

# La formación de las estrellas a través del tiempo

Luis Felipe **Rodríguez Jorge**

**E**l Universo se expande como un todo, por lo que las galaxias que lo forman quedan cada vez más separadas entre sí. En ciertas regiones, sin embargo, ocurre el proceso inverso y nubes de gas se contraen para formar nuevas estrellas y planetas.

## En el principio

Existe consenso entre los astrónomos que el Universo se originó en una Gran Explosión que tuvo lugar hace aproximadamente 13 mil 700 millones de años. Durante los primeros minutos de su existencia ocurrieron diversos eventos que contribuyeron a definir su futuro.

“...el Universo se originó en una Gran Explosión que tuvo lugar hace aproximadamente 13 mil 700 millones de años...”

En su origen, el Universo se conformó por un gas extremadamente denso y caliente que se expandió rápidamente y que estaba compuesto por átomos de hidrógeno y helio ionizados; es decir, con los núcleos separados de los electrones por la alta temperatura reinante. Ahora se sabe que además de esta materia “normal” estaban presen-

tes partículas adicionales, cuya naturaleza aún no se entiende y que constituyen lo que se conoce como la materia oscura. Además de la materia normal y de la materia oscura, había grandes cantidades de ondas electromagnéticas.

Pero además de denso y caliente, el Universo era entonces sumamente homogéneo, esto es sin regiones significativamente más densas que otras que rompieran la monotonía. Si el Universo hubiera mantenido siempre su gran homogeneidad, no estaríamos ahora discutiendo su naturaleza.

“... si el Universo hubiera mantenido siempre su gran homogeneidad, no estaríamos ahora discutiendo su naturaleza...”

Desde su origen a la actualidad algo tuvo que propiciar el crecimiento de la heterogeneidad, porque los seres humanos, con una densidad promedio del orden de un gramo por centímetro cúbico (muy parecida a la densidad del agua), somos 10 a la 30 veces (un uno seguido de 30 ceros) más densos que la densidad promedio del Universo.

Y es que a través del tiempo, el Universo se hizo gradualmente más heterogéneo, más estructurado, con la mayor parte del espacio casi vacío y la mayor parte de la materia normal aglutinada en estrellas y planetas. Esto ocurrió porque el Universo era casi homogéneo. Desde su inicio había en él pequeñas "semillas" de heterogeneidad que fueron amplificadas por la fuerza atractiva de la gravedad hasta llegar a la situación actual.

"...La luz visible es el ejemplo más conocido de la radiación electromagnética..."

### **La época de la recombinación y la producción de la radiación cósmica de fondo**

Durante los primeros 400 mil años de la existencia del Universo, los átomos de hidrógeno y helio que formaban la materia normal estaban ionizados por la gran temperatura presente. Los electrones, que en condiciones como las de nuestro entorno están amarrados por las fuerzas eléctricas a los núcleos atómicos, vagaban libres por el espacio. Los electrones libres interactúan muy fuertemente con las ondas electromagnéticas. La luz visible es el ejemplo más conocido de la radiación electromagnética, radiación formada por ondas. Otras longitudes de onda más grandes que la luz son las de radio y las infrarrojas, mientras que longitudes de onda más cortas que las de la luz son las ultravioletas, así como los rayos X y los rayos gama.

Es por esta fuerte interacción entre electrones libres y la luz que no podemos ver el interior del Sol. La energía que proviene de él se forma en su interior, pero al viajar a la superficie choca frecuentemente con los electrones y se desvía de su anterior trayectoria. Puesto que vemos la luz en el punto donde tuvo su última desviación, prácticamente en la superficie, vemos al Sol como si fuera una bola sólida, con una superficie bien definida.

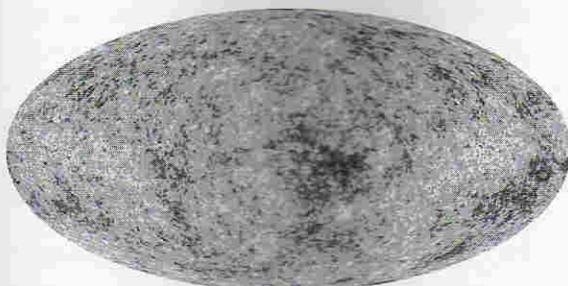
"Mientras el Universo se mantuvo ionizado era muy opaco..."

Mientras el Universo se mantuvo ionizado era muy opaco. Un hipotético observador en aquellos primeros cientos de miles de años se hubiera sentido como metido en una espesa niebla que no le permitía ver muy lejos. Pero pasados 400 mil años el Universo se había enfriado a unos 3 mil grados Kelvin, lo suficiente para que los electrones se juntaran con los núcleos atómicos y permanecieran unidos. A esta época se le conoce como la Época de la Recombinación. Al dejar de estar libres, los electrones pierden mucha de su capacidad de interactuar con la radiación, por ello el Universo se hizo transparente. Lo sorprendente es que la astronomía moderna puede estudiar en gran detalle al Universo en esta Época de la Recombinación. Conforme observamos más lejos el espacio, vemos radiación electromagnética que llega de épocas más remotas. La radiación electromagnética viaja a la velocidad de la luz y esto convierte a los telescopios en el equivalente a una máquina del tiempo, aunque con la limitación de que sólo funcionan hacia el pasado y no hacia el futuro.

"...Lo sorprendente es que la astronomía moderna puede estudiar en gran detalle al Universo en esta Época de la Recombinación..."

Lo más lejos que los astrónomos podemos observar en el espacio es precisamente este momento de recombinación, porque como ya se dijo (o sea, más lejos) el Universo era opaco. Lo que vemos a esa distancia (o bien en ese tiempo pasado, cuando el Universo tenía tan sólo 400 mil años de edad) es una "pared" de radiación que cuando se produjo era mayormente luz visible. Pero con la expansión del Universo estas ondas de luz se fueron estirando hasta transformarse en ondas de radio. De los 3 mil grados Kelvin que tenía la radiación en el momento de producirse, ahora es mucho más fría, con una temperatura de sólo 2.7 grados Kelvin. Estas ondas de radio forman la llamada radiación cósmica de fondo, cuyo estudio es de gran importancia para físicos y astrónomos. Fue observada por primera vez en 1965 por los estadounidenses Robert W. Wilson y Arno Penzias, quienes recibieron el Premio Nobel de Física

por su descubrimiento en 1978. Las características detalladas de esta radiación, en particular su grado de heterogeneidad, fueron estudiadas con el satélite astronómico COBE (Cosmic Background Explorer, puesto en órbita por la NASA en 1989), cuyos líderes John C. Mather y George F. Smoot recibieron por estos trabajos el Premio Nóbel de Física en el año 2006.



**Fig. 1. Imagen de las variaciones en la temperatura de la radiación cósmica de fondo obtenidas con el satélite WMAP (Imagen cortesía de la NASA).**

Durante la Época de la Recombinación, aún cuando ya habían transcurrido 400 mil años del origen del Universo, éste aún era extremadamente homogéneo. Los estudios del satélite COBE indicaron variaciones en la temperatura de la radiación del orden de sólo cienmilésimas de grado Kelvin. En la figura 1 mostramos una imagen de las variaciones de la temperatura de la radiación cósmica de fondo sobre todo el cielo, obtenida por el satélite WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe, puesto en órbita por la NASA en el 2001).

En las condiciones que existían entonces, las variaciones en la densidad eran proporcionales a las variaciones en la temperatura, lo cual nos indica un Universo aún muy homogéneo (las variaciones eran del orden de 0.000001 sobre 2.7).

“Al recombinarse los electrones con los núcleos, el Universo se hizo transparente y la radiación pudo viajar en línea recta a través de él.”

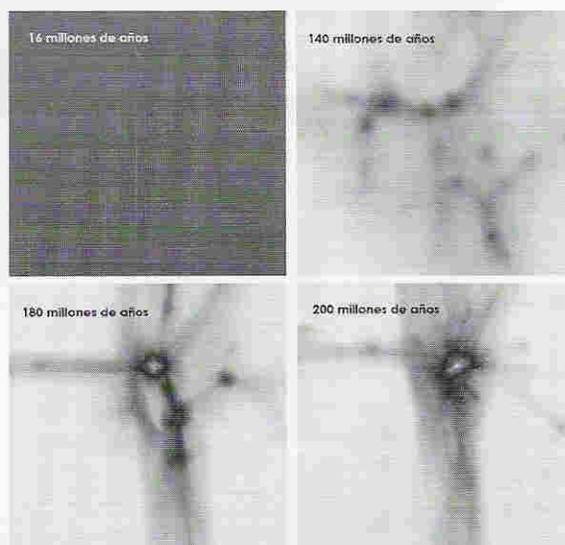
### La época oscura

Al recombinarse los electrones con los núcleos, el Universo se hizo transparente y la radiación pudo viajar en línea recta a través de él. Pero también la materia se enfrió y dejó

de producir radiación, con lo que el Universo entró en una etapa que en inglés se conoce como “The Dark Age”, en analogía al periodo entre la antigüedad clásica y el renacimiento italiano, en el que las “luces” de las ciencias y de la cultura clásica se apagaron en Europa. A falta de un mejor término en castellano (nosotros nos referimos a esta época histórica simplemente como la Edad Media), traduciremos el término como la Época Oscura.

Durante esta era, las pequeñas heterogeneidades que había en el momento de la recombinación se fueron amplificando por la fuerza de la gravedad. Esencialmente, las regiones que eran ligeramente más densas se contrajeron y atrajeron todo el gas en su entorno. En esta contracción gravitacional ayudó no sólo la materia normal, sino también la materia oscura, que si bien no ha sido identificada de manera directa, sí produce atracción gravitacional.

Alrededor de 200 millones de años después del origen del Universo, los modelos teóricos indican que las heterogeneidades eran ya tan marcadas (ver la Fig. 2) que en estas regiones muy densas se produjo la formación de las primeras estrellas del Universo.



**Figura 2. Pasados 16 millones de años del origen del Universo, éste aún se mantenía muy homogéneo. Pero al llegar a los 140 millones de años, las heterogeneidades se hicieron más marcadas (zonas más oscuras en la figura) y finalmente alrededor de los 200 millones de años de edad del Universo se dio la formación de las primeras estrellas (zonas amarillas). (Imagen cortesía de T. Abel.)**

“Una vez que la gravedad controla la dinámica de una región, la contracción continúa hasta que aparece un nuevo elemento que la detiene”

### Las primeras estrellas y la época de la reionización

Como hemos dicho, el Universo se fue expandiendo como un todo, pero había en él regiones que por la atracción de la gravedad se hacían más y más compactas (digamos que iban a contrapelo de lo que ocurría en el Universo como un todo, contrayéndose mientras el Universo se expandía). Pasados unos cientos de millones de años del origen, en estas regiones gaseosas más densas se comenzaron a formar, por la contracción que produce la fuerza de la gravedad, las primeras estrellas. A su vez, estas primeras estrellas serían las semillas alrededor de las cuales se constituirían las galaxias (una de ellas sería nuestra propia galaxia, la Vía Láctea).

Una vez que la gravedad controla la dinámica de una región, la contracción continúa hasta que aparece un nuevo elemento que la detiene. Este nuevo elemento es generado por la temperatura que va ganando la región en contracción; este aumento de temperatura produce un aumento de la presión, que finalmente contrarresta la gravedad, pero para cuando esto ocurre la región original se ha contraído millones de veces hasta formar una estrella.

Estas estrellas debieron ser muy distintas a las que ahora existen, porque se formaron de aquel gas original, casi de puro hidrógeno y helio. Se cree que fueron estrellas con mucha más masa (materia) que las que se forman ahora, quizá con miles de veces la masa de nuestro Sol. Si bien inicialmente el incremento en la temperatura producido por la contracción fue suficiente para contrarrestar la gravedad, la estrella comenzó a enfriarse y la contracción continuó hasta que en el interior de la estrella comenzaron reacciones termonucleares que la recalentaron hasta lograr de nuevo una situación de equilibrio entre la fuerza atractiva de la gravedad y el efecto repulsivo de la gran presión en el interior de la estrella. En esta región, los átomos originales de hidrógeno y helio se

fueron fusionando para formar carbono, nitrógeno, oxígeno y los otros elementos químicos que ahora conocemos. Luego, después de unos cientos de miles de años de formadas, estas estrellas explotaron y lanzaron al espacio aquellos elementos químicos indispensables para la vida (ver la figura 3). Ya en el espacio, el gas expulsado en estas explosiones se mezcló con el gas ahí existente, de modo que las siguientes generaciones de estrellas se formaron de un gas “enriquecido”, con elementos químicos diversos, superando la monótona composición química de hidrógeno y helio que caracterizó al Universo joven.

En la actualidad seguimos presenciando explosiones similares de las estrellas de gran masa. A estas explosiones se les llama supernovas y se han observado tanto en nuestra galaxia como en otras galaxias.

“Estas primeras estrellas producían grandes cantidades de luz y radiación ultravioleta, lo cual volvió a ionizar al Universo”

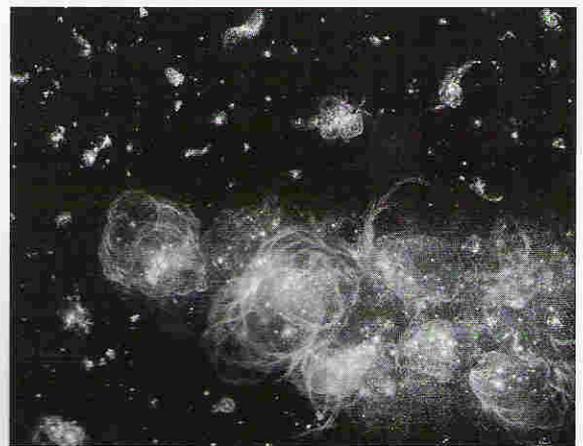


Fig. 3. Visión artística de cómo pudo haber sido la época de la formación de las primeras estrellas. Las primeras estrellas explotarían luego como supernovas, enriqueciendo el medio con elementos químicos más pesados que el hidrógeno y el helio (imagen cortesía del STScI).

Estas primeras estrellas producían grandes cantidades de luz y radiación ultravioleta, lo cual volvió a ionizar al Universo. Es por esto que a la etapa de la formación de las primeras estrellas se le conoce también como la Época de la Reionización.

“... es bien sabido que nuestro Sol no se formó en aquella primera generación de estrellas...”

Así, las primeras estrellas no sólo sacaron con su luz y calor al Universo de la Época Oscura, sino que cambiaron la composición del Universo, creando una diversidad de elementos químicos que posteriormente permitirían, entre otras cosas, la aparición de la vida en la Tierra. De hecho, es bien sabido que nuestro Sol no se formó en aquella primera generación de estrellas (evento que tuvo lugar hace alrededor de 13 mil 200 millones de años), sino mucho después, hace aproximadamente 4 mil 600 millones de años. Cuando el Sol se formó ya existían en el gas espacial los elementos químicos necesarios para la formación de los planetas y, en ellos, de la vida. En la figura 4 mostramos un esquema que resume los momentos más importantes en la historia del Universo.

### La formación estelar hoy

El estudio del tema de las primeras estrellas es apasionante, pero aún es muy poco lo que

se conoce. Como esto ocurrió en el pasado remoto, sólo las podríamos detectar y estudiar muy lejos de nosotros y como es de esperarse, es más difícil estudiar lo que está lejos que lo que está cerca. Afortunadamente, la formación de nuevas estrellas continúa en el Universo actual. Sin embargo, esto no está ocurriendo en todas partes del espacio. En primer lugar, como hemos mencionado, la mayor parte de la materia normal se encuentra en galaxias, familias de cientos de miles de millones de estrellas que son como los “ladrillos” básicos del Universo.

Las galaxias se dan en dos grandes tipos: las galaxias elípticas y las espirales (ver la figura 5). Existe también la categoría de las galaxias irregulares, para todo lo que no cae en las dos clases anteriores, pero no necesitamos discutir esta categoría para los propósitos de este artículo.

“Las galaxias se dan en dos grandes tipos: las galaxias elípticas y las espirales...”

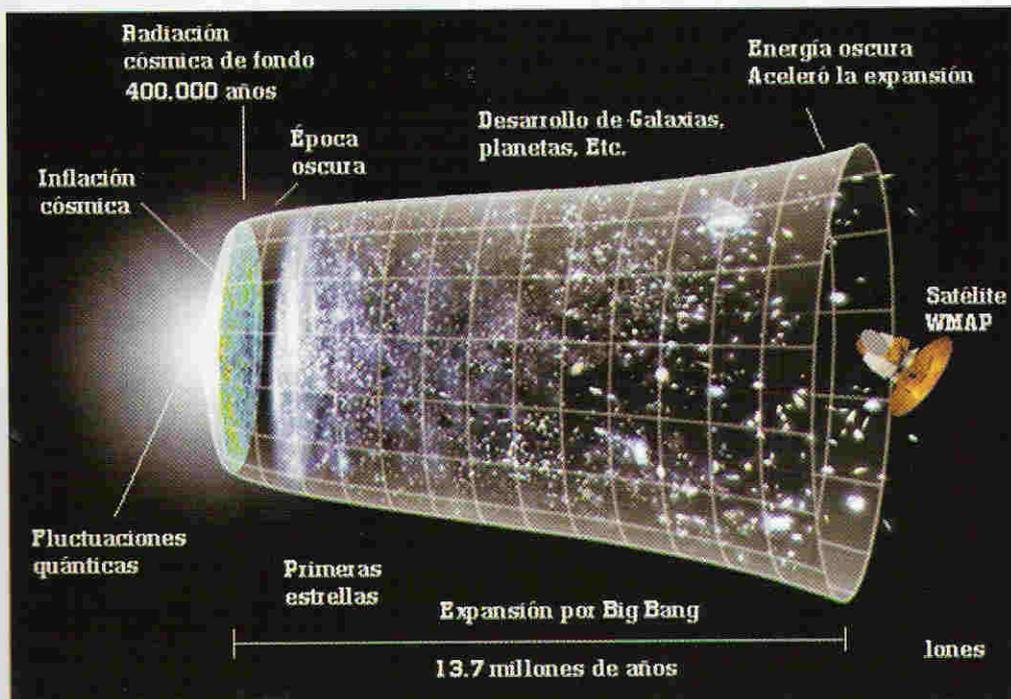
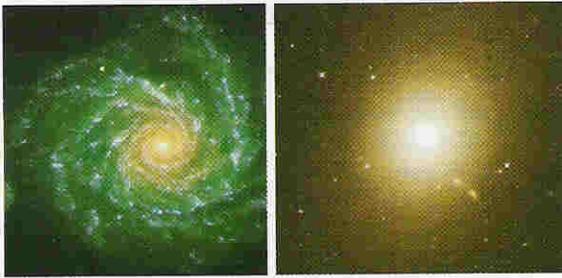


Fig. 4. Esquema artístico que muestra los momentos más importantes en la historia del Universo (imagen cortesía de Caltech).

En la actualidad, la formación estelar sólo se da de manera vigorosa en las galaxias espirales y no en las elípticas. ¿Por qué? Las galaxias espirales tienen mucha rotación y se cree que la fuerza centrífuga que produce la rotación ha impedido que en el pasado todo el gas disponible en estas galaxias se haya contraído para transformarse en estrellas. Es decir, la rotación presente en estas galaxias ha dosificado la formación estelar permitiendo que persista hasta el día de hoy. En contraste, las galaxias elípticas casi no rotan y se cree que esto permitió, en la época de su formación, un derroche de actividad de formación estelar que llevó a que se agotara el gas disponible y a que en la actualidad prácticamente no formen estrellas.



**Fig. 5. Las galaxias espirales (izquierda) tienen bastante rotación mientras que las elípticas (derecha) no. Se cree que esta diferencia es uno de los factores que determinan que la formación estelar se siga dando hoy en día en las espirales y ya no en las elípticas.**

### **Un acercamiento a la formación estelar**

De lo anterior se puede concluir que si queremos estudiar con detalle cómo se forman las estrellas, tendremos que enfocar parte de nuestros esfuerzos al estudio de aquéllas que se están formando en la actualidad, muchas de ellas en relativa cercanía al Sol. Por ejemplo, en términos de distancia, las estrellas que se están formando ahora en la nebulosa de Orión (a una distancia de 1,500 años-luz) están 10 millones de veces más cerca que aquellas primeras estrellas del Universo muy joven.

Para entender cómo se forman y cómo cambian en el tiempo las estrellas es necesario, primero, entender qué son y cómo funcionan. Para tener un punto de referencia, tomaremos como estrella típica a nuestro Sol. De hecho, nuestro Sol es una estrella bastante común: ni muy grande ni muy pequeña.

“..Las estrellas se forman en la actualidad con distintas cantidades de masa, desde aproximadamente una décima de la masa del Sol, hasta unas 100 veces la masa del Sol.

Las estrellas se forman en la actualidad con distintas cantidades de masa, desde aproximadamente una décima de la masa del Sol, hasta unas 100 veces la masa del Sol. Uno pensaría, a primera aproximación, que mientras más masa tenga la estrella, más combustible termonuclear tendrá y más tardará en morir. Pero en realidad lo que ocurre es que las estrellas masivas, si bien tienen una mayor cantidad de combustible para quemar, lo queman muy rápidamente, de modo que mientras una estrella como el Sol vivirá unos 10 mil millones de años (nuestro Sol está entonces aproximadamente a la mitad de su vida), una estrella con 100 veces la masa del Sol vive solamente alrededor de un millón de años. En esto las estrellas difieren de los seres vivos, que como regla general viven más mientras más masivos son (esto es, los elefantes viven más que los ratones y éstos más que las moscas).

Por otra parte, sabemos que el Universo se formó hace unos 13 mil 700 millones de años, pero existen actualmente estrellas muy masivas que por su relativa corta vida se tuvieron que haber formado en el pasado relativamente reciente (digamos, hace sólo unos millones de años). Esto quiere decir que la formación de las estrellas no ocurrió sólo en el pasado muy remoto, sino que ha continuado dándose a lo largo de la vida del Universo, si bien de manera dominante en las galaxias espirales.

“Es en estas nubes cósmicas... en las que ocurre en la actualidad el nacimiento de las nuevas estrellas”

En nuestra galaxia, que es del tipo espiral y por lo tanto con formación de estrellas en la actualidad, mucho del espacio entre las estrellas está muy vacío y no parece posible formar una estrella juntando al tenue material que normalmente existe entre las estrellas. Sin embargo, en algunas regiones del espacio existen unas

“nubes” de gas y polvo cósmico que son mucho más densas que el medio normal (ver la figura 6). Les llamamos nubes porque nos recuerdan a las nubes atmosféricas, aunque estas últimas miden sólo cientos de metros, mientras que las nubes cósmicas miden años-luz.



Fig. 6. Nube molecular en nuestra galaxia. Es en el interior de estas nubes donde se forman las nuevas estrellas (imagen cortesía del STScI).

Es en estas nubes cósmicas, mucho más densas que el medio típico entre las estrellas, en las que ocurre en la actualidad el nacimiento de las nuevas estrellas. A estas nubes se les llama indistintamente oscuras (porque la luz no las atraviesa y no nos dejan ver lo que hay atrás o adentro de ellas) o bien moleculares (porque son muy frías y el gas que hay en ellas está en la forma de moléculas como el hidrógeno molecular, el monóxido de carbono, el vapor de agua y el amoníaco, entre otras).

Estas nubes, sobre todo las más grandes, contienen frecuentemente hasta millones de veces la masa del Sol, así que pueden formar

muchas estrellas y de hecho lo están haciendo. ¿Pero, cómo podemos investigar lo que ocurre en el interior de estas nubes oscuras si, como acabamos de decir, son opacas a la luz? Afortunadamente, durante el siglo XX los avances en la radioastronomía y la astronomía infrarroja han permitido estudiar el interior de estas nubes. La razón de esto es que el polvo cósmico, que es lo que hace a las nubes opacas a la luz, es relativamente transparente a las ondas de radio y a las ondas infrarrojas. Digamos que la situación es similar a la de estudiar a un ser humano en gestación dentro del seno materno: no lo podemos ver a simple vista, pero sí con la ayuda de los rayos X o el ultrasonido.

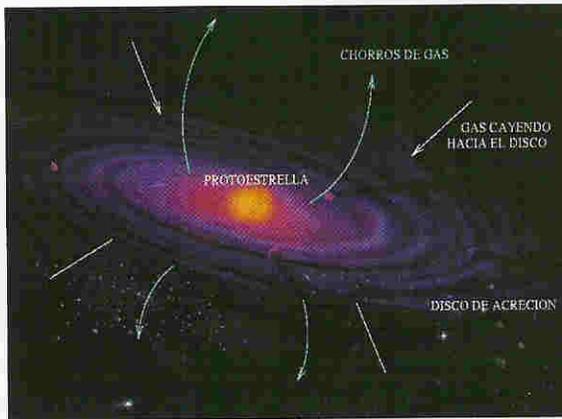
“Es la gravedad la que se encarga de comprimir a las relativamente difusas nubes de gas del espacio interestelar en nuevas estrellas”

Gracias principalmente a la radioastronomía y a la astronomía infrarroja, así como al trabajo de muchos astrónomos teóricos, se ha podido desarrollar un paradigma que nos guía en cuanto a lo que ocurre cuando se forma una estrella similar al Sol.

### La formación de las estrellas de tipo solar

Como en la primera generación de estrellas, es la gravedad la que se encarga en la actualidad de comprimir a las relativamente difusas nubes de gas del espacio interestelar en nuevas estrellas.

Pero estas nubes en contracción tienen un poco de giro, un poco de rotación. A esta propiedad de los cuerpos se le llama el momento angular. El momento angular de una nube hace que conforme caiga más gas hacia la protoestrella (llamémosla así porque aún no se dan los procesos termonucleares que definen a las estrellas), éste venga de puntos más lejanos que giran más rápidamente respecto a la protoestrella. Cuando algo gira aparece la fuerza centrífuga, que hace que las cosas que giran se quieran alejar del centro (esto es lo que aprovecha alguien que trata de hacer una pizza, dándole vueltas en el aire para que se extienda y se haga más grande).



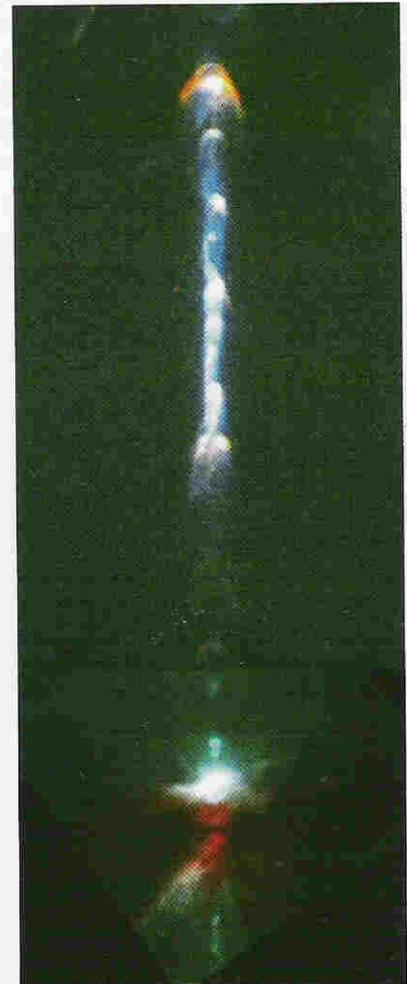
**Fig. 7. Imagen artística de una estrella en formación.** Al centro está la protoestrella. El gas cae al disco de acreción que rodea a la estrella y de ahí cae en espiral a la estrella. Los planetas se formarán del material que hay en el disco. Al mismo tiempo, el disco produce chorros de gas que salen a gran velocidad.

Este efecto produce que el gas ya no caiga directo a la protoestrella, sino a su alrededor formando un disco delgado y en rotación. Este gas permanecería ahí por siempre y se cebaría la formación de la estrella, si no apareciera otro proceso de la naturaleza que se encarga de permitir que el gas que cae primero al disco, vaya después cayendo en espiral hacia la protoestrella.

En resumen, para que el gas que gira alrededor de la protoestrella caiga en ella y la “engorde” es necesario que este gas se deshaga del momento angular.

La manera en que esto sucede permaneció como un enigma hasta la década de los ochenta del siglo pasado, cuando varios grupos de astrónomos (entre ellos un grupo mexicano) descubrieron que las estrellas jóvenes expulsan al espacio circundante parte del gas que les está cayendo de los alrededores (ver la figura 7). Estas expulsiones (o eyecciones, como también se les llama en la literatura) se llevan el momento angular excedente para permitir que el gas caiga a la protoestrella y la haga crecer.

“Estas expulsiones... se llevan el momento angular excedente para permitir que el gas caiga a la protoestrella y la haga crecer.”



**Fig. 8. Imagen del Telescopio Espacial Hubble del objeto Herbig-Haro 111.** Descubiertos en los años cincuenta del siglo pasado en el Observatorio de Tonantzintla, estos objetos aparecen como chorros de gas que son expulsados por las estrellas muy jóvenes.

Estas expulsiones de gas ocurren a gran velocidad, cientos de kilómetros por segundo, y producen fenómenos muy vistosos en los alrededores de la protoestrella. También se sabe que las expulsiones ocurren preferentemente en la forma de dos chorros que se mueven en dirección opuesta y que son muy colimados (o sea, que permanecen moviéndose en una dirección, como el agua que sale de una manguera). Los llamados objetos Herbig-Haro, descubiertos en la década de los cincuenta del siglo XX por el estadounidense George Herbig y el mexicano Guillermo Haro y que permanecieron sin ser entendidos por varias décadas, son una de las manifestaciones de estas eyecciones de gas, que al chocar con nubes que existen en el espacio donde se forman las estrellas, producen ca-

lentamiento del gas y emisión de radiación (ver figura 8). Se dice que el disco y el chorro tienen una relación simbiótica (se benefician el uno del otro). El chorro extrae energía y momento angular del disco, y esto permite que el gas en el disco continúe su caída hacia la estrella.

### Los retos del futuro

Nuestro entendimiento de la formación estelar ha avanzado espectacularmente en las últimas décadas. Hay que aclarar que esto ha ocurrido principalmente en lo que se refiere a las estrellas de masa similar a la del Sol que se forman en la actualidad. En el caso de las estrellas de este tipo, el gran reto es comprender cómo es que alrededor de la estrella y a partir del disco protoplanetario se condensan los planetas. Se conocen alrededor de 250 estrellas que están acompañadas por planetas (ver <http://exoplanet.eu> para una lista actualizada de los planetas exosolares o sea externos a nuestro Sistema Solar). Sin embargo, casi todos estos planetas son grandes esferas de gas como Júpiter, pero que se encuentran más cerca de sus respectivos soles que la Tierra del Sol, mientras que en nuestro Sistema Solar los grandes planetas gaseosos, como Júpiter y Saturno, están en las afueras. Obviamente, la naturaleza no repitió en todas las estrellas lo que ocurrió en nuestro Sistema Solar y se requiere mucho trabajo observacional y teórico para comprender cómo es que se forman los planetas alrededor de las estrellas.

**"Nuestro entendimiento de la formación estelar ha avanzado espectacularmente en las últimas décadas."**

Además de entender cómo ocurre la formación de los planetas en las estrellas de tipo solar, nos falta explorar y conocer la formación, en el presente, de las estrellas mucho más y mucho menos masivas que el Sol. Es tentador extrapolar y proponer que todas las estrellas, no sólo las de tipo solar, se forman mediante el mecanismo de disco protoplanetario que hemos comentado. Pero la verdad es que no estamos seguros de que éste sea el caso y esta incógnita constituye una de las siguientes fronteras en el tema de la formación estelar, en cuya solución trabajamos muchos astrónomos y en la que de nuevo los grupos mexicanos juegan un papel destacado a nivel internacional.

Para formar una estrella que tenga unas cien veces la masa de Sol necesitamos que el núcleo protoestelar vaya creciendo más y más. Pero el problema que tenemos es que al crecer la estrella se hace tan luminosa que su misma luz intensísima detiene la caída de más gas, y en principio la estrella no debería de crecer más allá de diez veces la masa del Sol. Sin embargo, sabemos que en la actualidad existen estrellas tan pesadas como 100 veces la masa del Sol. Se ha especulado que quizá es necesario formar muchas estrellas, cada una con 10 veces la masa del Sol, y luego fusionarlas para formar una gran estrella. Pero la verdad es que este mecanismo se considera muy improbable. Así que simplemente no sabemos cómo se forman las estrellas más grandes del cielo, las luminarias más espectaculares que alumbran el espacio.

**"Prácticamente no hay datos que nos permitan confrontar la realidad con los modelos de la formación de las primeras estrellas en el Universo."**

Igualmente, tenemos problemas para entender cómo es que se forman las estrellas muy pequeñas, de muy baja masa. Como parte de estos estudios astronómicos se ha descubierto que existen unos cuerpos de tan baja masa que no podemos llamarlos estrellas, pero que rebasan, con mucho, las masas de los planetas, de modo que podemos pensar en ellos como unos cuerpos que se hallan entre las estrellas y los planetas. Se trata de las llamadas enanas marrón que tienen masas entre 0.01 y 0.1 veces la masa del Sol. Estos cuerpos no pueden ser considerados planetas porque a diferencia de éstos sí logran iniciar procesos termonucleares en su interior, pero tampoco se les considera estrellas porque estos procesos duran muy poco (sólo están presentes al principio de la vida de la enana marrón) y luego se apagan, dejando a la enana marrón como si fuera un planeta gigantesco, ya sin producir energía propia.

¿Se forman las enanas marrón como estrellas (o sea, como un núcleo protoestelar) o como planetas (o sea, en un disco alrededor de dicho núcleo)? Tenemos problemas bajo cualquiera de las dos suposiciones. Si se for-

man como una estrella normal, se sabe que en general hay mucho más material disponible que el que forma a una enana marrón. ¿Por qué entonces no siguen creciendo (acrecentando masa) hasta llegar a ser una estrella normal? Quizá algo trunca su crecimiento, pero no sabemos a ciencia cierta qué es. Por otro lado, si se forman como planetas, ¿por qué las encontramos también libres en el espacio y no sólo alrededor de una estrella normal (como ocurre en el caso de los planetas)?

Por último, prácticamente no hay datos que nos permitan confrontar la realidad con los modelos teóricos de la formación de las primeras estrellas en el Universo temprano. Los países desarrollados están planeando una nueva generación de telescopios ultrasensitivos que permitan estudiar este remoto y antiguo fenómeno. El estudio de la formación y evolución de las estrellas de tipo solar nos ha llevado a avanzar notablemente en nuestro conocimiento de la formación del Sol y de todo nuestro Sistema Solar. Ahora queremos entender mejor cómo se forman todas las estrellas, ya no sólo las de tipo solar, sino también de las pequeñas y de las grandes estrellas: ¿cómo fue la formación en el pasado remoto de las primeras generaciones de éstas?

La formación de estrellas y de sus planetas acompañantes es uno de los procesos más importantes de la naturaleza. Al comprender mejor este proceso más nos acercamos al conocimiento de nuestros propios orígenes.

## Glosario

**Ionización:** proceso por el cual un electrón es arrancado a un átomo. Esto puede ocurrir mediante el choque con otra partícula o bien con un fotón de suficiente energía. El proceso inverso es el de recombinación.

**Longitud de onda:** distancia entre dos máximos consecutivos en una onda.

**Materia oscura:** componente del Universo que posee fuerza gravitacional como la materia normal, pero que es de naturaleza distinta (y aún no entendida) a la de la materia normal.

**Onda electromagnética:** oscilaciones eléctricas y magnéticas que se propagan por el espacio llevando energía y momento. La luz es un ejemplo de onda electromagnética.

**Radiación cósmica de fondo:** radiación que se produjo cuando el Universo joven se enfrió lo suficiente para que

los electrones libres y los iones se juntaran en la Época de la Recombinación. Originalmente esta radiación se produjo como ondas de luz visible pero ahora se observa en la forma de ondas de radio.

**Recombinación:** proceso por el cual un electrón libre se junta a un ión. El proceso inverso es el de ionización.

## Bibliografía

1. Matos, T. (2004). *¿De qué está hecho el Universo?*. Materia Oscura y Energía Oscura, Colección La Ciencia para Todos, México, D. F.: Fondo de Cultura Económica.
2. Peimbert, M. (2006). *La Evolución en la Astronomía*, México, D. F.: El Colegio Nacional.
3. Poveda, A., Rodríguez, L. F., y Peimbert, M. (2004). *Siete Problemas de la Astronomía Contemporánea*, México, D. F.: El Colegio Nacional.
4. Weinberg, S. (1999). *Los Tres Primeros Minutos del Universo*, Madrid, España: Alianza Editorial.
5. De manera general se recomiendan los títulos de astronomía que han salido en la serie "La Ciencia para Todos," del Fondo de Cultura Económica.

**Luis Felipe Rodríguez Jorge**, es investigador del Instituto de Radio Astronomía de la UNAM; realiza investigación principalmente sobre el nacimiento y juventud de las estrellas, sobre las fuentes galácticas de rayos X, en la que él y otros astrónomos mexicanos han realizado contribuciones fundamentales. Entre ellas se cuentan el descubrimiento de los flujos bipolares en estrellas jóvenes (1980), la elucidación del mecanismo que excita a los objetos Herbig-Haro (1981, 1985), y la aportación de evidencia de discos protoplanetarios en estrellas jóvenes. El trabajo realizado en los últimos 20 años por él y sus colaboradores en el área de formación estelar es considerado de punta mundialmente y no es exagerado afirmar que el conocimiento de los procesos que caracterizan la formación estelar debe mucho a las aportaciones del grupo mexicano, cuyo líder es el doctor Rodríguez Jorge. Sus artículos científicos, más de 316, han recibido más de 4000 referencias en la literatura especializada.

Obtuvo el Premio Robert J. Trumpler de la Sociedad Astronómica del Pacífico, el Premio Bruno Rossi de la Sociedad Astronómica Americana, el Premio de Física de la Academia de Ciencias del Tercer Mundo (TWAS) y, en nuestro país, el Premio de la Academia Mexicana de Ciencias, el Premio Universidad Nacional, el Primer Premio Ricardo J. Zevada, y el Premio Nacional de Ciencias.

[l.rodriguez@astrosmo.unam.mx](mailto:l.rodriguez@astrosmo.unam.mx)

