

## Época oscura

Es bien conocido que los átomos neutros en equilibrio no pueden emitir ni absorber luz (ondas electromagnéticas). Por lo tanto, después de la recombinación y hasta la formación de los primeros objetos en condiciones de desequilibrio, no ha podido observarse lo que ocurrió en el universo. Por este motivo, dicho período se conoce como “época oscura”. Este período inicia justamente después de la recombinación ( $10^6$  años después del BB) y termina cuando el universo tenía aproximadamente  $10^9$  años. Durante este período, ocurren procesos extremadamente importantes en la historia del universo. A partir de los átomos se forman las primeras moléculas, las cuales juegan un papel clave en los procesos de enfriamiento de las primeras condensaciones de gas, que posteriormente dieron lugar a las primeras estrellas y galaxias. Estas moléculas pueden transformar la energía térmica de la nube de gas en líneas de emisión, las cuales pueden escapar libremente hacia afuera. Gracias a esto se hizo posible la formación de las primeras protoestrellas y protogalaxias, con lo cual llegó a fin la época oscura. El contenido elemental de los núcleos durante este período no cambia; sigue siendo el mismo que emergió de la nucleosíntesis en el Big Bang, tan sólo cambia el contenido químico. A partir de los átomos de H, D,  $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$ , y Li formados durante la época oscura se originaron moléculas tales como  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2^+$ , HD,  $\text{HD}^+$ , LiH,  $\text{H}_3$ ,  $\text{H}_3^+$ , así como algunas otras menos estables. Estas moléculas se llaman “primigenias” porque se forman de elementos sintetizados durante los primeros minutos posteriores al Big Bang.

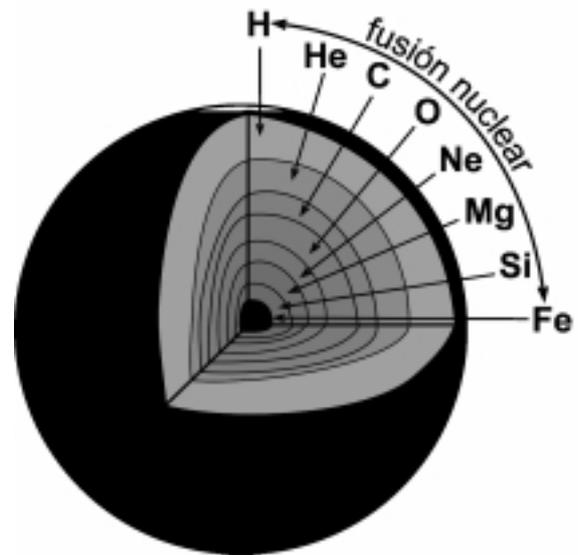
## Nucleosíntesis en las primeras estrellas

Cerca del fin de la época oscura, comenzaron a brillar las primeras estrellas, las cuales empezaron a sintetizar elementos pesados en cantidades significativas. Estas estrellas, conocidas como población III (Pop III), en su mayoría tienen masas entre 100 y 1000 veces la masa del sol y no han podido observarse en forma directa, posiblemente porque ya desaparecieron. Después de la evolución y explosión de estas estrellas, el medio interestelar se enriqueció con los productos de las mismas. Es así como por primera vez después del Big Bang cambia el contenido elemental, es decir, la abundancia de los elementos, al aumentar el número de elementos pesados en el gas. Al final de la época oscura se forman los quásares, que son los objetos más brillantes que observamos en el universo

tanto en luz visible como en ondas de radio. Los quásares nos brindan la oportunidad de medir las abundancias de los elementos ligeros en distintas épocas, aun en aquéllas en las que el universo era todavía muy joven ( $t < 10^9$  años), lo cual se puede ver en la Tabla 1.

## Nucleosíntesis en las estrellas de Pop I y II

Posteriormente la materia y la energía se han venido organizando en estrellas Pop II y Pop I, de acuerdo al contenido menor o mayor de elementos pesados. En términos generales, las estrellas Pop II son estrellas viejas y son las componentes principales del halo galáctico, mientras que las estrellas Pop I son más jóvenes y se localizan principalmente en el disco galáctico.



*Diagrama de una estrella masiva madura ilustrando la generación por fusión nuclear de elementos cada vez más pesados hacia el interior de la misma, formando una especie de corazas concéntricas. Posteriormente, los elementos más pesados que el Fe se generan por reacciones que involucran la captura de neutrones.*

Las estrellas de baja masa (menores que 5 masas solares) solamente logran sintetizar elementos relativamente ligeros del grupo de carbono, nitrógeno y oxígeno (CNO). En contraste, en estrellas mayores que 5 masas solares, ocurren interesantes procesos nucleares en los cuales no sólo se produce CNO, sino además, núcleos progresivamente más pesados, hasta llegar al  $^{56}\text{Fe}$ . Algunos de los elementos menos masivos que el  $^{209}\text{Bi}$  se forman por una combinación de captura lenta de neutrones (proceso “s”) y fuga de pequeñas partículas cargadas negativamente llamadas “partículas beta”. El combustible para las reacciones