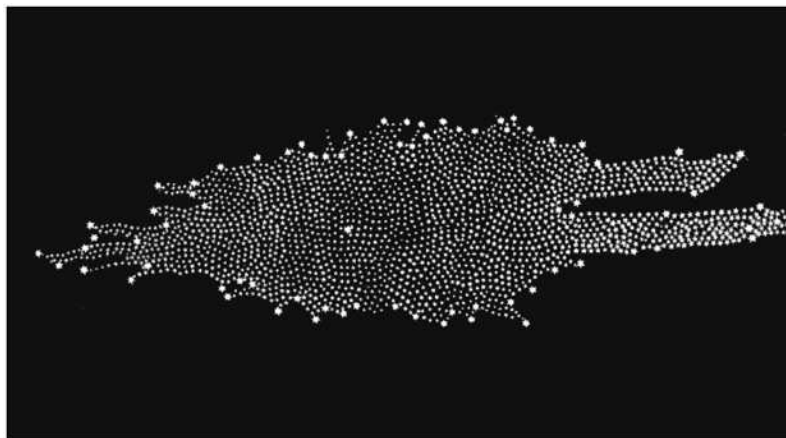


Figura 5. Diagrama de la Vía Láctea según las observaciones de William Herschel.

Hoy sabemos que la Vía Láctea es una galaxia espiral barrada tipo Sb de acuerdo con la secuencia de Hubble, que tiene un ancho de 100.000 años luz y 1.500 años luz de grosor. Que nuestro Sistema Solar da una vuelta completa a la Galaxia cada 250.000.000 de años en lo que se conoce como año cósmico y que se encuentra en unos de sus brazos espirales a unos 25.000 años luz del núcleo galáctico, donde existe un masivo hoyo negro y que nuestro Sol es una estrella más entre las 300.000 millones que habitan nuestra Galaxia.

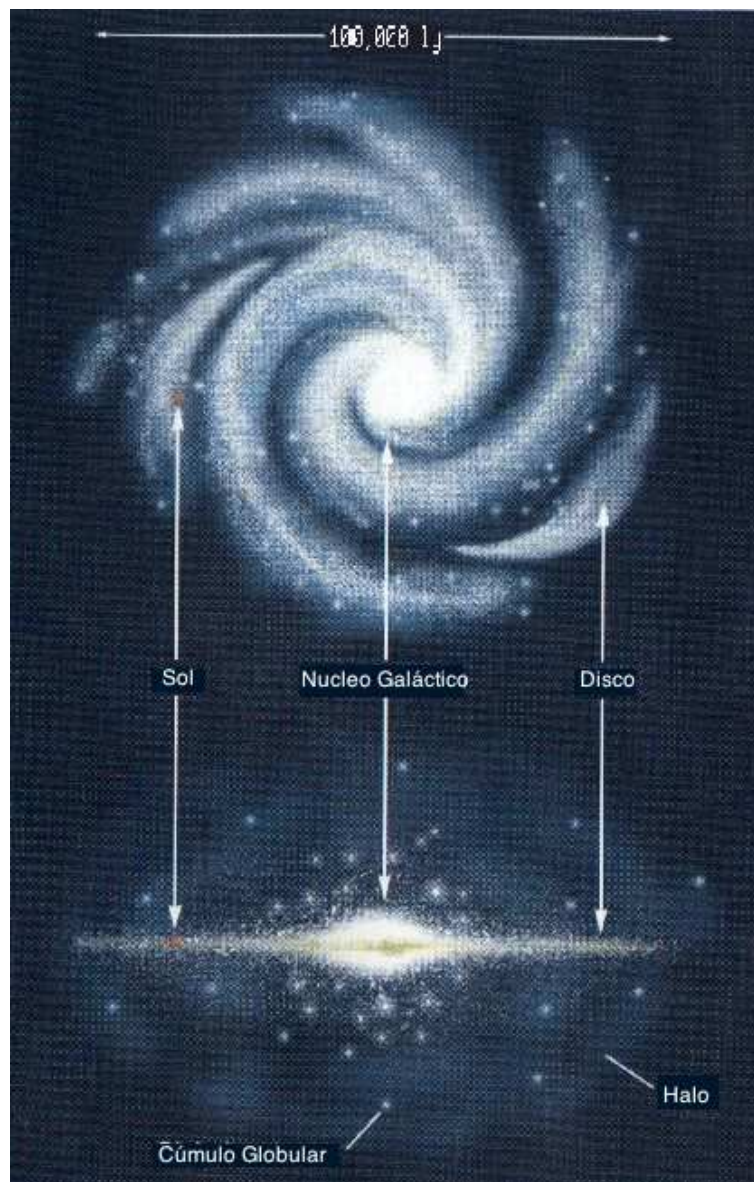


Figura 6. Componentes de nuestra Galaxia. El núcleo galáctico tiene la mayor densidad estelar con 3 estrellas por cada año luz cúbico, mientras que la parte mas externa, el Halo tiene una densidad de 1 estrella cada 300 años luz cúbicos.

Nuestra Galaxia pertenece al llamado “grupo local” compuesto por unas 30 galaxias mas, de las cuales las mas importantes son Andrómeda, la galaxia del Triángulo y la Vía Láctea.

Andrómeda se acerca a la Vía Láctea a una velocidad aproximada de 500.000 Km/hr, con lo que se estima ambas colisionaran en unos 5.000 millones de años más, conformando una nueva galaxia mayor; “Lactromeda”.

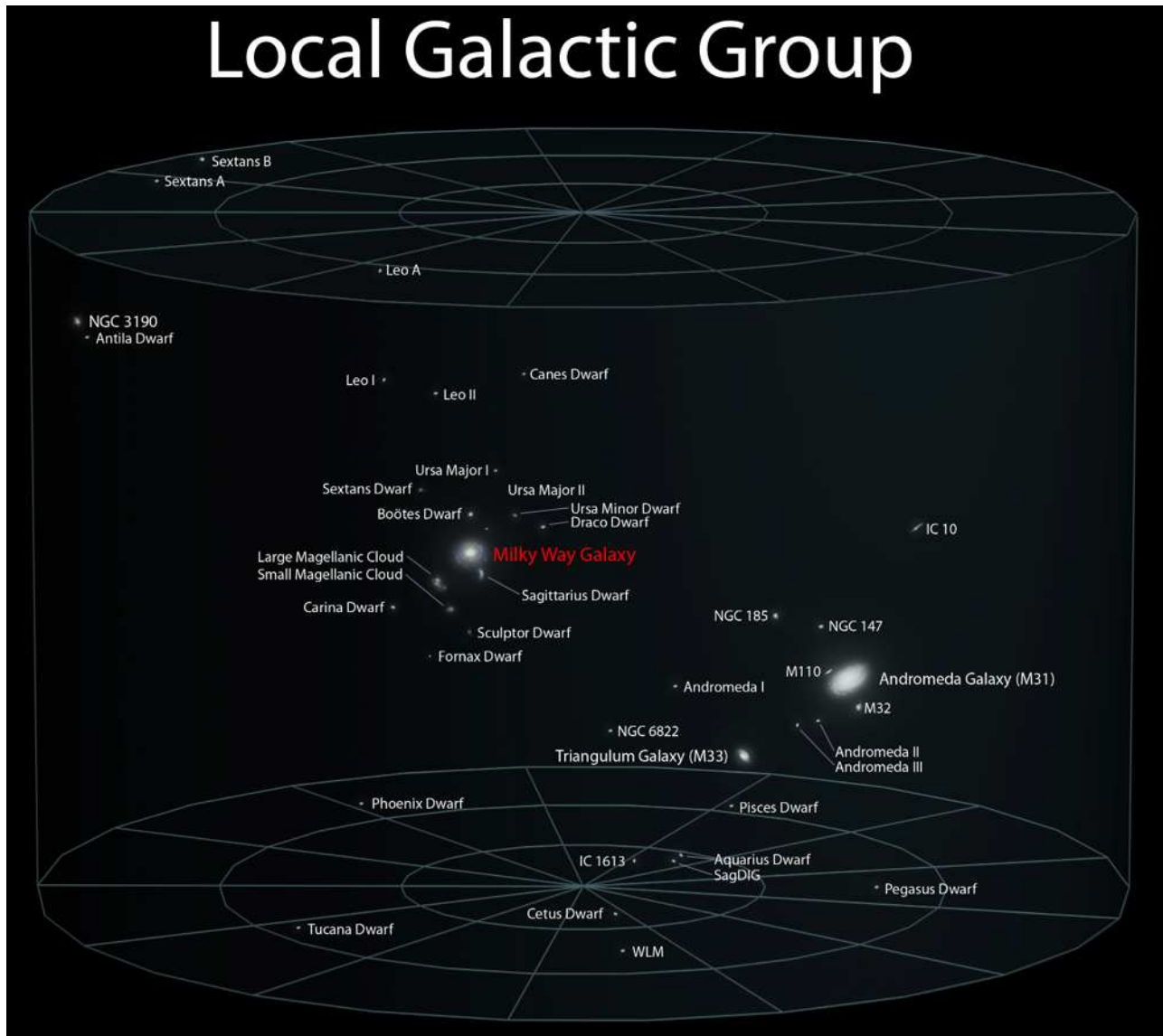


Figura 7. Representación de la ubicación aproximada, no a escala de las galaxias que componen nuestro grupo local.

III. Constelaciones



Figura 8. De izquierda a derecha: Constelación de Orión donde se encuentra el conocido asterismo “las 3 Marías” y la nebulosa del mismo nombre. Ahí también se encuentra la súper gigante roja Beetlejuice, que se espera será la próxima gran supernova que ocurrirá en la Vía Láctea. Centro, Grabado de Orión de la Uranometria de Johann Bayer (1603). Derecha, Grabado de Orión de la Uranographia de Johannes Hevelius (1690).

Las estrellas se ven desde nuestro punto de vista en la tierra como si ocuparan un mismo plano, donde unas son más grandes y brillantes que otras y si se hace el ejercicio de juntarlas con líneas imaginarias, se pueden crear figuras. Este ejercicio lo han hecho los hombres en todas las civilizaciones, y los patrones que así se han creado se conocen como Constelaciones.

En 1919 se formó la Unión Astronómica Internacional. Su misión, de acuerdo con lo que indica su página, es *“promover y salvaguardar la ciencia de la astronomía en todos sus aspectos a través de la cooperación internacional”*. En 1922 estableció la forma de sectorizar el cielo con 88 constelaciones que limitan las regiones de la bóveda celeste como lo hacen los continentes en la tierra. Se consideraron las 48 constelaciones que Claudio Ptolomeo incluyó en su catálogo estelar del Almagesto escrito a mediados del siglo II. Estas constelaciones mayormente del hemisferio norte con nombres como Orion, Casiopea y Andrómeda, eran conocidas desde tiempos prehistóricos y provienen de las culturas griega arcaica, sumeria y egipcia. Varias constelaciones del hemisferio sur, con nombres menos épicos como Maquina Neumática, Telescopio y Retículo, fueron bautizadas por astrónomos viajeros en los siglos XVII y XVIII.

Las constelaciones se usaron durante siglos para navegar y por los astrónomos para ubicarse en el cielo. Hoy las coordenadas ecuatoriales e instrumentos más modernos han reemplazado estos métodos, sin embargo aún siguen estando vigentes para los aficionados. La Cruz Del Sur, por ejemplo, sigue siendo útil para encontrar el Sur geográfico. Proyectando 4,5 veces el palo más largo de la cruz, desde la estrella α crux y bajando perpendicular al horizonte, encontramos el Sur.

Las constelaciones zodiacales son aquellas por las cuales pasa la línea de la eclíptica durante el año. La eclíptica es una línea que se puede proyectar cruzando el cielo, por donde se ve desplazarse el Sol, los planetas y la Luna. Es donde ocurren los eclipses.

Los antiguos astrónomos establecieron las fechas en las cuales el Sol transitaba por cada constelación zodiacal registrando al atardecer cuando ella baja en el horizonte justo después del Sol, y cuando al amanecer ésta sube en el horizonte justo antes de que el Sol lo haga. En función de esto, la astrología propone que la ubicación de la eclíptica el día de nuestro nacimiento determinaría nuestras características de personalidad e incluso nuestro destino.

El problema con esto, mas allá de lo complejo que es determinar la influencia que pueda ejercer sobre nuestras vidas la posición de los astros el día que nacemos, es que los signos zodiacales que se asignan por fechas están totalmente desplazados en el cielo, ya que esta observación se hizo hace 1850 años y producto del movimiento de precesión de la tierra, que es un movimiento parecido al movimiento de un trompo producto de las influencias gravitacionales del Sol, la Luna y los planetas, ha movido el eje de la tierra casi 30°, lo que corresponde a una constelación completa.

Nombre de la Constelación	Fecha del transito del Sol por la Constelación
1. Capricornus (la cabra con cuerpo de pez)	entre el 19 de enero y el 18 de febrero.
2. Aquarius (el aguador)	entre el 18 de febrero y el 13 de marzo
3. Pisces (los peces)	entre el 13 de marzo y el 20 de abril.
4. Aries (el carnero)	entre el 20 de abril y el 13 de mayo.
5. Taurus (el toro)	entre el 13 de mayo y el 21 de junio.
6. Gemini (los gemelos)	entre el 21 de junio y el 20 de julio.
7. Cancri (el cangrejo)	entre el 20 de julio y el 10 de agosto.
8. Leo (el león)	entre el 10 de agosto y el 16 de septiembre.
9. Virgo (la virgen)	entre el 16 de septiembre y el 30 de octubre
10. Libra (la balanza)	entre el 30 de octubre y el 22 de noviembre.
11. Scorpius (el escorpión)	entre el 22 de noviembre y el 29 de noviembre.
12. Ophiuchus (el serpentario)	entre el 29 de noviembre y el 17 de diciembre.
13. Sagittarius (el arquero)	entre el 17 de diciembre y el 19 de enero.

Tabla 1. El Sol transita por 13 de las 88 constelaciones durante las fechas indicadas en la Tabla.

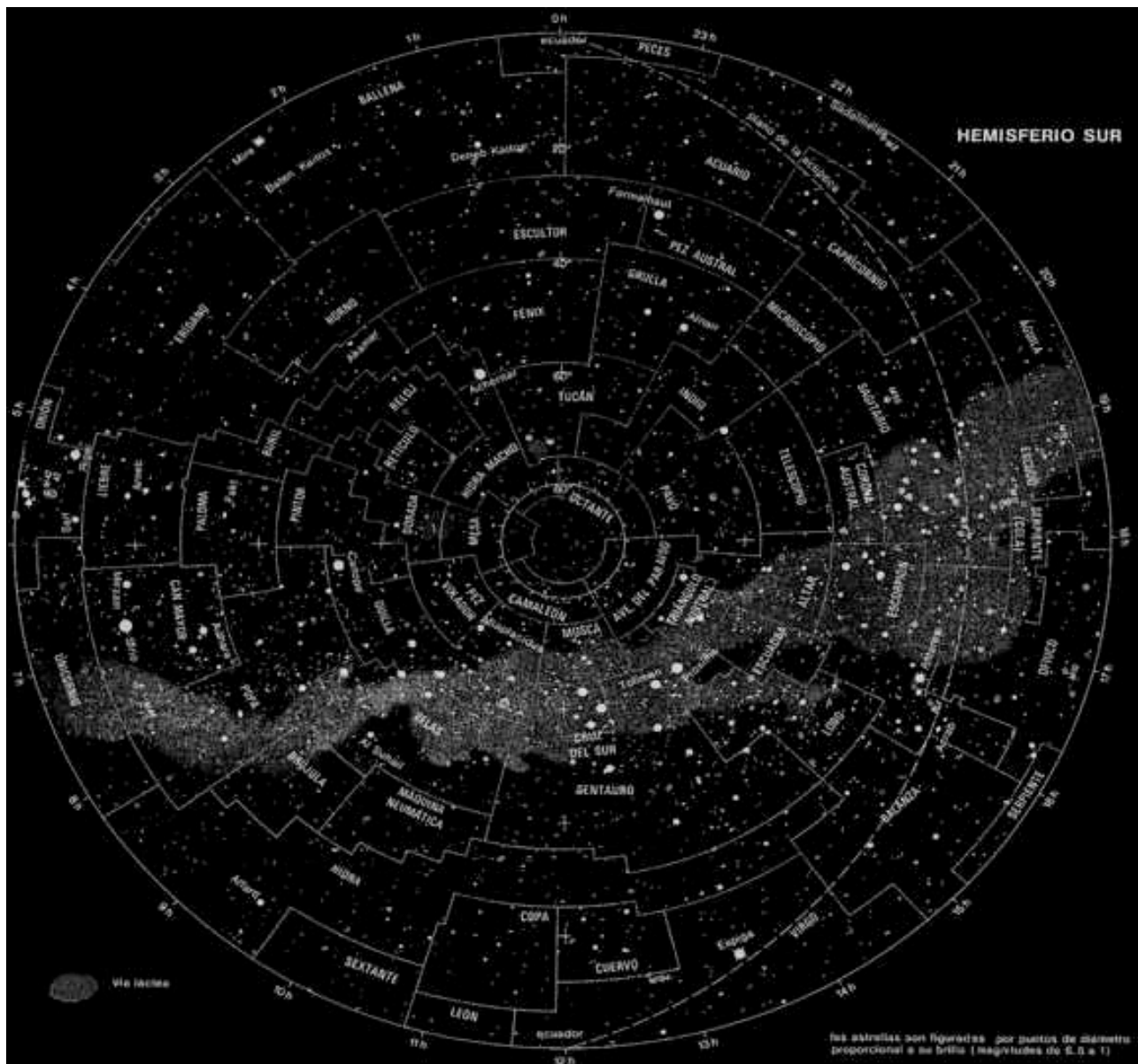


Figura 9. Límites de las constelaciones observables desde el hemisferio sur. Cartas de la UAI.

IV. Supernovas

Las supernovas son la espectacular muerte de una estrella. En los violentos procesos que conducen a la muerte de la estrella se producen todos los elementos mas pesados que el helio que componen el Universo. Se estima que en todo el Universo ocurre una supernova por segundo.

Para entender mejor las supernovas es necesario saber cómo se forman las estrellas.

En el espacio interestelar de las galaxias existen nubes moleculares a muy bajas temperaturas formadas por gas y polvo las cuales al ser perturbadas por el paso de una estrella, o por una que explotó en las cercanías (una supernova), comienzan a contraerse gravitacionalmente. Esto provoca que la nube se empiece a fragmentar en nubes más pequeñas y se formen núcleos donde el gas se empieza a comprimir lo que aumenta la densidad de las nubes. Al aumentar la densidad, la temperatura también aumenta.

Mientras el núcleo se contrae, empieza a rotar cada vez más rápido y, ya que tiene una mayor densidad, la probabilidad de colisión de átomos aumenta, lo que sigue aumentando la temperatura.

A medida que la temperatura aumenta, las colisiones son más frecuentes, por lo cual los átomos pierden sus electrones y la materia formada se convierte en plasma. Todas las estrellas están formadas por plasma, el cuarto estado de la materia.

Si la nube contraída gravitacionalmente logra ser lo suficientemente masiva, la temperatura en el centro llegara un valor critico, que es cercano a los 10 millones de grados Kelvin. A estas temperaturas, los átomos que han perdido sus electrones se mueven a altas velocidades, los protones de los núcleos logran vencer la repulsión eléctrica y comienzan a fusionarse lo que genera enormes cantidades de energía. En ese momento se dice que ha nacido una estrella.

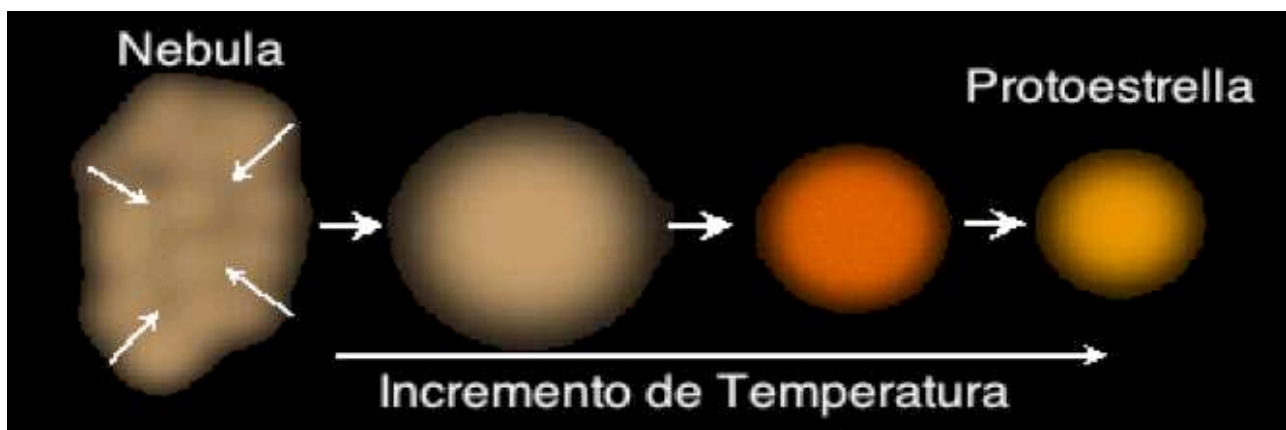


Figura 10. Ciclo de formación de una estrella.

Supernovas Tipo II³

La cantidad de masa que las estrellas logran acumular durante su formación es determinante para el tiempo que llegarán a vivir y el tipo de muerte que tendrán.

Solo las estrellas con al menos un 8% de la masa de nuestro sol, esto es $1,6 \times 10^{25}$ Kg. (la masa del sol es de 2×10^{30} Kg.), logran producir las reacciones nucleares para su ignición. Mientras menos masa acumulen, más eficiente será el consumo de ésta en forma de combustible, pero no fusionarán elementos muy pesados. Sin embargo las que tengan mas de 8 masas solares, quemarán todo su combustible rápidamente llegando a terminarlo en algunos casos en apenas 10 millones de años y al final de su vida formarán todos los elementos presentes en el Universo.

Los procesos de fusión termonuclear son los que permiten que una estrella brille. Los átomos de hidrógeno al estar sometidos a las enormes condiciones de temperatura y presión en el núcleo de la estrella comienzan a fusionarse en helio.

4 átomos de hidrógeno son necesarios para formar un átomo de helio. Sin embargo, si se pesan los 4 átomos de hidrógeno se verá que pesan más que el átomo de helio. Esta diferencia de masa se ha transformado en energía, tal como lo establece la mas famosa de las formulas del siglo XX planteada por Einstein; $E=mc^2$ (figura 11).



Figura 11. Proceso de formación de átomos de helio desde la fusión de 4 átomos de hidrogeno

Esta energía liberada que empuja hacia afuera es la que mantiene en equilibrio a la estrella, impidiendo que su masa la haga colapsar gravitacionalmente sobre si misma. A esto se le llama equilibrio hidrostático. Sin embargo, las estrellas de más de 8 masas solares, tal como se dijo antes, consumen rápidamente su combustible. Una vez que su núcleo esta formado solo de átomos de helio, estos se empiezan a fusionar para formar carbono, luego oxígeno, neón, magnesio, y silicio en una secuencia en la que se van agregando unos elementos a otros, formando capas sucesivas hacia el exterior de la estrella y produciendo aún energía (figura 12).

³ Se analizarán solo las supernovas tipo II, pues este tipo de supernova se correlacionan con los otros temas a tratar más adelante en este trabajo

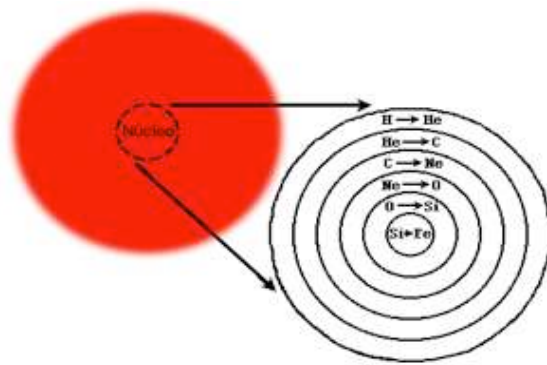


Figura 12. Capas de los elementos que se van formando durante la vida de la estrella.

Pero al llegar al hierro, el elemento más estable de todos, la estrella ya no produce más energía con lo que pierde su fuente principal de equilibrio. Entonces las condiciones de presión aumentan enormemente causando que los protones que forman los núcleos atómicos empiecen a capturar los electrones libres convirtiéndolos neutrones. Esto causa la contracción del núcleo de forma violentísima; en unos pocos segundos, a una velocidad de 75 kms./segundo, el núcleo de la estrella pasa de tener un diámetro similar al de la tierra a tener el de una esfera de unos 20 kms. Este colapso del núcleo es tan rápido que las capas externas no alcanzan a participar de él, y al momento de empezar a caer hacia el centro, se encuentran de forma violenta con un “viento huracanado” de enorme energía formado de protones, neutrones y neutrinos (Figura 13.). Por lo general los neutrinos no interactúan con la materia, pero en este caso la densidad es tan alta que alcanzan a expulsar la materia de las capas externas que intentan caer hacia el centro, y en este choque de enorme energía se cocinan a fuego rapidísimo todos los elementos que están después del hierro hasta el uranio, el que tiene 92 protones en su núcleo.

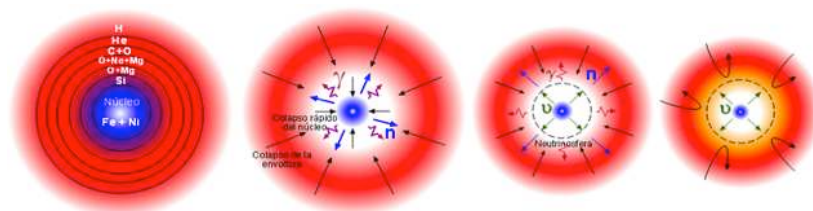


Figura 13. Secuencia del proceso de colapso gravitacional de la supernova.

Si los neutrinos alcanzan a expulsar las capas que intentan caer hacia el centro, el cadáver de la estrella que queda en el núcleo es una estrella de neutrones, que es el caso del que se hablara en el próximo tema. Los remanentes del choque de la ráfaga de neutrinos y la capas colapsantes formaran las nebulosas planetarias que contendrán los

componentes necesarios para futuras estrellas y en algunos caso sistemas planetarios como nuestro sistema solar.

En el caso que los neutrinos no alcancen a traspasar energía suficiente para hacer rebotar la materia colapsante, esta caerá hacia el núcleo de la estrella agonizante haciéndola desplomarse sobre si misma aumentando su densidad de forma descomunal, creando un objeto imposible conocido como agujero negro. Los agujeros negros serán el penúltimo capítulo de este trabajo.



Figura 14. Supernova SN1987a en la Gran nube de Magallanes. A la izquierda se muestra la supernova descubierta por Ian Shelton el 24 de Febrero de 1987 en el observatorio del cerro Las Campanas. La foto de la derecha muestra la zona de del cielo tomada antes de la explosión, y se indica con una flecha la estrella que dio origen a la supernova de la izquierda. Junto con esta estrella se lograron capturar 11 neutrinos producidos en la supernova en un laboratorio de Japón, lo que permitió corroborar los modelos propuestos para explicar los procesos involucrados en la espectacular muerte de las estrellas en forma de supernovas.

Días después del descubrimiento, el astrónomo chileno Mario Hamuy entro a trabajar en la plana científica del observatorio Cero Tololo. Desde ese momento, junto al también astrónomo chileno José Maza, comenzó el seguimiento y documentación de estos fenómenos en otras galaxias.

V. Púlsares

En el capítulo anterior se habló del cadáver que deja la muerte de una estrella en la forma de una supernova. Se dijo que los restos que quedaron del núcleo se convirtió en una esfera altamente densa. En este capítulo se hablara de este cadáver de estrella que tras su muerte se sigue lamentando en forma de pulsos magnéticos que en la tierra se detectan con radio telescopios.

La idea de una estrella de neutrones se planteo por primera vez en 1934 por los astrónomos europeos Walter Baade (1893-1960) y Fritz Zwicky (1898-1974) en un artículo donde analizaban las supernovas. Es notable el hecho de que se haya planteado esta idea tan poco tiempo después de que James Chadwick hubo descubierto el neutrón en 1932. La idea de una estrella de neutrones fue considerada como un objeto fabuloso salido de la mente de los teóricos, pero que no tenía confirmación observacional, manteniendo ese estatus por 3 décadas. Sin embargo a finales de 1967, Jocelyn Bell una estudiante inglesa que trabajaba en su tesis doctoral junto al radio astrónomo Antony Hewish, registró un pequeño patrón de pulsos regulares de precisión asombrosa (un pulso cada 1,33730113 segundos), al que llamo temporalmente *LGM1* (Little Green Man 1: Pequeño Hombre Verde 1), haciendo referencia a que se trataría de un mensaje extraterrestre. Después de varias observaciones de más de estos patrones durante el año siguiente, los astrónomos dedujeron que se trataba obligatoriamente de una estrella de neutrones girando a gran velocidad sobre su propio eje, al que se le bautizo como púlsar. Cabe mencionar que Antony Hewish ganó él solo el premio Nobel de física por este descubrimiento sin que Bell haya sido reconocida a pesar de su importante aporte.

Las estrellas de neutrones son increíblemente densas. Llegan a contener hasta 1,5 veces la masa del sol en una esfera de entre 10 a 20 Kms. de diámetro. Si se pudiera sacar un cubito de esa estrella del tamaño de un cubo de azúcar, este pesaría 100.000.000 de toneladas...

Las estrellas, así como la tierra, tienen campos magnéticos. Las estrellas giran sobre su propio eje a velocidades que aumentaran a medida que se contraen (este efecto se llama conservación del momento angular y lo aprovechan, por ejemplo, los patinadores. Cuando están girando, al cerrar sus brazos, incrementan la velocidad de giro). En el caso de las estrellas de neutrones, su altísima condensación hace que giren hasta cientos de veces por segundo, a una velocidad que puede llegar hasta los 70.000 km/s. La contracción de la estrella hace que su campo magnético también se contraiga intensamente, provocando que sus electrones se aceleren a velocidades cercanas a la velocidad de la luz, haciéndolos radiar en forma de ondas de radio, que son las que se detectan con los radio telescopios especialmente diseñados para capturar esta parte del espectro electromagnético.

Combinando el efecto de la radiación emitida por el intensísimo campo magnético con la rotación de la estrella, se le da una explicación a los pulsos observados por los radio astrónomos.

El año 1054, astrónomos chinos documentaron una supernova que se podía ver incluso durante el día en la constelación de Tauro. En el centro de los remanentes de esta supernova, conocidos como la Nebulosa del Cangrejo, se aloja un púlsar que gira sobre su eje a 30 revoluciones por segundo.

Todos los pulsares son estrellas de neutrones, pero no todas las estrellas de neutrones son pulsares. Las estrellas de neutrones pueden derivar también en otros objetos magníficos y monstruosos como los magnetares. Básicamente consisten en estrellas de neutrones que pueden convertir su energía rotacional y la temperatura que generan en un campo magnético tan potente, que si estuviera a unos 1.000 km. de la tierra, este nos sacaría todos los átomos de hierro de nuestra sangre.



Figura 15. Púlsar de la Nebulosa del Cangrejo. Esta imagen combina imágenes del telescopio espacial Hubble (rojo), e imágenes en rayos X obtenidas por el Telescopio Chandra (azul).

VI. Agujeros Negros

Existen 4 fuerzas fundamentales en el Universo: la fuerza nuclear fuerte, que es la responsable de mantener los núcleos de los átomos unidos, la fuerza nuclear débil, responsable de la desintegración de los átomos y la radiactividad, la fuerza electromagnética, responsable de las transformaciones químicas y físicas de la materia y la fuerza gravitatoria, responsable de atraer los cuerpos unos a otros.

La fuerza de gravedad fue descrita por Newton en la ecuación

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

Donde:

F= Fuerza de Atracción

G= Constante gravitacional ($6,67 \times 10^{-11}$)

$M_1 M_2$ = Las masas de los objetos

D^2 = La distancia al cuadrado entre los objetos

Esta formula nos indica que la fuerza gravitacional es directamente proporcional a la masa de los objetos, esto es, aumenta cuando las masas aumentan, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellos, esto es, disminuye cuando los objetos se alejan.

Este capítulo empieza con la descripción de la gravedad porque es en los agujeros negros donde esta se manifiesta de la forma más intensa imaginable. Aunque la teoría de la relatividad hace una descripción distinta de la gravedad, donde el espacio-tiempo es deformado por la materia como lo haría una bola de acero en una sábana colgada de sus 4 extremos, mantener la imagen mental de 2 objetos siendo atraídos por sus masas nos permite entender mejor lo que significa esto.

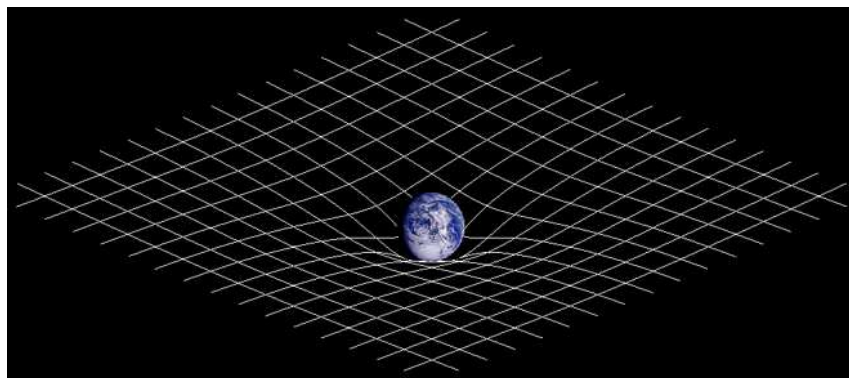


Figura 16. Representación esquemática bidimensional de la deformación del espacio-tiempo en el entorno de la Tierra.

Los agujeros negros nacen del colapso nuclear de una hipernova, un tipo de supernova con masa mayor a 20 masas solares, y los de tipo supermasivo, de la colisión de galaxias, algo muy común en el universo primitivo. Pero partamos con los de origen estelar.

Cuando las capas externas de la hipernova caen hacia el núcleo de la protoestrella de neutrones durante el colapso final, y el “huracán” de neutrinos expulsados por el núcleo en violenta contracción no es capaz de detenerlas, estas capas incrementan la masa del núcleo más allá de su límite de equilibrio, produciendo un objeto enormemente masivo contenido en un volumen reducido, del que ni siquiera la luz⁴ puede escapar de su atracción gravitacional, razón por la que los agujeros negros son invisibles.

Los agujeros negros constituyen lo que se conoce como una singularidad, un punto donde la densidad es infinita, y el volumen es 0... Es por eso que se dice que los agujeros negros no *deben* existir. Y sin embargo existen.

Aunque no se pueden ver en el espectro de la luz que captan los telescopios, si se detectan por la radiación que emite su disco de acreción y las interacciones gravitacionales con estrellas en sus alrededores como es el caso de Sagitario A*, una fuente radio muy densa y brillante en el centro de la Vía Láctea, donde se alojaría un agujero negro supermasivo.

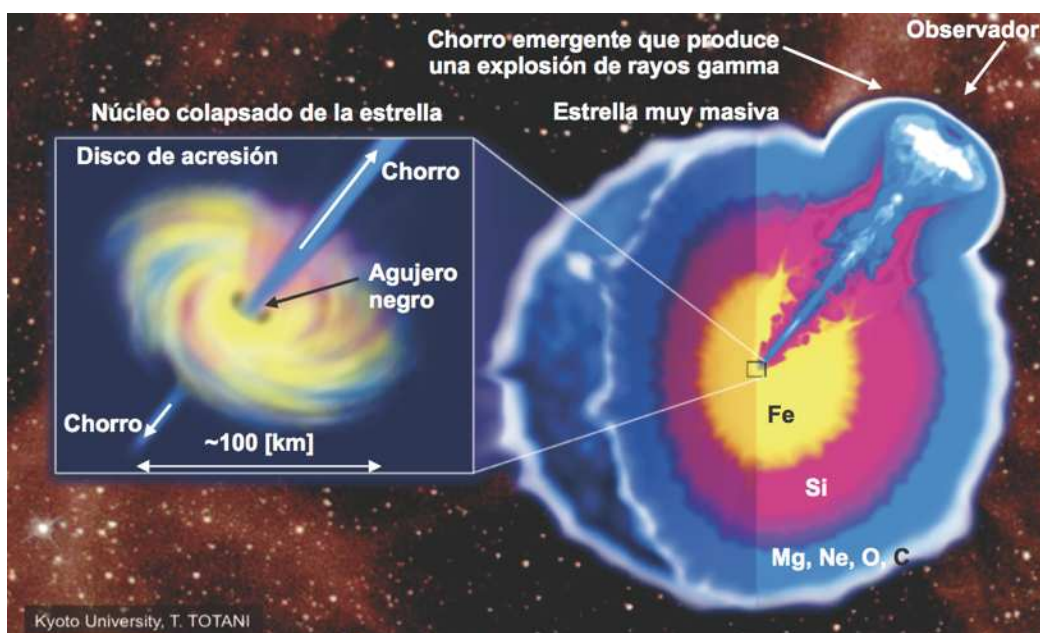


Figura 17. Modelo de hipernova, que explica la formación de un agujero negro en el núcleo en colapso de una estrella muy masiva. La formación estaría acompañada de un disco de acreción y de chorros relativistas que salen desde el interior de la estrella, perforándola. Este modelo explicaría las explosiones de rayos gamma de larga duración, siendo éstos el anuncio del nacimiento de un agujero negro.

⁴ La luz es lo más rápido que existe en el Universo, y esta formada por fotones, los que no tienen masa.

En 1913, Albert Einstein (1879-1955) mientras trabajaba en el desarrollo de teoría de la relatividad general predijo que la trayectoria de la luz era desviada por la interacción gravitatoria. En 1915, el físico y astrónomo alemán Karl Schwarzschild (1873-1916) usando las recién publicadas ecuaciones de campo de Einstein, para un cuerpo de simetría esférica, encontró que si éste se concentraba a un tamaño menor a cierto radio, conocido hoy como radio de Schwarzschild, ni siquiera la luz podría escapar (si la tierra se comprimiera al tamaño de un maní, esta se podría convertir en un agujero negro. El radio del maní sería entonces el radio de Schwarzschild para la tierra. En el caso de un ser humano, el radio de Schwarzschild sería de 1 Ångström, es decir, 1×10^{-10} mt., el diámetro de un átomo). La idea fue desechada por el propio Einstein ya le parecía que no era más que una solución matemática y no física. En 1939, Robert Oppenheimer (1904-1967), usando la relatividad general, estudió cuerpos en colapsos gravitacionales dando la explicación teórica cómo se pueden formar en la naturaleza las estrellas de neutrones y los objetos encontrados matemáticamente por Schwarzschild. Estos últimos, en 1969 fueron denominados por John Wheeler (1911 - 2008) como agujeros negros.

Los agujeros negros se clasifican por sus masas y por sus características físicas.

Por sus masas:

- *Agujeros negros supermasivos*, con entre 1×10^9 y 1×10^{19} masas solares. Se encontrarían en el corazón de muchas galaxias.
- *Agujeros negros de masa estelar*, los que nacen de una supernova.
- *Micro agujeros negros*, objetos hipotéticos, algo más pequeños que los estelares.

Por sus características físicas:

Un agujero negro tiene sólo 3 parámetros: su masa M , su carga Q y su momento angular J , con lo que clasificación física quedaría así:

- *Agujero negro de Schwarzschild*, el agujero negro más sencillo posible, que no rota ni tiene carga.
- *Agujero negro Reissner-Nordstrøm*, no gira pero posee carga eléctrica,
- *Agujero negro de Kerr*, un agujero negro en rotación y sin carga.
- *Agujero negro de Kerr-Newman*, un agujero negro en rotación y con carga

Los agujeros negros son los objetos más fascinantes del Universo. Muchas películas y libros se han escrito en torno a ellos, por que se especula que dentro de ellos se podría viajar en el tiempo o a otros lugares del Universo a través de los agujeros de gusanos, atajos que se generarían en el espacio tiempo. Todas estas hipótesis tienen sustento en la forma en que los agujeros negros rompen todos los parámetros de la física moderna.

Finalmente, los agujeros negros más masivos, que podrían llegar a tener 1.000 millones de masas solares son los responsables de producir el combustible necesario

para que los cuásares, el tema del próximo capítulo, puedan brillar con la luz de millones de soles en un área muy pequeña.



Figura 18. Representación del agujero negro en el centro del cúmulo de Fenix de 1×10^{10} masas solares, ubicado a 5700 millones de años luz de la Vía Láctea. La flecha indica lo que correspondería en tamaño a nuestro sistema solar si este estuviera encima de él.

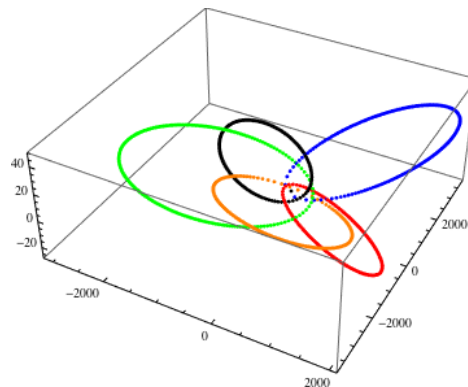


Figura 19. Diagrama de las órbitas de algunas estrellas en el núcleo de nuestra galaxia. Nuestro Sol da una vuelta a la galaxia en 250.000.000 de años. Estas estrellas tienen órbitas en un rango de apenas 15 a 47 años. La influencia gravitacional de un agujero negro masivo en el centro sería el responsable de la enorme velocidad orbital de estas estrellas.

VII. Cuásares

Cuando se hace observación astronómica, se mira al pasado. Cuando miramos nuestro sol lo vemos como era hace 8 minutos, que es el tiempo que se demora en llegar su luz a nosotros pues la luz tiene una velocidad finita establecida en 299.792.458 m/s. Si una civilización ubicada a 60 millones de años luz estuviera en este momento mirando hacia nuestro planeta, y pudieran ver la superficie de la tierra, lo que verían serían los dinosaurios.

El efecto Doppler fue descrito en 1842 por el físico austriaco Christian Doppler (1803-1853). Este describe como se perciben las ondas sonoras que se expanden en el espacio tridimensional dependiendo de la distancia a la que se encuentran los observadores. En la figura 20 se observa una representación de una ambulancia pasando desde el punto A al punto B con sus sirena activada.

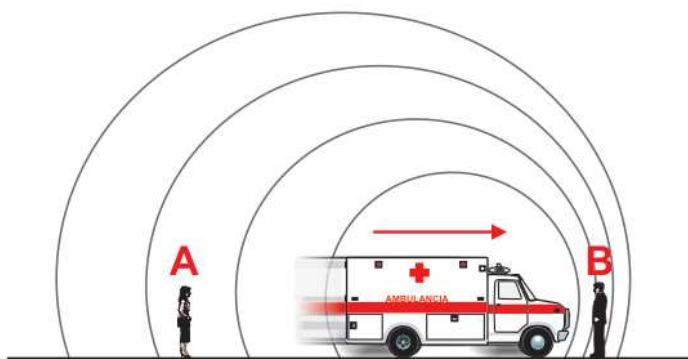


Figura 20. Efecto Doppler en el sonido

La observadora en el punto A percibe el sonido de forma más grave a medida que se aleja, esto por que las ondas de sonido tienen una longitud menor, mientras que el observador en el punto B las escucha de forma más aguda a medida que la ambulancia se acerca, ya que las ondas tienen una longitud menor que disminuyen aun más mientras más se acerca, hasta que pasa y se empieza a alejar del observador en el punto B, quien percibirá entonces el sonido de manera más grave, como lo hizo antes la observadora en el punto A.

El efecto Doppler también aparece en las ondas electromagnéticas y la luz visible corresponde a una parte del espectro de ondas electromagnéticas. El uso del efecto Doppler en astronomía se basa en el hecho de que el espectro de radiación electromagnética no es continuo. En la figura 21 se muestran 3 espectros con sus líneas espectrales de absorción, las líneas negras que atraviesan cada imagen con los colores que van del violeta al rojo. El color violeta tiene una longitud de onda menor y de mayor frecuencia que la del color rojo que tiene una longitud de onda mayor y una frecuencia menor.

En la primera imagen de arriba hacia abajo se observa el espectro cuando el observador y la fuente de luz emisora se encuentran en reposo. En el espectro del medio se observa que las líneas de absorción se desplazan hacia el rojo, indicado por las flechas e indican el alejamiento entre la fuente emisora y el observador. En la imagen de abajo, las líneas espectrales se desplazan hacia el azul, lo que indica que la fuente emisora y el observador se acercan.

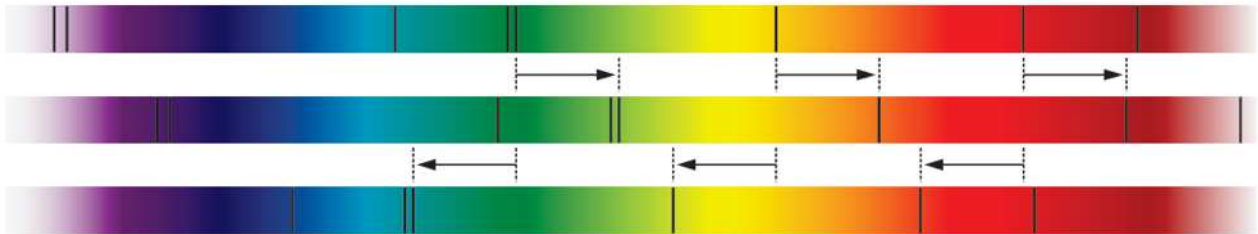


Figura 21. Espectros de la luz con sus líneas de absorción en negro.

El corrimiento al rojo de los espectros en las galaxias que observo Edwin Hubble fue lo que le permitió descubrir que las galaxias se alejan unas de otras, y lo hacen a mayor velocidad mientras mas lejos están.

El espectro electromagnético (figura 22) sigue desde el rojo a la derecha con longitudes de onda mayores y frecuencias menores, las cuales se observan con radiotelescopios.

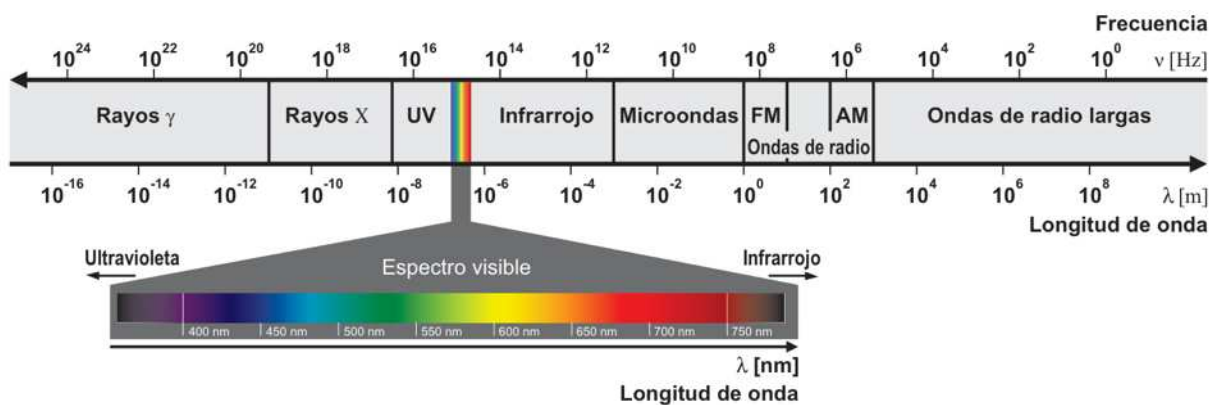


Figura 22. El espectro electromagnético.

Los cuásares son los objetos astronómicos con los mayores corrimientos al rojo jamás observados. Esta es su principal característica, su lejanía a nosotros. Pero lo más impresionante de todo es que a pesar de su lejanía, emiten enormes cantidades de energía que empequeñecen cualquier otro fenómeno astrofísico del Universo.

En la Universidad de Cambridge durante 1960, mientras se intentaba encontrar las contrapartida óptica de las estrellas en las radiofuentes, se encontraron varias radiofuentes con estrellas muy azules, esto es que, emiten mucha energía. Se catalogaron como los objetos 3C 48 y 3C 273.

En 1963, en el laboratorio Caltech el astrónomo Maarten Schmidt descubrió que 3C 273 mostraba un corrimiento al rojo muy alto, lo que indicaba que estaba a una gran distancia; 753Mpc, o sea, 958 veces mas lejos que la galaxia Andrómeda, pero aun así, su emisión energética era enorme. A estos objetos se les llamo “quasi-stellar radio source” (fuente de radio casi estelar, por que se detecta en el espectro de las ondas de radio, pero tiene apariencia de estrella).

El desafío de entender cuál es la fuente de energía de los cuásares es uno de los más complicados de la astronomía moderna. La luminosidad que logran producir es equivalente a la luz emanada por una galaxia entera, pero en un área tan pequeña (en términos astronómicos, naturalmente) como la que cubre el sistema solar. Los procesos estelares comunes no son capaces de producir tal eficiencia energética. Veamos. La fusión nuclear de 4 átomos de hidrógeno para formar un átomo de helio solo llega a un 0,7% de eficiencia; con un kilo de átomos de hidrógeno se producen 7 gramos de energía (no hay que olvidar la equivalencia de energía con masa en la formula de Einstein).

El ingrediente fundamental para el modelo que explica las fuentes de energía de los cuásares es un agujero negro supermasivo en el centro de una galaxia. En el disco de acreción del agujero negro, que es la zona donde se concentra el gas y la materia estelar que esta siendo *arrastrada* hacia dentro del agujero negro, la energía que se libera de la materia es del orden del 40% de eficiencia producto de que el gas que no es expulsado gira a enormes velocidades

Sin embargo, esto aún no esta del todo claro. La observación de estos poderosos y lejanos objetos ha creado controversias muy fuertes entre los astrónomos pues pone en tela de juicio la interpretación de los métodos de observación astronómica.

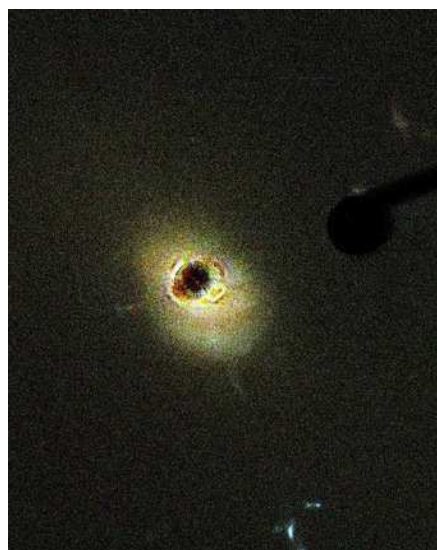


Figura 23. Fotografía del Cuásar 3C 273 tomada por el observatorio espacial Hubble.

Conclusiones

El Universo es enorme, misterioso y brutalmente enérgico. Es absolutamente maravilloso que los seres humanos hayamos logrado tantos descubrimientos y entendamos tanto hoy. Sin embargo, la ciencia aún tiene mucho por descubrir. Lamentablemente la curiosidad de los hombres ha desviado en algunos casos el camino hacia las pseudociencias, y ha dado cabida a charlatanes de todo tipo para predecir finales del mundo por alineamiento de planetas y cometas, desde la perspectiva de la ignorancia.

Una de las consecuencias más importantes de la dinámica del Universo para nosotros, los humanos que habitamos este pequeño trocito de roca que es la tierra, es la formación de todos los bloques básicos para nuestra existencia durante la vida y muerte de las estrellas. Carl Sagan decía que somos polvo de estrellas, y tenía mucha razón.

Un ejercicio de gran humildad es lograr interiorizar que es en las lejanas y enormes estrellas donde se crea el calcio de nuestros huesos, o el hierro en nuestra sangre e incluso, que el 10% de los átomos que componen nuestro cuerpo son átomos de hidrógeno el que se formó hace 13.700 millones de años (el hidrógeno se formó exclusivamente en el inicio del Universo. No se volverá a formar jamás hidrógeno. Esa es otra de las muertes propuestas para el Universo, cuando se termine todo el hidrógeno, no habrá la posibilidad de formar nuevas estrellas, y por la tanto, vida.)

Los minerales que el hombre ha estado explotando desde hace miles de años, y que le ha servido para el desarrollo de la civilización, se formaron también en una estrella. Se estima que la cantidad de oro que se produce en la explosión de una supernova de 8 masas solares es equivalente a la masa de 10 planetas tierra. Esto es solo lo que se produce de oro. Cantidades parecidas se forman también de otros elementos, como el zinc, mercurio, plata, platino, etc.

Todo lo que hoy somos y lo que lleguemos a ser materialmente alguna vez, tiene su origen en la violencia creadora del Universo.

Rolando Herrera Rojo
Mayo 2015

Bibliografía

- Gaspar Galaz (2013) *Galaxias, islas del Universo*. Ediciones B
- Mario Hamuy y José Maza (2010) *Supernovas. El explosivo final de una estrella*. Ediciones B.
- Déborah Dultzin (2003) *Cuásares. En los Confines del Universo*. Fondo de Cultura Económica, colección La ciencia para todos.
- José Maza (2009) *Astronomía Contemporánea*. Ediciones B.
- Jorge Ianiszewski Rojas. (2010) *Guía de los cielos australes. Astronomía Básica para el Hemisferio Sur*. Editorial Mitra.
- Brian Cox and Andrew Cohen. (2011) *Wonders of the Universe*. Harpers Collins Publishers.
- Paulina Lira, Patricia Arévalo, Nelson Padilla. (2014) *Agujeros negros en el Universo*. Editorial Universitaria.
- Shahen Hacyan (2011). *El descubrimiento del Universo*. Fondo de Cultura Económica, colección La ciencia para todos.
- Steven Weinberg (2009) *Los tres primeros minutos del Universo*. Alianza Editorial

Linkografía

- <https://briankoberlein.com/2013/09/21/massive-evidence/>
- <http://astronomia.net/cosmologia/cosmolog.htm#Contenidos>
- <http://www.fromquarkstoquasars.com/one-of-the-strangest-pulsars-weve-ever-discovered/>
- <http://www.fromquarkstoquasars.com/whats-the-difference-between-pulsars-quasars-and-magnetars/>
- <http://m.teachastronomy.com/astropedia/article/The-Quasar-Power-Source>
- <http://earthsky.org/space/this-date-in-science-martin-schmidt-discovers-first-known-quasar>

Linkografía de Fotografías

-Fotografía de Portada. The Cerro Tololo Inter-American Observatory
http://www.history.com/shows/the-universe/pictures/93183/the_universe_sn2_cerro_tolo

-Figura 1. Hubble Ultra Deep Field, HUDF
<http://www.spacetelescope.org/images/heic0406a/>

-Figura 2. Comparación de galaxias con respecto a IC 1101
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Supergalaxia_IC_1101.png

-Figura 3. Secuencia de galaxias de Hubble
http://astronomiaconangelmeynet.blogspot.com/2012_02_01_archive.html

-Figura 4. Red Sprites at La Silla Observatory
<http://www.eso.org/public/chile/images/potw1505b/>

-Figura 5. Herschel's Map of the Milky Way
<http://ircamera.as.arizona.edu/NatSci102/NatSci102/lectures/milkyway.htm>

-Figura 6. The Local Galactic Group
<https://urbantimes.co/2012/10/earths-location-in-the-universe/>

-Figura 7. The Milky Way Galaxy
<http://casswww.ucsd.edu/archive/public/tutorial/MW.html>

-Figura 8. Orion Astronomia Elemental Volumen 1
<http://astronomia-elemental.blogspot.com/p/descarga.html>

-Figura 9. Cartas de la UAI
<http://vidaypoesia.com/astrofisica.htm>

-Figuras 10, 11, 12 y 13 sacadas del artículo "Formación de elementos en los interiores estelares"
http://astronomia.net/cosmologia/stellar_a.htm

-Figura 14. Supernova 1987A
<https://www.hzdr.de/db/Cms?pOid=10483&pNid=0>

-Figura 15. Crab Pulsar

<http://www.spacetelescope.org/images/opo0224a/>

-Figura 16. Spacetime curvature». Publicado bajo la licencia CC BY-SA 3.0 vía Wikimedia Commons - http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spacetime_curvature.png#/media/File:Spacetime_curvature.png.

-Figura 17. Modelo de hipernova Astronomía Elemental Volumen II: Astrofísica y Astrobiología Isaías Rojas Peña. Modificado de T. Totani, Kyoto University.
<http://astronomia-elemental.blogspot.com/p/descarga.html>

-Figura 18. Central black hole of Phoenix Cluster

<http://www.fromquarkstoquasars.com/10-amazing-facts-really-know-black-holes/>

-Figura 19. S-cluster stars

<https://briankoberlein.com/2013/09/21/massive-evidence/>

-Figuras 20, 21 y 22 Astronomía Elemental Volumen II: Astrofísica y Astrobiología Isaías Rojas Peña

<http://astronomia-elemental.blogspot.com/p/descarga.html>

-Figura 23. Quasar 3C 273 as imaged by the Hubble Space Telescope's Advanced Camera for Surveys

http://hubblesite.org/gallery/album/entire_collection/pr2003003a/