



Premiado en la VI edición del Concurso de
Divulgación Científica del CPAN

De la materia y el tiempo. Somos polvo de estrellas

Víctor Guadilla

Todo empezó de una manera que tal vez no podemos ni siquiera imaginar. El esfuerzo de muchas mentes humanas ha tratado de reconstruir esos instantes iniciales hasta llegar a la imagen que tenemos hoy en día de ese origen, cuando las galaxias, los planetas, los siglos y sus infinitas historias, estaban guardados en un lugar pequeño, desmesuradamente denso y caliente, que en un determinado momento, hace aproximadamente 14 mil millones de años (unos 169 millones de veces la esperanza de vida de uno de nosotros), comenzó a expandirse sin remedio y a escribir las líneas de nuestra existencia. De alguna forma, todos nosotros estábamos ahí en ese instante. Unidos como nunca y entremezclados sin saber qué nos deparaba el porvenir.

El reloj se pone en marcha

Los primeros instantes fueron cruciales. Se calcula que la temperatura era mil millones de veces la temperatura de la superficie de nuestro sol. Transcurrida una millonésima de segundo se formaron los primeros neutrones y protones, también llamados nucleones, constituyentes fundamentales de los núcleos atómicos (de hecho un protón en sí mismo constituye el núcleo más ligero que existe, correspondiente al átomo de hidrógeno), así como sus respectivas antipartículas, el antiprotón y el antineutrón. Hasta la primera diezmilésima de segundo, más o menos, estas partículas se aniquilaban al encontrarse con sus antipartículas, dando lugar a fotones. A su vez, los fotones tenían suficiente energía como para producir estos pares partícula-antipartícula, garantizando así un equilibrio entre materia y radiación. Mientras tanto la temperatura iba bajando y el universo se iba expandiendo. Pasadas las primeras diezmilésimas de segundo, los protones comenzaron a convertirse en neutrones y viceversa, dando lugar entre medias a los electrones, los neutrinos y sus antipartículas, e inaugurando las primeras desintegraciones radiactivas de la historia del universo. Después, apenas alcanzada la primera décima de segundo, todo se había enfriado lo suficiente como para que solo los neutrones se convirtieran en protones y no al revés (por una caprichosa diferencia ínfima de masa). Este fue uno de los instantes más comprometidos para nosotros. Si nada hubiera pasado, los neutrones habrían acabado desapareciendo, y todo lo que hoy conocemos no existiría. Por fortuna, la temperatura había bajado ya un factor diez mil desde el comienzo, y por vez primera los protones empezaron a ser capaces de juntarse con los neutrones, surgiendo así la primera agrupación de ambas partículas que jamás existió: el deuterio. Apenas había transcurrido un minuto desde el comienzo y empezó a acumularse deuterio en el universo, iniciándose una fase clave en el devenir de esta historia: la nucleosíntesis.

El primer reactor nuclear

Por aquel entonces, el universo se convirtió en un reactor nuclear de fusión, eso sí, un reactor defectuoso que no cesaba de expandirse y enfriarse. El recién formado deuterio empezó a juntarse con otros protones u otros deuterios para dar lugar a un nuevo núcleo con tres nucleones, el helio. Este helio, a su vez, fue capaz de capturar otros deuterios emitiendo protones para convertirse en un nuevo helio, pero con cuatro nucleones (era el mismo elemento químico, pero un núcleo diferente, más pesado). Este helio con cuatro nucleones jugará un papel fundamental en las siguientes etapas y

en el origen de la vida en el universo.

Un poco después del primer cuarto de hora, la temperatura del universo había bajado lo suficiente como para que dejaran de producirse todas esas reacciones nucleares. Se paró la maquinaria y la composición del universo en ese momento era tres cuartas partes núcleos de hidrógeno (protones), casi una cuarta parte núcleos de helio con cuatro nucleones y el resto estaba constituido por pequeñas trazas de otros núcleos de menos de siete nucleones.

Las primeras estrellas: cocinando nuevos núcleos

Las nubes de polvo y gas primordial compuestas eminentemente por hidrógeno y helio comenzaron a colapsar por efectos gravitatorios. A medida que las nubes colapsaban, su centro se hacía más denso y caliente, atrayendo cada vez más polvo y gas. El resultado de todo este proceso fue la formación de los primeros objetos astronómicos en el centro de esas nubes: la primera generación de estrellas. Esas estrellas recuperaron la vieja costumbre del universo primordial de estar muy calientes, al haber aumentado la presión de manera brutal en el colapso, de forma que las reacciones nucleares de fusión se reactivaron y, con ellas, la producción de nuevos núcleos. El combustible inicial era, como no podía ser de otra forma, el hidrógeno, el más abundante. Con él se produce principalmente más helio, así como trazas de otros núcleos. Cuando se acaba el combustible de hidrógeno, comienza a usarse el helio, y en esta fase se desencadenan dos reacciones esenciales para nosotros y el mundo que conocemos. La primera consiste en la fusión de dos núcleos de helio, dando lugar a berilio, que a su vez captura otro núcleo de helio dando lugar al carbono, en particular carbono con doce nucleones, el más abundante hoy en día y fundamento de toda la química orgánica y, por tanto, de toda forma de vida conocida. Por si esto no fuera suficientemente grandioso, el propio carbono captura un nuevo núcleo de helio dando lugar al oxígeno, el elemento más abundante en nuestro cuerpo. La siguiente fase de combustión tiene al carbono como protagonista: empiezan a fusionarse núcleos de carbono dando como resultado los primeros núcleos de magnesio, sodio y neón. Precisamente el neón es el siguiente en pasar por la cazuela, produciendo magnesio y más oxígeno. A continuación este último toma el relevo, y la fusión de núcleos de oxígeno engendra núcleos de silicio y azufre. En un último esfuerzo por mantener activas las reacciones nucleares, las estrellas comienzan a juntar silicio con núcleos de helio hasta producir los elementos más pesados que una reacción de fusión es capaz de producir: níquel y hierro. A partir de este momento, fusionar núcleos deja de ser rentable, y el principio de mínima energía que hace que hoy en día no veamos una manzana caída subir hacia la rama del árbol, hizo que las reacciones nucleares se parasen de nuevo. Es importante señalar que no todas las estrellas hicieron todo este recorrido, ya que el destino de cada estrella recién formada quedaba a merced de su masa inicial. En particular, si esa masa superó un cierto límite, la estrella pasó por todas las etapas descritas durante varios millones de años hasta llegar al hierro y, una vez detenidas las reacciones nucleares, el centro de la estrella colapsó de forma fulgurante y se produjo un cataclismo que dejó como resultado objetos tan especiales como los agujeros negros o las estrellas de neutrones. Y es, precisamente, ese cataclismo el que supone uno de los gérmenes del resto de núcleos que hoy conocemos.

Fuegos artificiales y el conejo en la chistera

¿De dónde surgieron todos los elementos más pesados que el hierro? Hasta ese momento en el universo solo se habían producido nuevos núcleos a través de reacciones con partículas cargadas eléctricamente (los núcleos tienen tantas cargas positivas como protones hay en ellos). Hacía falta algo nuevo y ese algo eran las reacciones de captura de neutrones, que son partículas sin carga. Con esas reacciones, los núcleos existentes serían capaces de producir núcleos más masivos que llegaran a ser tan inestables como para no tener más remedio que desintegrarse radiactivamente en núcleos correspondientes a nuevos elementos químicos. Y ese fue precisamente el camino seguido al

hallarse ambientes ricos en neutrones donde esas reacciones de captura resultaban más probables. Distintas situaciones conducen a entornos donde se producen procesos lentos o rápidos de captura. En particular, el origen de los neutrones involucrados en los procesos rápidos es justamente uno de los escenarios asociados a la muerte de estrellas masivas: las conocidas como explosiones supernova. Durante el colapso de la estrella, antes mencionado, los protones capturan electrones y se convierten en neutrones al tiempo que emiten neutrinos y, de esta forma, la materia que compone la estrella se enriquece en neutrones. Posteriormente se produce la explosión, con una luminosidad de varios millones de soles, liberando material hacia el exterior y favoreciendo ese ambiente rico en neutrones donde se producen las capturas, creándose nuevos núcleos y con ellos todos los elementos químicos que hoy en día observamos en pequeñas cantidades y que son más pesados que el hierro.

Con esto podrían justificarse, dentro de un montón de incógnitas y pequeñas discrepancias, las abundancias de todos los núcleos que observamos en el universo. ¿Todos? No, solo con esto no es posible explicar la presencia de ciertos núcleos ligeros de litio, berilio y boro que, aunque pudieron ser creados en algunas de las etapas mencionadas, no pudieron sobrevivir en las cantidades en las que hoy son observados. ¿De dónde han salido, entonces? Se piensa que estos núcleos se producen gracias a protones de enormes energías y origen incierto, los llamados rayos cósmicos. Estos protones reventarían núcleos más pesados para crear esas especies de litio, berilio y boro. Así, la complejidad de situaciones desencadenadas tras el pistoletazo inicial, provee de infinidad de procesos, algunos de ellos inimaginables hoy en día, para sostener la entidad material de lo que somos y observamos.

El ciclo de la creación

Si algo quedó grabado a fuego en el tejido más íntimo del universo desde su comienzo, es el carácter cíclico que se desprende de cada fenómeno. Una vez salvados los instantes iniciales, cuando comenzaron a formarse estrellas y galaxias entramos en un bucle que nos ha traído hasta el mundo actual. El nacimiento de las primeras estrellas vino acompañado de los primeros colapsos y las primeras muertes. Cada objeto material siquiera conjeturado en la historia del universo, ha llevado desde siempre y lleva en sus entrañas un tiempo, una cuenta atrás regida por las leyes de la probabilidad. La desintegración radiactiva, la evolución estelar, la tasa de éxito de cada reacción entre partículas, nuestro sol, nuestro mundo, nuestras vidas... Todo va asociado a un tiempo. Y después de ese tiempo, el polvo vuelve a agruparse, nacen nuevas estrellas, nuevos mundos, nuevas potencias y el ciclo se perpetúa. Después de las primeras estrellas y las primeras supernovas vinieron generaciones y generaciones de otras que, de la misma forma, se sometieron a las reglas inherentes a todo lo que existe. Quizás, como dijo el gran físico Richard Feynman “el descubrimiento más notable de toda la astronomía es que las estrellas están hechas de átomos del mismo tipo que los de la Tierra”. Este hecho, hoy conocido como principio Cosmológico, es una de las bases de nuestro entendimiento actual del universo, y nos permite extender las leyes de la Física a todos los tiempos y a todas las partes. De alguna manera, cualquier persona puede mirarse a sí misma o mirar a su vecino, consciente de que irremediamente cada porción de nosotros ha vivido infinidad de historias hasta adoptar nuestra forma, ha recorrido distancias siderales, ha sufrido temperaturas infernales, y ha pertenecido a otros mundos y otras gentes. Nadie mejor que el maestro Carl Sagan, astrónomo y divulgador, para recordarnos que inevitablemente “estamos hechos de sustancia estelar”. Nadie mejor que nosotros mismos para ejemplificar el sentido y la evolución del universo material. Y nada mejor que la ciencia para abrirnos los ojos ante el fascinante viaje que nos espera. Por todo lo que una vez fuimos, neutrón a la deriva tras el naufragio de una estrella. Por todo lo que algún día seremos.