

EL UNIVERSO SOBRE MÍ

*Quiero vivir, quiero gritar,
quiero sentir el Universo sobre mí.
Quiero correr en libertad, quiero llorar de felicidad.
Quiero vivir, quiero sentir el Universo sobre mí
como un náufrago en el mar.
Quiero encontrar mi sitio, sólo encontrar mi sitio.*

Amaral, Pájaros en la cabeza, 2005.

Nuestras vidas representan sólo un instante en el devenir del Cosmos. En el tiempo transcurrido desde la aparición de los primeros registros de escritura en Mesopotamia hasta la llegada del Apolo XI a la Luna el Universo no ha cambiado mucho. Algunas estrellas habrán muerto, otras habrán comenzado a brillar y algún cometa despistado habrá acabado chocando con un planeta, un satélite o incluso con el Sol. Pero esencialmente todo ha permanecido igual. Los seres humanos pasamos como una exhalación en el tiempo cósmico. Aún así, la evolución ha conseguido crear unos seres que son capaces de reflexionar sobre sus orígenes, sobre su modesta posición en el espacio y en el tiempo y sobre su propia mortalidad.

A veces pienso estas cosas al mirar las estrellas. Mucha gente, para relajarse, va al cine, sale de copas, hace deporte o practica yoga. Yo, desde pequeño, cogí la manía de relajarme mirando al cielo. En aquellas tranquilas noches estivales me sentaba junto a la piscina, con el sutil murmullo del movimiento del agua mientras se depuraba y el perfume de la tierra recién regada por mí mismo, quizás con algún ronroneo gatuno a lo lejos, y sólo con las luces de las estrellas, allá arriba, y de Córdoba, la antigua capital del Califato Omeya, en el horizonte sudoeste. Mis primeras incursiones científico-filosóficas sucedieron allí, en ese privilegiado emplazamiento astronómico de la sierra cordobesa. En aquellos casi antediluvianos tiempos aún no existía ese gran invento que es internet. Los telescopios y sus accesorios, desde buenos oculares hasta cámaras de fotos, eran difíciles de conseguir. Incluso no proliferaban los libros de Astronomía, aunque sí los de astrología; desgraciadamente algunas cosas no evolucionan. Así, con un modesto telescopio amarillo medio destartado, unos buenos prismáticos, una docena escasa de libros astronómicos, un planisferio y mucha imaginación comenzó mi aventura personal entre las estrellas y un sinfín de reflexiones de ese *Universo sobre mí*.

Me es difícil pensar en esos tiempos de juventud sin exhalar algún suspiro de melancolía, pero puedo decir, creo que sin miedo a equivocarme, que esas noches me forjaron tanto como persona como científico. Allí arriba había todo un Universo por descubrir. Estrellas y planetas. Cometas vagabundos y asteroides esquivos. Cúmulos de estrellas, nebulosas difusas y galaxias lejanas. Yo mismo estaba constituido por polvo de estrellas: algunos de los átomos que configuran mi ser fueron los productos de estrellas que vivieron y murieron hace miles de millones de años. El propio Universo es vasto, gigantesco, inmensurable. Dentro de mí, a una escala inferior a los átomos, existe el universo de lo muy pequeño, tan fuertemente acoplado al mundo de las galaxias y los cúmulos de galaxias que no se puede entender uno sin el otro. Son reflexiones profundas para un chaval con apenas trece primaveras.

No sé cuándo decidí ser astrónomo, pero seguro que fue durante algunas de aquellas mágicas noches de verano. Ahora estoy aquí, de nuevo ante el vértigo del folio en blanco, escribiendo en *Word* lo que luego pase a *Latex* e incluso traduzca al inglés. Supuestamente, la escritura de una tesis doctoral es la consagración de todo científico. Pero para llegar aquí he tenido que pasar un largo proceso. Durante estos años me he convencido de que la investigación sin la divulgación del quehacer científico no tiene mucho sentido. Por esta razón, antes de entrar en esas cosas tan específicas como son las galaxias Wolf-Rayet, en una sucesión casi interminable de ecuaciones, tablas, gráficas, datos, números, letras griegas, medidas fotométricas, líneas espectrales y referencias, no me puedo resistir en contar, de la forma más sencilla que pueda, qué son esos puntitos de luz que nos guían desde las alturas. Lo haré como si estuviera en mi idílico paraíso, mirando hacia arriba en una noche estival, posiblemente sólo con el bañador y un pie dentro del agua. En mi caso, sustituye el agua a la fogata y el bañador a las pieles, vestimenta o armadura. No en vano, ¿no fue así como se narraron durante milenios las grandes gestas de la Humanidad?

El cielo del verano boreal

Las noches de verano son muy interesantes desde el punto de vista astronómico. En realidad todas las noches lo son; ¡hay tantas maravillas repartidas entre las constelaciones! El cielo parece girar sobre nuestras cabezas cada veinticuatro horas, consecuencia de la rotación de la Tierra sobre su eje. Esta afirmación ya es de por sí sorprendente. Lo lógico para una persona anclada en el suelo sería justo lo contrario: que las estrellas, el Sol, la Luna y los planetas giran alrededor de nosotros, que permanecemos

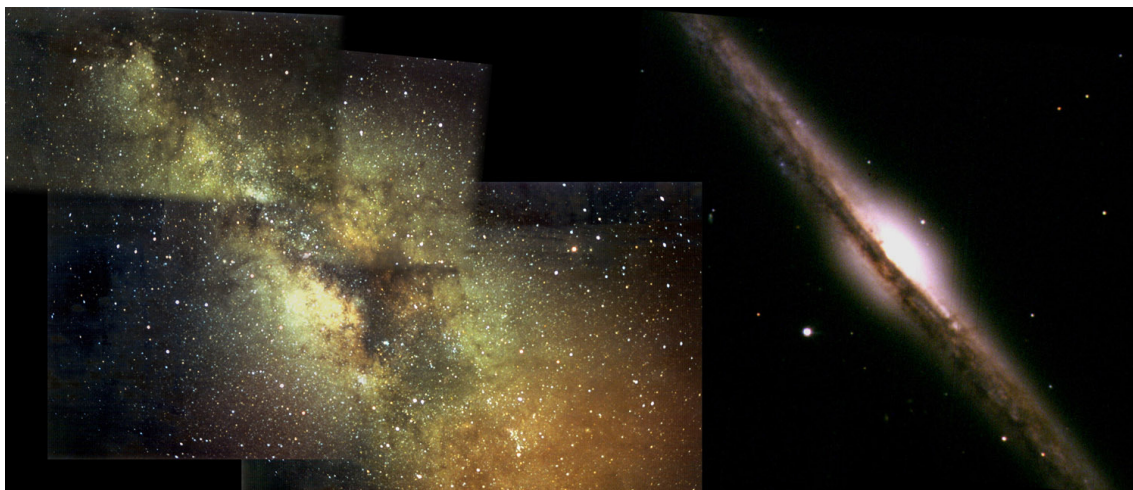


Figura 1. Dos galaxias espirales vistas de canto. A la izquierda, mosaico de cuatro imágenes de la Vía Láctea a su paso por las constelaciones del Escudo (arriba izquierda), Sagitario (izquierda) y Escorpio (derecha), tal y como se verían a simple vista en una noche oscura. Se aprecian las grandes nubes de polvo, regiones de formación estelar y cúmulos de estrellas. A la derecha, combinación de imágenes en distintos filtros obtenidas con el telescopio IAC80 de la galaxia NGC 4565. Se trata de una galaxia espiral vista casi de perfil. La comparación entre ambas imágenes es asombrosa, en ambas se aprecian tanto el abultamiento central de la galaxia (el bulbo) como los senderos de polvo del disco espiral. La única gran diferencia es que nosotros nos encontramos dentro de la Vía Láctea y que NGC 4565 la vemos como era hace 30 millones de años.

inmóviles. Pero hay más: además de girar sobre su eje, la Tierra se mueve alrededor del Sol, tardando un año en completar su órbita. El cambio de paradigma de la teoría geocéntrica a la heliocéntrica es, precisamente, uno de los mayores hitos de la Ciencia del Renacimiento (sin olvidar a Aristarco de Samos, por supuesto, que ya 250 años antes de nuestra era encontró la respuesta correcta, lástima que su legado se perdiera con la quema de la gran Biblioteca de Alejandría y cayera durante siglos en el olvido). Desde la Tierra vemos que el Sol se desplaza día a día sobre el fondo de estrellas fijas. Este recorrido aparente del Sol constituye la *eclíptica* y atraviesa trece grupos arbitrarios de estrellas, las famosas constelaciones del zodiaco. Y escribí *arbitrarios* porque esa división del cielo la han realizado los propios seres humanos, no ningún ser divino. Cada día las estrellas salen por el Este y se ocultan por el Oeste pero, dependiendo de la época del año en la que nos encontremos, veremos unas constelaciones u otras al principio de la noche. Al avanzar las horas irán surgiendo las constelaciones de las estaciones siguientes. En verano vemos las constelaciones propias del estío tras el anochecer, las del otoño pasada la medianoche y las del invierno antes del alba. El Sol se encuentra justo sobre las constelaciones de primavera, por lo que cuando éstas se levanten por el Este amanecerá. Pero siguen ahí, escondidas tras el vital brillo de la atmósfera, pudiéndose observar, por ejemplo, usando radiotelescopios.

Quizás el párrafo precedente puede parecer trivial para un astrónomo. Aún así, a mí no deja de sorprenderme, siendo la base de la organización de nuestras propuestas de tiempo a telescopios y la planificación de cualquier noche de observación. A veces lo obvio tiene su importancia.

Vega, Altair y Deneb son las estrellas más brillantes del verano boreal. Pertenecen respectivamente a las constelaciones de la Lira, el Águila y el Cisne y constituyen un asterismo conocido como el *Triángulo de Verano*. Las vemos parpadear sobre el fondo aterciopelado del espacio oscuro y prácticamente vacío. Sin ese parpadeo, consecuencia de las corrientes de aire de nuestra atmósfera, parecerían pintadas sobre la bóveda del cielo. Pero cada una ocupa una posición distinta en el espacio. Ninguna de ellas la vemos en el mismo instante porque la luz se desplaza en el vacío a una velocidad *finita*, muy grande para nosotros, pero medible. Un rayo de luz recorre casi 300 000 kilómetros en un solo segundo. Aquí es cuando nuestra mente, amoldada a la vida cotidiana de la Tierra, comienza a hacer aguas. El objeto celeste más cercano es nuestra compañera de viaje, la Luna. Está *aquí al lado*, pero la vemos como era hace poco más de un segundo. El Sol, la estrella del Sistema Solar, lo observamos como era hace 8 minutos y 20 segundos. Si por alguna catástrofe cósmica nuestra estrella explotase ahora mismo no nos enteraríamos hasta que hubiese transcurrido este intervalo de tiempo. Mirar a las estrellas es mirar atrás en el tiempo, vemos los objetos *como eran en el pasado*. Por ejemplo, allá en el cenit Vega es una estrella joven y azulada que está a 26 años luz de la Tierra. Se trata de una de las estrellas más cercanas al Sol. Por el contrario, Deneb, que aparentemente brilla un poco menos que Vega, está a más de 1600 años luz. Vemos a Deneb como era poco antes de la caída del Imperio Romano. Pero mientras que Vega tiene una luminosidad 52 veces superior a la del Sol, Deneb brilla como si aglutinásemos la luz procedente de 62500 soles. Altair está más cerca, a 17 años luz; su brillo es sólo 11 veces superior al solar. Este juego de cifras se extiende al resto de las luces parpadeantes del cielo. Y podrás comprobar que esta noche sin luna vemos miles.



Figura 2: Dos ejemplos de nebulosas sencillas, prácticamente esféricas e ionizadas por una estrella central. A la izquierda, la nebulosa Cocoon, IC 5146, en el Cisne, observada con el telescopio de 2.2m del Observatorio de Calar Alto. A la derecha, la impresionante nebulosa Trífida, M20, en Sagitario. Los colores representan distintos elementos químicos: el azul al oxígeno doblemente ionizado, [O III], el verde al hidrógeno ionizado, H α y el azul al azufre una vez ionizado, [S II]. Las diferencias en colores nos dicen que las propiedades de la estrella central son distintas.

Deneb es un nombre árabe. Significa *cola*, representando justamente la cola del Cisne. Esta constelación se sitúa en plena Vía Láctea, esa banda lechosa que corta el cielo en dos. La vemos subir desde el horizonte Norte, donde se sitúa Casiopea; atraviesa el Cisne cerca del cenit y se adentra por las constelaciones del Escudo, Sagitario y Escorpio al caer hacia el horizonte Sur. Su tonalidad blanquecida es consecuencia de la combinación de cientos de miles de estrellas localizadas muy lejos de nosotros, constituyendo los brazos espirales de nuestra galaxia, el *Camino de la Leche*. Hace apenas un siglo aún se discutía si la Vía Láctea era todo el Universo o solo una más de las incontables galaxias esparcidas por el espacio. Quizás desde nuestras latitudes requiere algo de esfuerzo *creerse* que estamos viendo la proyección del disco de la Vía Láctea en el cielo, pero un abultamiento entre Sagitario y Escorpio nos puede ayudar a convencernos. En esa dirección estamos mirando al centro de nuestra Galaxia, donde se sitúa el bulbo galáctico. La visión más espectacular de la Vía Láctea sólo se consigue observándola desde el hemisferio Sur. Allí estas constelaciones zodiacales se sitúan en el mismo cenit, percibiéndose sin inconveniente el gran bulbo central y los brazos que bajan en direcciones opuestas hacia el horizonte, cuajados de estrellas y nebulosas y con asterismos tan interesantes como la Cruz del Sur, Carina o Centauro. Un poco por debajo de esta línea divisoria podrías ver las Nubes de Magallanes, galaxias satélites de la Vía Láctea. Entonces la sensación de que vivimos a las afueras de una inmensa aglomeración de estrellas, gas y polvo adquiere significado propio. Vértigo que te atrapa y te hace sentir diminuto y despreciable, sientes realmente el Universo sobre ti. Es una de las visiones más espectaculares que el ser humano puede tener de la Naturaleza. Y se consigue usando sólo nuestros ojos como instrumentos de observación.

El nacimiento de las estrellas

Muchas de las nubecillas mortecinas que encontramos si miramos hacia Sagitario son realmente nubes de gas y de polvo. Se denominan comúnmente *nebulosas*, aunque los astrofísicos las rebautizaron con el nombre técnico de *regiones HII*. Son lugares fascinantes, jirones de nubes con múltiples formas repletas de colores que emplearían una gama completa de la paleta de un pintor abstracto. Las nebulosas están constituidas básicamente de hidrógeno, el elemento más simple y más predominante de la Naturaleza, un poco de helio y pequeñas cantidades de otros elementos como oxígeno, nitrógeno, carbono, azufre, neón o hierro. Son los lugares más sagrados del Universo, pues es allí donde nacen las estrellas. Por fuerzas gravitatorias o por diferencias de presión entre unas zonas y otras, el gas colapsa y comienza a hacerse más denso y más caliente. La nube se fragmenta en multitud de pequeños cascarrones; cada uno formará una estrella de distinta masa. Por lo tanto una sola nebulosa no engendra una única estrella, sino cientos o miles o decenas de miles de nuevos astros. El Sol nació hace unos 4600 millones de años, también en una nebulosa, y con muchas estrellas hermanas. Algunas ya habrán muerto, otras quizás se encuentran ahora en el otro lado de la Galaxia.

El gas de las nebulosas *brilla* con luz propia. La explicación la encontramos en las estrellas recién nacidas: algunas son tan masivas y luminosas que emiten grandes cantidades de radiación muy energética, *excitando* el gas. Los fotones ultravioleta (las partículas de luz emitidas por las estrellas

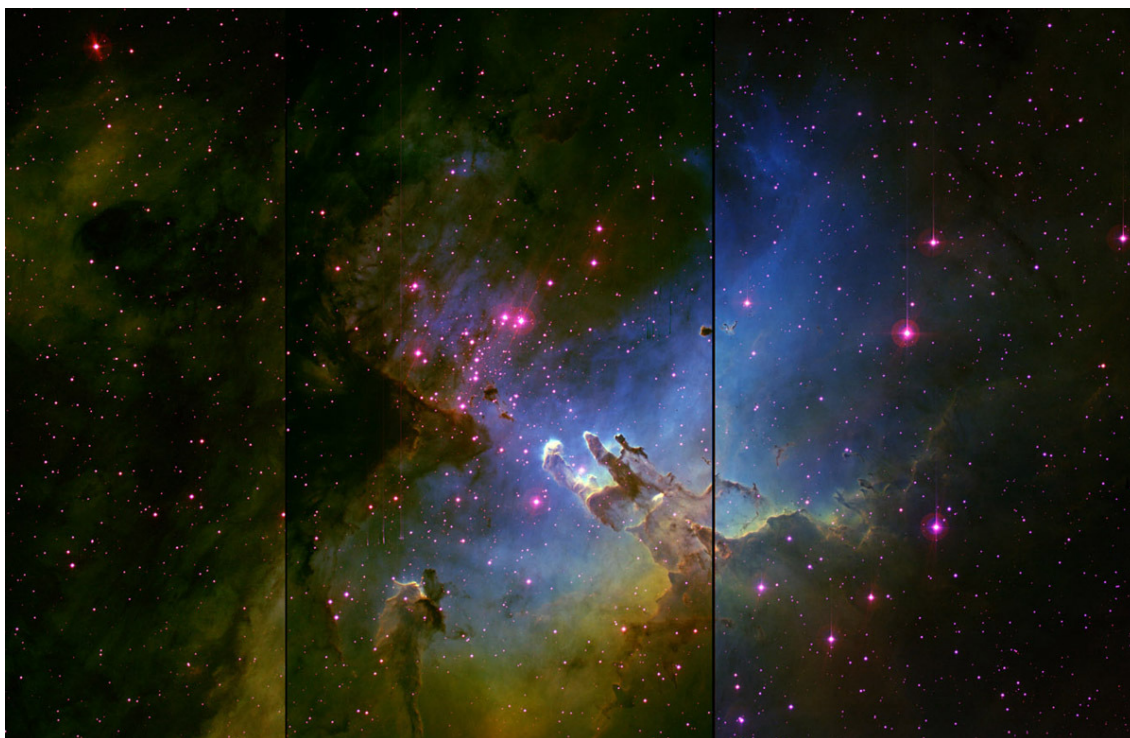


Figura 3. La espectacular nebulosa del Águila, M 16, tal y como la observa el Telescopio Isaac Newton (2.5m INT) en la isla de La Palma. De nuevo se trata de la combinación de imágenes en distintos filtros, siguiendo la misma configuración que en la Figura 2. Los gigantescos pilares de gas y polvo están siendo erosionados por los fuertes vientos estelares de las estrellas jóvenes y masivas. El cúmulo NGC 6611, situado en el centro de la imagen, está constituido de estrellas que están abandonando la nebulosa en la que se formaron.

masivas) interaccionan con los átomos de hidrógeno, separando el protón situado en su núcleo del electrón que *orbita* a su alrededor. Este proceso se conoce como *ionización*. A veces sucede justo lo contrario: un electrón que se encontraba suelto en el gas se *recombina* con un protón. En el proceso se liberan fotones con unas características muy concretas y un *color puro* totalmente determinado por la Física Cuántica. Ésas serán las partículas de luz que nosotros detectemos desde Tierra. En el visible, por ejemplo, la característica más brillante es la famosa línea del hidrógeno alpha, $H\alpha$, localizada en la zona roja de nuestro arco iris. Por esta razón los colores más predominantes en las fotografías e imágenes de nebulosas son los rojizos. El fenómeno es similar al que tiene lugar en el interior de los tubos fluorescentes de nuestras casas; en este caso se sustituyen los fotones ultravioleta por un flujo de electrones a gran velocidad (la corriente eléctrica) que ioniza el gas del tubo fluorescente, emitiéndose luz visible cuando sucede la recombinación. La Física es esencialmente la misma.

A veces los electrones sueltos del gas se recombinan con otros núcleos atómicos, como núcleos de oxígeno, nitrógeno o azufre. Estos elementos proporcionarán distintas señales, cada una distinta de la otra, cada una con un *color* característico que las hace totalmente identificables. Ésta es la magia de la luz: aunque para nosotros es totalmente imposible ir a una nebulosa para coger una muestra y analizarla en los laboratorios, podemos estudiar la química del gas sólo analizando la luz que nos llega. Y no sólo la química, sino otras propiedades físicas como la densidad del gas, su temperatura, su movimiento o incluso su masa. Aún encontrándose a cientos o millones de años luz de distancia podemos saber de qué sustancia están constituidas las estrellas, las nebulosas y las galaxias.

El proceso de la formación estelar es uno de los temas claves de la Astrofísica. Se estudia en las nebulosas cercanas, en los discos de las majestuosas espirales del universo local y en las galaxias más lejanas (y, por tanto, antiguas) que se detectan. La mayoría de los detalles aún se desconocen: vamos poco a poco, con mucha paciencia, arrancándole los secretos a la Naturaleza. La labor del científico es, de hecho, *modelar* la Naturaleza, intentar explicar usando las leyes físicas y las sólidas ecuaciones matemáticas cómo son las cosas que nos rodean. Las teorías científicas deben contrastarse con la experimentación y la observación, no nos vale creer *por acto de fe*. Si una teoría no funciona se rechaza y se busca una explicación alternativa. Podemos, por ejemplo, *suponer* que las nebulosas son esféricas y poseen una única estrella brillante en su centro, y así explicar qué es lo que estamos observando. Pero las nebulosas, al igual que les ocurre a las nubes de la Tierra, no son nada esféricas sino que tienen formas caprichosas y curiosas, con variaciones espaciales en sus propiedades físicas y químicas. Y no están ionizadas por una única estrella, sino por varias, distribuidas aleatoriamente entre el gas. Al incrementar el nivel de resolución con la ayuda de los telescopios más potentes del mundo comenzamos a observar con detalle todas esas *inhomogeneidades* de las nebulosas. ¿Cómo se puede modelar *eso*?

Aún queda mucho camino por recorrer. Y sólo hemos hablado de las nebulosas cercanas, diminutas en comparación con nebulosas supergigantes o galaxias enteras que parecen una única nebulosa y forman decenas de estrellas al año, las galaxias *starbursts*.

Tras nacer de las nebulosas las estrellas quedan ligadas gravitatoriamente durante un tiempo, formando los denominados cúmulos abiertos. Encontramos estos agrupamientos por toda la Vía Láctea. Entre Sagitario y Escorpio son fáciles de distinguir, incluso a simple vista, M7 y M6. Más famoso es el cúmulo abierto de las Pléyades, en Tauro, que podremos ver a partir de la mitad de la noche al encontrarse en una constelación del otoño. Existen muchas leyendas y mitos sobre las Pléyades: desde los grabados de arte rupestre paleolítico en la cueva de Lascaux, fechada entre el 16.000 y el 10.000 a.C. y que podrían ser la primera representación conocida del cielo, hasta los indios de Norteamérica, que las usaban para probar la agudeza visual de sus guerreros, teniendo además un peso considerable en la elaboración de los calendarios de casi todas las culturas, especialmente la incaica. Un cúmulo abierto especialmente interesante es NGC 6611, asociado a la nebulosa del Águila, M17, en la constelación de la Serpiente. En este caso las estrellas están *abandonado* su cuna, aunque dicha nebulosa continúa formando estrellas, como las impresionantes imágenes obtenidas en la última década tanto por el Telescopio Espacial Hubble como con el complejo europeo del VLT (*Very Large Telescope*, Telescopio Muy Grande) han demostrado.

Las vidas de las estrellas

Las estrellas también evolucionan. Una vez formada la estrella entra en una fase estable que puede durar miles de millones de años. Una estrella no es otra cosa que una gigantesca cocina cósmica, en donde el hidrógeno se *fusiona* para producir helio. Esto ocurre en el mismo centro de las estrellas, en los núcleos estelares, donde las temperaturas superan los diez millones de grados y las presiones son más de un millón de veces la que provoca la atmósfera de la Tierra. En estos lugares la materia se encuentra no en estado sólido, ni líquido, ni tampoco gaseoso, sino en estado de *plasma*: los núcleos atómicos completamente separados de sus electrones. Bajo estas condiciones tan extremas cuatro protones se combinan para dar un núcleo de helio y energía. Se ha producido una reacción termonuclear de fusión.

La fuente de energía del Sol y de las estrellas era un gran misterio hasta que se desarrolló la física nuclear y Einstein formulara su famosa ecuación que relaciona masa y energía. La masa de un átomo de helio es *menor* que la suma de la masa de los cuatro átomos de hidrógeno reaccionantes. El resto de masa se ha convertido en luz, según la famosísima relación $E = mc^2$. Una pequeña cantidad de masa se convierte, gracias al factor de c^2 (que es un número MUY grande) en gran cantidad de energía. Un fotón puede tardar más de un millón de años en salir del Sol. La energía que se llevan los fotones suponen el 7% de la energía en forma de masa de los cuatro protones originales. El Sol, por ejemplo, pierde unos 4 millones de toneladas de materia por segundo, proporcionando energía suficiente para mantener a una ciudad como Nueva York durante cerca de un millón de años. Y el Sol es una estrella mediana, más bien pequeña, comparada con todas las estrellas que ahora vemos.

Conociendo la masa del Sol y la cantidad de energía que libera por segundo, podemos estimar el tiempo de vida de nuestra estrella, y concluir que aún le queda combustible para unos 5.000 millones de años y ha estado brillando durante más de 4.500 millones de años. Lamentablemente, luego hemos usado con cierta arrogancia los conocimientos aprendidos en el estudio de las estrellas para construir armas de destrucción masiva.

Las estrellas se encuentran en un doble equilibrio. Por un lado, mantienen el *equilibrio hidrostático*. Aunque la fuerza de gravedad tiende a atraer toda la materia de la estrella hacia el centro, la presión (rizando el rizo, en verdad es el *gradiente* de presión) que ejerce todo el gas es capaz de compensar esa fuerza gravitatoria. Por eso las estrellas son, en primera aproximación, esféricas. Por otro lado también se cumple el *equilibrio térmico*. Toda la energía que se produce en el corazón estelar como consecuencia de las reacciones nucleares escapa al espacio en forma de luz, fotones que se esparcen hacia las profundidades del espacio testificando el latir estelar. Por eso brillan las estrellas y por eso somos capaces de verlas a tan ingentes distancias. Precisamente, cuando el equilibrio hidrostático o el equilibrio térmico se rompen, la estrella evoluciona, encaminándose a su destino final.

La muerte de las estrellas

Todo en el Universo tiene un final y las estrellas, aunque casi eternas para nosotros, no están exentas de ello. La duración de la fase en la que una estrella permanece estable fusionando hidrógeno y creando helio (la denominada *secuencia principal*) depende fuertemente de la masa estelar: *las estrellas más masivas evolucionarán más rápidamente*. Por ejemplo, el Sol se encuentra actualmente en la mitad de su vida de unos 10.000 millones de años, pero una estrella 15 veces más masiva que el Sol quema todo su combustible en apenas 11 millones de años. Otros parámetros importantes que también influyen en la vida de las estrellas son la composición química y la velocidad de rotación, pero es esencialmente la masa el parámetro clave. El destino final de las estrellas será muy distinto para el caso de estrellas de baja masa, como el Sol, o estrellas de masa alta.

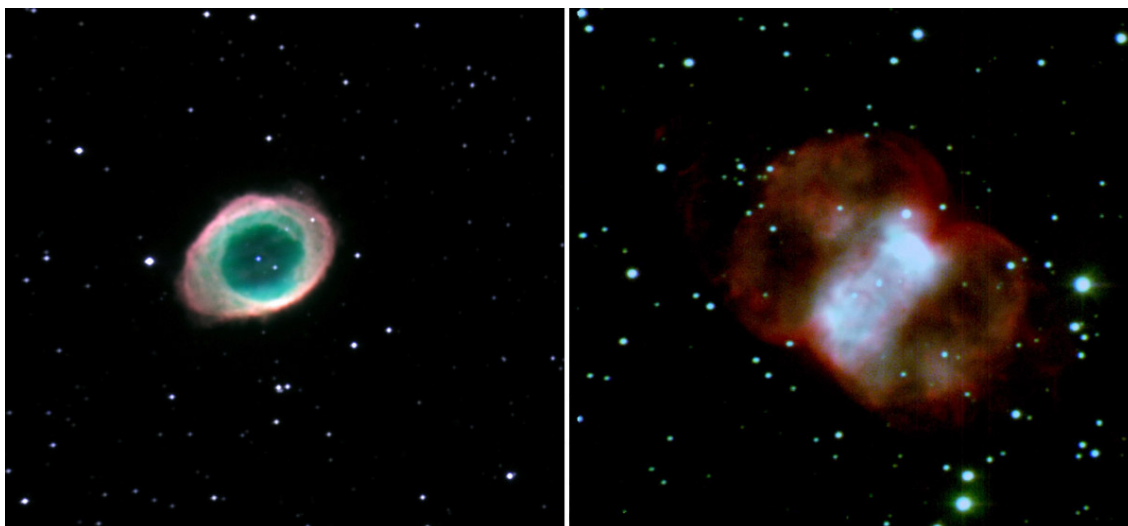


Figura 4. Dos nebulosas planetarias típicas. A la izquierda, M57, la famosa nebulosa anular de la Lira. Es el prototipo de nebulosa planetaria esférica. La enana blanca, el núcleo de la estrella moribunda, puede observarse justo en su centro. A la derecha, M76, nebulosa planetaria en Perseo, que consta de una morfología más complicada. Imágenes obtenidas con el telescopio IAC 80, en ambos casos usando el filtro $H\alpha$ para el color rojo.

Cuando el hidrógeno combustible comienza a agotarse, las capas exteriores de las estrellas se expanden y la estrella se hace más grande, cambiando de color hasta convertirse en una gigante roja. El Sol se expandirá dentro de unos 4.000 millones de años engullendo no sólo a Mercurio y Venus sino también a nuestro planeta, pudiendo llegar las capas exteriores a la órbita de Marte. La temperatura superficial de la estrella también disminuye aunque su luminosidad permanece casi constante. En estas condiciones se forman moléculas y granos de polvo, no sólo de silicio y de carbono sino también hidrocarburos que luego constituirán el polvo interestelar. Las estrellas de baja masa pierden poco a poco la envoltura que las rodea, dejando al descubierto capas de material caliente que *excita* el gas de forma similar a lo que ocurre en las nebulosas con formación estelar. Es entonces cuando se crea una nebulosa planetaria. Estos objetos, que nada tienen que ver con planetas (el nombre deriva de que al observarse con pequeños telescopios parecen pequeños discos), constituyen una de las clases más atractivas del firmamento no sólo por sus colores sino sobre todo por las caprichosas pero ordenadas formas que suelen adquirir. En estos aspectos también queda aún mucho por investigar, puesto que sólo a veces se puede explicar el origen de tan diversas morfologías. La nebulosa planetaria más famosa es M 57, la nebulosa del Anillo, perdida entre dos de las estrellas brillantes que conforman el cuerpo de la Lira de Orfeo. El gas de la estrella se expande poco a poco, alejándose y dispersándose en el espacio en un período máximo de 100.000 años, dejando libre el núcleo desnudo de la estrella moribunda. Estos objetos, que se conocen como enanas blancas, son muy compactos y sólo pueden estudiarse empleando las ecuaciones de la Mecánica Cuántica: es la gran densidad de electrones lo que impide su colapso gravitatorio y la mantiene estable. El Sol terminará sus días como nebulosa planetaria dentro de unos 5.000 millones de años y su núcleo formará una enana blanca.

Las estrellas más masivas, a partir de 8 veces la masa del Sol, son lo suficientemente grandes como para elevar mucho sus temperaturas y densidades internas, por lo que el helio (el deshecho de la quema del hidrógeno) puede fusionarse en elementos más pesados, como oxígeno o carbono. Estos nuevos elementos, a su vez, pueden llegar a combinarse en las partes más internas de la estrella en otros más pesados como neón, magnesio, sodio y silicio creándose una estructura en capas similar a una cebolla. En este proceso la estrella ha ampliado enormemente su tamaño, formando una supergigante roja. Antares, la estrella más brillante de la constelación del Escorpión, es un buen ejemplo de este tipo de estrellas. Precisamente su nombre deriva de *anti-marte* (el dios romano Marte es Ares en la mitología griega) porque su color rojizo rivaliza con el de este planeta. Y justamente las capas externas de Antares sobrepasarían la órbita de Marte si estuviese en el lugar del Sol. Otras supergigantes rojas tienen un tamaño aún mayor: Betelgeuse, la brillante estrella rojiza en el hombro occidental de Orión, es tan grande que sus capas externas llegarían hasta Saturno. El núcleo estelar de las supergigantes rojas está constituido por hierro, el elemento más estable de la naturaleza, que no puede fusionarse porque su combustión absorbería energía en vez de crearla. Llega un momento en que este núcleo se colapsa y toda la estrella explota en una titánica explosión: se ha producido una supernova. El resto del núcleo estelar constituye una estrella de neutrones o un agujero negro, objetos exóticos muy apetecibles para la ciencia ficción a la par que muy complicados de entender.

A finales de junio del año 1054 apareció una estrella muy brillante en la constelación de Tauro. Fue registrada por los minuciosos astrónomos chinos, quienes señalaron que era unas 4 veces más brillante que el propio planeta Venus y permaneció observable a plena luz solar durante 23 días. Por ende, era el

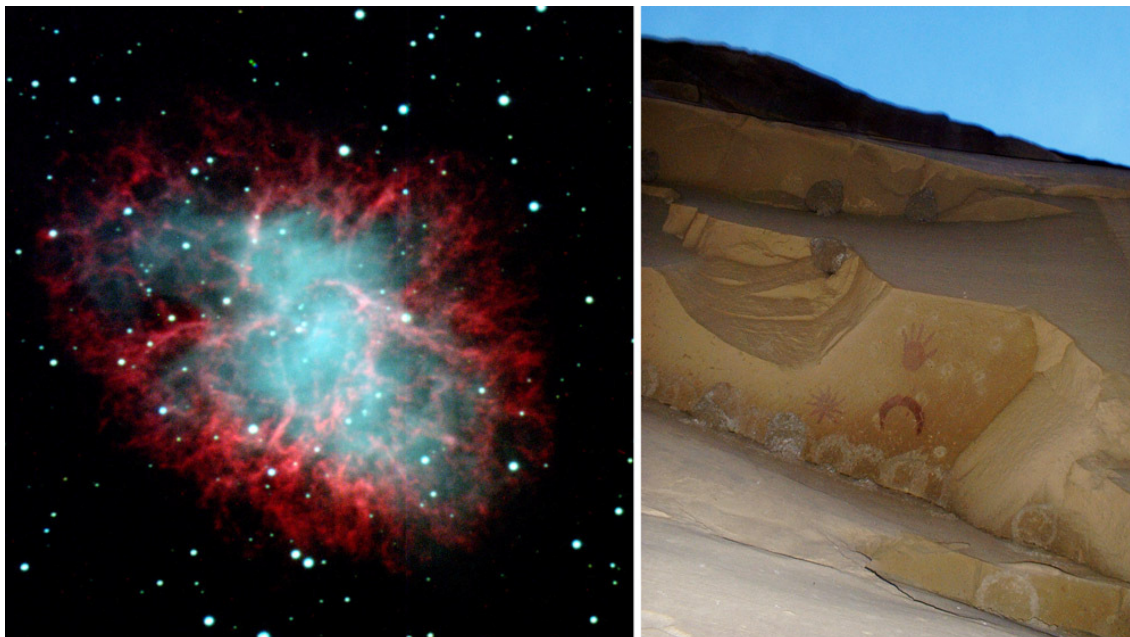


Figura 5. La nebulosa del Cangrejo (M 1), localizada en la constelación zodiacal de Tauro, constituye los restos de una titánica explosión de supernova acaecida en el año 1054. Esta imagen, obtenida con el telescopio IAC80, muestra la estructura caótica y filamentosa del hidrógeno ionizado ($H\alpha$, en rojo) que quedó después de explosión. A la derecha, pictograma dejado por los indios Anasazi en el Cañón del Chaco (Nuevo México, Estados Unidos) y que se cree representa la explosión de supernova que originó la nebulosa del Cangrejo.

objeto más brillante del cielo tras el Sol y la Luna. Se pudo seguir observando de noche durante un par de años más. Hoy sabemos que esa *estrella brillante repentina* marcaba el fin de una estrella masiva que explotó como supernova. El famoso astrofísico Edwin Hubble fue el primero que sugirió que los restos de esta colosal explosión forman la Nebulosa del Cangrejo: si se rebobina la película de la expansión de la nebulosa, se encuentra que todo el material estaba junto hacia el 1050. Según parece, la explosión también se observó desde las vastas llanuras de América del Norte Occidental, la primera vez muy cerca de una finísima luna menguante. Existe la leyenda de que un curioso pictograma de los indios Anasazi que representa una luna creciente, una estrella brillante, una mano y, cerca, el grabado de un Sol, es una representación de la supernova que originó la nebulosa del Cangrejo. Pero, sin datos adicionales, sólo podemos quedarnos con que esta historia es una *especulación simpática*: quizás sí es, pero quizás no. Esto diferencia la Ciencia de la pseudociencia: dudamos, no aceptamos algo sólo porque nos lo parezca, aunque todo apunte a que fuera así, sino que necesitamos las pruebas necesarias para concretar los hechos. Nos encantaría creer, al menos pienso yo, que el dibujo representase tal extraordinario acontecimiento cósmico. Pero sin ese *algo adicional* sólo es una mera elucubración

Aunque a mí no deja de sorprenderme que este brillante astro no fuese recogido por los astrónomos europeos. ¿Demasiadas guerras por entonces? ¿Debía el cielo permanecer puro e inmutable? A veces me estremezco al pensar que sólo unos pocos años antes de tan extraordinario suceso había sucumbido el Califato de Córdoba, donde existía una cultura científica y astronómica puntera para su época. Muchos de los nombres árabes de las estrellas que han llegado hasta nuestros días fueron dados en esta ciudad a orillas del Guadalquivir.

No obstante, sea como nebulosa planetaria o como resto de supernova, los materiales sintetizados en el interior de las estrellas retornan al medio interestelar, enriqueciendo el medio galáctico con materiales más pesados. Mientras que las estrellas de masa baja e intermedia liberan helio, carbono, nitrógeno e incluso hierro si se produce la explosión de una enana blanca que roba material a una estrella compañera, las estrellas más masivas son la principal fuente de oxígeno, neón, sodio, cloro, magnesio, argón, silicio, azufre, calcio e hierro. Cuando una estrella masiva explota como supernova se crean elementos químicos aún más pesados, como níquel, cobalto, plata, oro, platino, estaño, mercurio o uranio. Algunos de estos núcleos atómicos son radiactivos y se transmutarán en otros elementos con el paso del tiempo. Todos estos elementos químicos se mezclan con el difuso gas interestelar, creando nuevas nebulosas de las que se originarán nuevas estrellas a partir de los restos de estrellas anteriores. Es el ciclo de evolución estelar, irreversible puesto que en cada nuevo comienzo el material es mucho más rico y diverso en elementos químicos.

Tras unos pocos ciclos los nuevos soles, enriquecidos químicamente con todos los desechos de las generaciones de estrellas anteriores, pueden tener planetas a su alrededor. Incluso llega un momento en el que la química es tan variada que se crean moléculas inorgánicas, algunas ricas en carbono. Con el tiempo, las moléculas orgánicas se combinan para formar entes más sutiles, naciendo así la vida. La vida también evoluciona, alcanzando niveles de conciencia sobre su propio ser y el mundo que la rodeaba, sin



Figura 6. Nebulosa del Cuarto Creciente, NGC 6888, ionizada por la estrella Wolf-Rayet WR 138 (la brillante en el centro de la imagen). Los fuertes vientos estelares configuran esta estructura caótica y altamente inhomogénea, con filamentos y grumos de materia alrededor de la estrella central. Imagen obtenida con el telescopio 2.5m INT combinado exposiciones en los filtros B (azul), [O III] (verde) y H α (rojo).

ser consciente de que el hidrógeno de las moléculas de agua que necesitaba para vivir se había formado en el inicio del Universo, que el oxígeno que respiraba se había creado en el interior de una estrella muerta hacía miles de millones de años y que el oro de sus valiosas joyas rituales era consecuencia de las violentas reacciones nucleares que ocurrieron hace eones durante la explosión de una supernova en el otro lado de la Galaxia.

La importancia de las estrellas masivas

Entre todas las estrellas y a pesar de su reducido número (por cada estrella de masa 20 veces la solar existen cien mil estrellas como el Sol) y corto tiempo de vida (pocos millones de años en comparación con los 10000 millones de años del Sol), las estrellas masivas juegan un papel fundamental sobre el medio interestelar y la evolución de las galaxias. En primer lugar, estas estrellas son las que excitan el gas nebuloso que podemos observar a ingentes distancias en lejanas galaxias. En segundo, influyen extraordinariamente sobre el medio circundante, no sólo porque al final terminan explotando como supernova sino porque en sus fases finales desarrollan unos poderosos vientos estelares. Por último, enriquecen el medio interestelar al retornar el material procesado en su interior a lo largo de toda su vida sino también durante las explosiones de supernova. Además, se cree que las primeras estrellas del universo, nacidas sólo 200 millones de años tras el Big Bang y constituidas únicamente de hidrógeno y helio, eran muy masivas y tras su rápida muerte contaminaron pronto las galaxias con los nuevos elementos químicos sintetizados en sus hornos nucleares.

Las estrellas muy masivas son particularmente interesantes. Estrellas con masas superiores a 25 veces la del Sol atraviesan una peculiar fase después de ser supergigantes rojas y antes de explotar como supernova, desarrollando unos poderosos vientos que literalmente *pelan* la estrella. Son las estrellas Wolf-Rayet, objetos que pierden el equivalente a una vez la masa del Sol en sólo unos pocos cientos de miles de años. El gas circundante que se expande a altas velocidades está excitado por la intensa radiación que emiten las capas estelares más internas, mostrando elementos químicos como helio, oxígeno, carbono y nitrógeno, los productos de la nucleosíntesis estelar. Las estrellas Wolf-Rayet son extremadamente escasas: en nuestra Galaxia sólo se conocen 298, y sus edades no son superiores a 6 millones de años, aunque la fase Wolf-Rayet sólo dura poco más de 500.000 años. Aún así, estas estrellas modifican en gran medida su ambiente circundante y son fundamentales a la hora de conseguir una teoría consistente de la evolución estelar, pudiéndose observar en intensos brotes de formación estelar en galaxias muy lejanas a nosotros. Incluso parece que las estrellas Wolf-Rayet muy masivas son las progenitoras de las explosiones más energéticas observadas actualmente a distancias cosmológicas, las explosiones de rayos gamma o GRBs (por sus siglas en inglés).



Figura 7. Dos galaxias espirales. A la izquierda, M 96 en Leo, localizada a 41 millones de años luz. Imagen obtenida con el telescopio IAC 80 del Observatorio del Teide. Derecha, la espectacular estructura espiral de la galaxia M 101 es evidente en esta imagen conseguida con el Telescopio Óptico Nórdico (2.56m NOT), en La Palma. Localizada a 24 millones de años luz en la constelación de la Osa Mayor, posee muchas regiones con formación estelar: todas las zonas rosadas de la imagen son nebulosas en esta galaxia. Imagen obtenida combinado exposiciones en los filtros B (azul), R (verde) y H α (rojo).

El reino de las galaxias

Todas las estrellas, planetas, nebulosas y cúmulos estelares que cualquier noche vemos en el firmamento pertenecen a nuestra Galaxia, la Vía Láctea. Las galaxias son colecciones de miles de millones de estrellas, gas y polvo, unidas por la acción de la gravedad. La galaxia más cercana a la Vía Láctea, sin contar las Nubes de Magallanes y otras pequeñas galaxias enanas satélites, es la Gran Galaxia de Andrómeda, M 31. Se puede distinguir a simple vista en noches oscuras, allá en la constelación de Andrómeda. Es el objeto más lejano que podemos ver a simple vista: la luz de esa diminuta mancha blanquecina es la unión de más de trescientos mil millones de soles a dos millones doscientos mil años luz de nuestro planeta. Si en el mundo de las estrellas nos cuesta entender las ingentes distancias siderales, aún más difícil es hacerse una idea de la compleja enormidad y soledad en el reino de las galaxias. Comparado con la majestuosa vastedad del Universo, la galaxia de Andrómeda y nuestra Vía Láctea están prácticamente en el mismo sitio.

En realidad, existe otra galaxia que se puede llegar a ver a simple vista si el cielo es extraordinariamente oscuro y se posee una vista de lince: la Galaxia del Triángulo, M 33. El tamaño de este objeto en el cielo es mucho mayor que el tamaño con el que vemos la Luna o el Sol. Se encuentra a poco menos de 3 millones de años luz y es otro universo-ísla en el que las estrellas nacen, viven y mueren. Estas tres galaxias, la de Andrómeda, la Vía Láctea y la del Triángulo, junto con más de una treintena de galaxias enanas, constituyen el Grupo Local de Galaxias, nuestra pequeña parcela en el Universo. Más allá, entramos en el frío y solitario vacío intergaláctico, encontrándonos aquí y allí aglomeraciones de galaxias y grupos de galaxias de distinto tipo y que han sufrido evoluciones muy distintas. El Grupo Local se mueve, por acción gravitatoria, hacia el Cúmulo de Virgo, localizado a unos 50 millones de años luz y compuesto por más de mil galaxias. El cúmulo de Virgo es la región más densa del Supercúmulo Local, un agregado de más de 50 cúmulos y grupos en el que se incluye nuestro ya *diminuto* Grupo Local. El movimiento de las galaxias revela que parte de este supercúmulo se mueve hacia otro supercúmulo, el de Hidra-Centauro, a 140 millones de años luz. Y aún más allá siguen existiendo más y más galaxias, formando regiones complejas de grandes supercúmulos y gigantescos vacíos, constituyendo la estructura a gran escala del Universo.

Aunque se calcula que existen más de *cien mil millones* de galaxias en el Universo, cada una con un número promedio de *cien mil millones* de estrellas, todas pueden clasificarse en pocas categorías. En realidad, básicamente en tres tipos: galaxias espirales, galaxias elípticas y galaxias irregulares. Dentro de estas clases existen subdivisiones, como las galaxias espirales barradas, las galaxias lenticulares o las galaxias esferoidales enanas. La Vía Láctea es una galaxia espiral, nosotros vivimos entre dos de sus brazos externos, a unos 30.000 años luz de distancia de su centro. Las galaxias espirales se identifican porque poseen un disco en rotación donde se crean los brazos espirales y se concentran las estrellas más jóvenes y las regiones de formación estelar, junto con mucho polvo interestelar. Coexisten con estrellas más evolucionadas que se crearon mucho tiempo atrás y aún no han desaparecido. Este tipo de galaxias poseen mucho gas hidrógeno, que puede dar lugar al nacimiento de más y más estrellas. Por el contrario, las galaxias elípticas apenas poseen gas y están dominadas por estrellas más viejas y evolucionadas, sin rastro de estrellas jóvenes. Así, los colores de las galaxias espirales son azulados, mientras que las galaxias elípticas muestran tonalidades más rojizas.



Figura 8. Dos galaxias starbursts cercanas. A la izquierda, la galaxia del Cigarro, M 82, en la constelación de la Osa Mayor, localizada a unos 12 millones de años luz. Imagen obtenida por el telescopio de 0.9m de Kitt Peak (Estados Unidos) combinando exposiciones en los filtros los filtros B (azul), R (verde) y $H\alpha$ (rojo). Destaca el intenso viento galáctico que posee M 82. En su centro se han observado multitud de supercúmulos estelares. A la derecha, la zona central de la galaxia NGC 5253 observada por el Telescopio Espacial Hubble. Esta galaxia, situada a unos 11 millones de años luz, posee una gran cantidad de estrellas Wolf-Rayet y ha sido profundamente analizada en esta tesis doctoral. La imagen en color es combinación de distintas exposiciones en filtros ultravioleta (azul, revelando una gran cantidad de estrellas jóvenes y masivas), [O III] (verde) y $H\alpha$ (rojo).

Las galaxias starbursts

Una de las formas más útiles de caracterizar a una galaxia es mediante el estudio de la actividad de formación estelar y el número de estrellas jóvenes que alberga. Los casos más extraordinarios son las galaxias starbursts, objetos donde la formación estelar es tan elevada que las estrellas jóvenes dominan completamente su aspecto. Los starbursts crean estrellas a un ritmo tan alto que el gas disponible se agotaría en un tiempo muy pequeño comparado con la edad del Universo. Fenómenos comunes en galaxias starbursts son la existencia de supercúmulos estelares, vientos galácticos (como en la famosa galaxia del Cigarro, M 82, localizada en la constelación de la Osa Mayor) e incluso la existencia de interacciones entre galaxias. Muchos starbursts muestran una gran cantidad de estrellas del tipo Wolf-Rayet, indicando que la formación estelar ha sido muy reciente, inferior a 6 millones de años (que es el tiempo máximo antes de que las estrellas masivas que atraviesan la fase Wolf-Rayet exploten como supernovas) y que ha creado este tipo de estrellas masivas. A estos objetos se les denomina galaxias Wolf-Rayet.

En cierta forma, las galaxias starbursts son nebulosas gigantes, por lo que para estudiarlas se deben utilizar las mismas técnicas empleadas para el análisis nebular. Esto permite la determinación más o menos sencilla de la cantidad de elementos químicos, como oxígeno, nitrógeno, azufre, neón y hierro, presentes en ellos, informándonos del estado evolutivo de las galaxias en el momento actual. Este análisis es imposible de realizar en galaxias que no muestren formación estelar o sea muy escasa. Galaxias en las que se hayan sucedido un número mayor de ciclos de formación estelar serán más ricas en estos elementos químicos. Así, las galaxias starbursts pobres en metales son especialmente vitales puesto que nos permiten analizar objetos muy poco evolucionados en comparación con el Sol y nuestra Galaxia, proporcionando fuertes restricciones a las teorías de evolución galáctica. Por lo tanto, el estudio de los starbursts nos permite comprender no sólo la evolución química de las galaxias sino la propia evolución estelar. Además, se cree que casi todas las galaxias han pasado en algún momento por la fase starburst, siendo muy importantes al principio del Universo, cuando se crearon las primeras galaxias y estrellas.

Precisamente, los modelos actuales de formación de galaxias predicen que la mayoría se han formado a partir de fusiones de galaxias enanas. Incluso las galaxias elípticas parecen ser los restos de la fusión de galaxias del tipo espiral. Las fusiones e interacciones entre galaxias inducen profundas transformaciones en el aspecto y el movimiento de los objetos involucrados. Cuando dos galaxias chocan, las estrellas de una y de otra pasan cerca pero rara vez llegan a chocar. Son las increíbles fuerzas gravitatorias de cada galaxia, unidas al movimiento particular de cada sistema, las que distorsionan y comprimen las galaxias, creándose largas colas de marea y terminando fundiéndose todo el material en una única galaxia. Las interacciones entre galaxias son especialmente evidentes cuando se observa el hidrógeno atómico, visible únicamente usando radiotelescopios, puesto que es mucho más extenso que la componente estelar y se distorsiona con mucha más facilidad. Además, la compresión del gas durante las interacciones de galaxias provoca que se formen muchas estrellas, desatando importantes starbursts. Precisamente, las

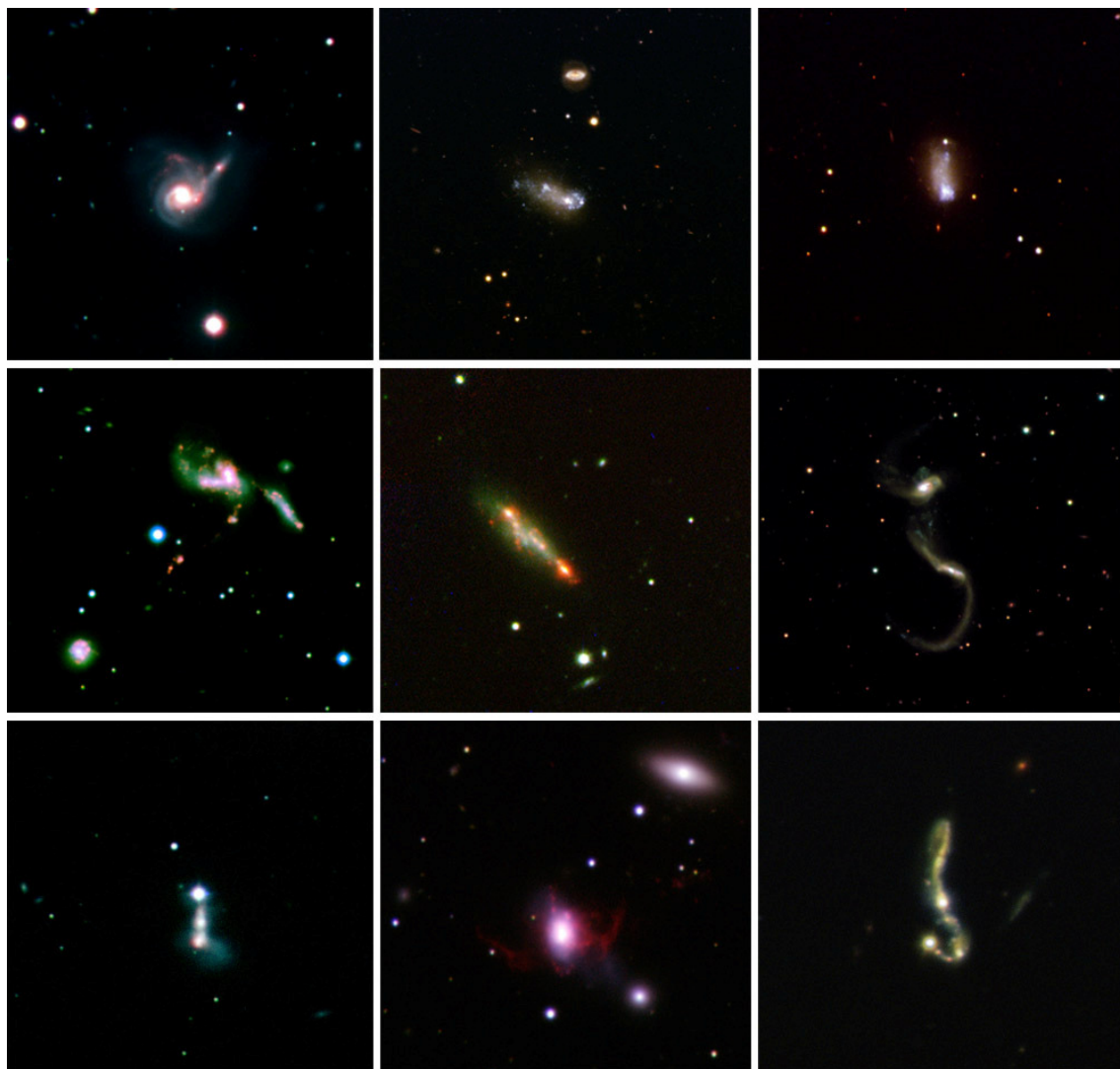


Figura 9. Varias de las galaxias Wolf-Rayet analizadas en esta tesis. En la fila superior, comenzando por la izquierda, Mkn 1199, SBS 1054+365 y Mkn 5. En la fila intermedia se muestran el grupo de galaxias HCG 31 con el intenso starburst de NGC 1741 (zona central), SBS 1319+579 y Arp 252. En la fila inferior aparecen las galaxias III Zw 107, Tol 9 e IRAS 08208+2816. Los fenómenos de interacción entre galaxias son evidentes en Mkn 1199, HCG 31, Arp 252, III Zw 107, Tol 9 e IRAS 08208+2816.

galaxias *starbursts* más brillantes conocidas (denominadas LIRG, acrónimo en inglés de *galaxias luminosas en infrarrojo*) son en realidad la fusión de dos galaxias. Las interacciones y fusiones de galaxias son fundamentales a la hora de conocer la evolución dinámica de las galaxias.

En realidad, son las galaxias enanas las que dominan en el Universo, siendo más importantes aún a distancias cosmológicas mayores. No obstante, es difícil comprender el disparo de la formación estelar en este tipo de objetos. Especialmente, no se comprende aún cómo algunas galaxias enanas experimentan a veces brotes de formación estelar tan energéticos. Pero sí se tienen pistas: las interacciones entre galaxias disparan la formación estelar.

¿De qué va entonces esta tesis doctoral?

Quizás, la principal diferencia entre la Astrofísica y el resto de las Ciencias es que el conocimiento de los objetos astronómicos sólo se consigue mediante la observación. La Astrofísica no puede hacer experimentos. ¿Podemos crear una estrella, conseguir las bajas densidades existentes en las nebulosas o simular una explosión de supernova? Los astrónomos emplean instrumentos extremadamente sensibles para recoger pacientemente la luz de las estrellas y las galaxias distantes, esperar hasta el próximo paso de un cometa o un asteroide, mirando en la oscuridad del espacio. La información astronómica se obtiene analizando la radiación electromagnética que recibimos del Universo. Empleamos todo el espectro electromagnético, desde los energéticos rayos gamma a las ondas de radio. Es cierto que existen otros pocos métodos para estudiar el Cosmos (el análisis de meteoritos y rocas lunares o la detección de rayos cósmicos, neutrinos o incluso ondas gravitatorias si éstas existen realmente) pero la principal herramienta

que tenemos para investigar estrellas, nebulosas y galaxias es su luz. Y es una herramienta muy poderosa. El análisis de la radiación electromagnética que nos llega de los objetos astrofísicos permite determinar sus propiedades físicas (tamaños, masas, densidades, temperaturas, movimiento) y químicas (cantidad de elementos químicos, grado de excitación del gas)..

En esta tesis analizo la luz emitida por una clase de galaxias con formación estelar, las denominadas galaxias Wolf-Rayet, en las que se detectan estrellas masivas. Estas estrellas ionizan el medio interestelar circundante, creando nebulosas gigantes. El objetivo es estudiar las propiedades morfológicas, físicas y químicas de estas galaxias para conocer su actividad de formación estelar, poblaciones estelares, estado evolutivo y sus relaciones con el medio en el que se encuentran para obtener pistas sobre el mecanismo disparador de los intensos brotes de formación estelar que se observan en ellos y, de esta forma, ampliar nuestro conocimiento sobre la evolución de las galaxias. Como hemos visto, las estrellas Wolf-Rayet sólo viven durante muy poco tiempo, por lo que galaxias que muestren el rasgo de estas estrellas masivas son objetos ideales para buscar el mecanismo disparador de la formación estelar, especialmente en galaxias enanas. Si realmente un objeto externo ha inducido la formación estelar en una galaxia enana, debería encontrarse aún cerca del brote y su interrelación podría ser muy evidente. Y éste es el estudio que presento en la tesis doctoral, el análisis detallado de una muestra de galaxias Wolf-Rayet a la *caza y captura* de objetos enanos cercanos o indicios de que ha sufrido interacciones con otras galaxias externas. Y de ahí el título de la tesis, *formación de estrellas masivas en galaxias Wolf-Rayet enanas*.

Adelantándome al final, avanzaré que de las 20 galaxias que analizo, 16 de ellas presentan signos inequívocos de interacción: morfologías extrañas, diferencias químicas notables dentro del mismo objeto, movimientos que sólo se pueden explicar por las perturbaciones de marea o falta de gas atómico, indicando el extraordinario papel que juegan las interacciones con o entre galaxias enanas en el disparo de la formación estelar masiva en galaxias Wolf-Rayet. Ésta es mi pequeña contribución al conocimiento científico. Por ahora, por que mi propia investigación no ha hecho más que comenzar.

Reflexiones al amanecer

Pero ya toca irse a dormir. El resplandor que vemos hacia el Este, junto con una finísima luna menguante y el planeta Venus como Lucero del Alba nos indican que la salida del Sol está próxima. Esta noche hemos observado estrellas y nebulosas, galaxias y cúmulos estelares, y sondeado un poco más allá en los confines del Universo. Quizás ahora no parezca que estos conocimientos tienen utilidad práctica. Pero la Ciencia involucrada en todo el proceso sí la tiene y la ha tenido a lo largo de la Historia. Ahora vivimos más cómodos y mejor que hace mil años gracias al esfuerzo continuo de generaciones de científicos que se han atrevido a ir más allá, cuestionando verdades aparentemente inmutables e indagado en los misterios del Cosmos desde un punto de vista objetivo. A veces nuestras hipótesis sobre el Universo no han sido correctas y esto puede, debe, ocurrir de nuevo. Ayer Plutón se designaba como planeta y hoy se considera que es un objeto enano como otros muchos cuerpos que orbitan el Sistema Solar. Quizás mañana o dentro de cien años nuestros modelos actuales no expliquen las observaciones o algún experimento, por lo que tendrán que desarrollarse nuevas teorías físicas que los sustituyan. Es el avance de la Ciencia. Es la Cultura de la Humanidad.

El Universo es comprensible, sin necesidad de magia o ángeles. Todo lo que vemos es la manifestación de unas 100 combinaciones de 3 únicas partículas: protones, neutrones y electrones. Las reacciones químicas darán lugar a la diversidad de fenómenos que encontramos a nuestro alrededor. Excepto el hidrógeno y un poco de helio, el resto de los elementos químicos se han sintetizado en esas gigantescas cocinas cósmicas que son las estrellas o se han creado en las violentas explosiones de supernova. Y las leyes de la Naturaleza son universales: se cumplen tanto aquí como en la otra punta de nuestro Cosmos. Esto es válido para las cuatro interacciones fundamentales de la Naturaleza: la gravitatoria, la electromagnética y las nucleares fuerte y débil.

Los seres humanos siempre hemos buscado las respuestas a las preguntas existenciales sobre ¿quiénes somos? o ¿dónde estamos? Es la búsqueda de nuestros propios orígenes, de nuestra esencia más profunda. Nadie es indiferente a ello. Y ahí arriba, entre las estrellas, están las respuestas.