

# Características Básicas de Estrellas

José Antonio García-Barreto

*Instituto de Astronomía,  
Universidad Nacional Autónoma de México,  
Apdo. Postal 70-264, México D.F. 04510, México;  
tony@astroscu.unam.mx*

Abril 2006

# 1 Estrellas I

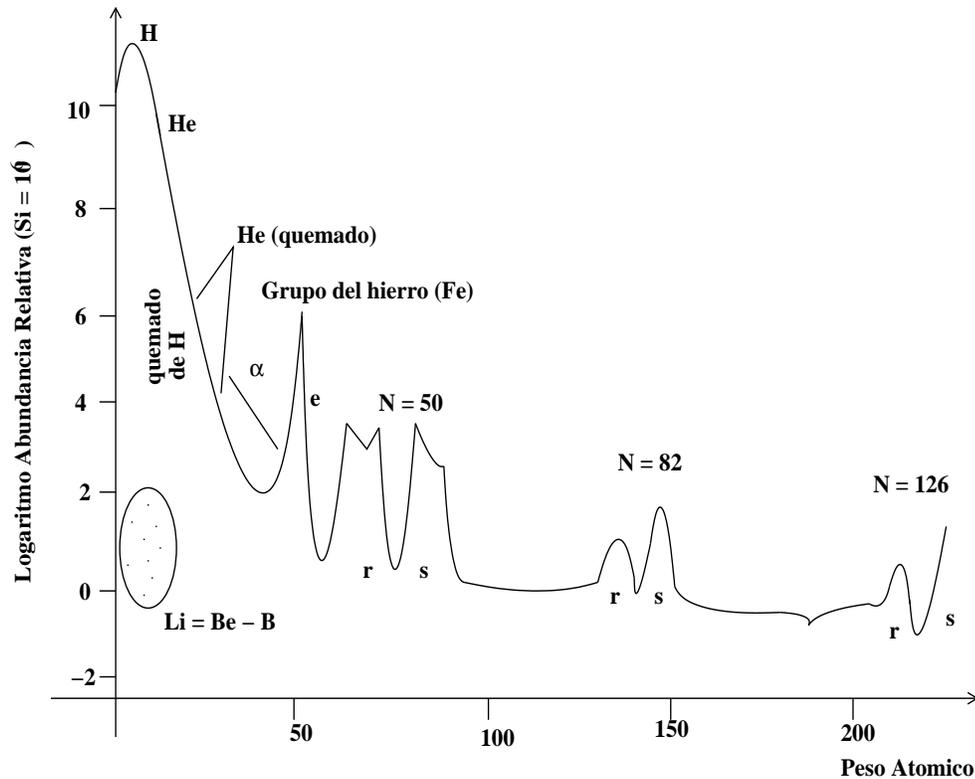


Figure 1: Curva Esquemática de las abundancias de los átomos como función del peso atómico.

Esta curva fué construida de meteoritos terrestres, datos solares y otras fuentes astronómicas. Todo indicaba que los elementos (átomos) se han creado a partir del Hidrógeno ya que el protón es estable pero no así el neutrón. El Hidrógeno es el elemento más abundante y el Helio (como producto del "quemado" del hidrógeno por la cadena protón - protón y el ciclo Carbono - Nitrógeno) es el siguiente elemento más abundante.

## 1.1 Historia

Cualquier teoría de la formación de los átomos que se jacte de ser completamente satisfactoria debe necesariamente explicar todos los detalles en forma cuantitativa de la curva de abundancias de los átomos.

Hasta 1957 habían cuatro teorías, de las cuales tres de ellas suponían que los átomos habían sido creados al inicio del Universo:

1. "Teoría fuera de equilibrio" de Gamow, Alpher y Herman (1950).
2. Misma teoría, pero con algunas modificaciones de Hayashi y Nishida (1956).

3. “Teoría de muchos neutrones” de Mayer y Teller (1949).
4. “Teoría del equilibrio” de Klein, Beskow y Treffenberg (1947).

Todas estas teorías poseían algunas características atractivas, pero ninguna tenía éxito en reunir todos los requisitos.

La cuarta teoría es aquella que propone que son las estrellas (dentro de) las que dan origen a los diferentes átomos. Esta teoría se basa en el hecho de que existen “transformaciones nucleares” dentro de las estrellas.

Este es un argumento de mucho peso en comparación con las otras tres teorías en las que se suponía o dependían de las condiciones muy especiales al inicio del Universo.

Otro argumento a favor de la cuarta teoría es que no importando el origen de los átomos, éstos deben estar distribuidos en escalas cósmicas. Las estrellas (al estar distribuidas por todo el Universo) hacen este trabajo al eyectar material (en mecanismos como los explosivos en una “nova” o en una “supernova” y en las “nebulosas planetarias”).

Las teorías que basan la formación de los átomos en las primeras etapas del Universo ciertamente hablan de una distribución a escalas cósmicas, pero una gran dificultad que encuentran es que la distribución de los átomos debió haber sido uniforme en términos espaciales e independiente del tiempo, una vez que las primeras etapas del Universo se hayan completado. Esto no está de acuerdo con las observaciones.

## 1.2 Síntesis de los átomos en las estrellas

Una estrella cualquiera posee un mecanismo autoregulador en el cual la temperatura se ajusta de tal forma que la energía emitida por la estrella está balanceada por la generación de energía por procesos nucleares.

La temperatura requerida para tener un balance adecuado depende del combustible nuclear disponible: El Hidrógeno requiere una menor temperatura para “quemarse” o transformarse en otro(s) elemento(s) que la que requiere el Helio.

El Helio a su vez requiere de una menor temperatura de “quemado” comparada con la temperatura necesaria para quemar Carbono, y así sucesivamente hasta llegar al quemado de Hierro (Fe), ya que la generación de energía por procesos de fusión (reacciones exotérmicas) termina con el hierro.

Si existe hidrógeno, la temperatura se ajusta para que “su quemado” y es comparativamente baja. Pero si ya no existe más hidrógeno en esa región (por la evolución en tiempo de la misma estrella) la temperatura central se elevará hasta que existan las condiciones para “quemar” helio. Cuando se termina el helio, la temperatura central aumenta hasta tener las condiciones necesarias para el “quemado” del siguiente elemento atómico y así sucesivamente.

La elevación de la temperatura se realiza en cada caso a través de la conversión de energía gravitacional a energía térmica.

La temperatura en el interior de la estrella depende de la distancia al centro, es decir, depende de  $R$ , de tal forma que el “quemado” de átomos se realiza principalmente en las regiones centrales, y en forma secundaria o con menos frecuencia e importancia cerca de la superficie de la estrella.

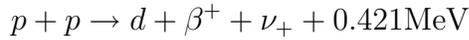
Por lo tanto, al fin de la vida de una estrella justo cuando se realiza una explosión no sólo eyecta o avienta átomos de una sola especie, sino que existe todo un espectro de composición química (muchos átomos diferentes).

Los átomos, se piensa, han sido y están siendo creados por toda una serie de procesos; los principales son:

1. Quemado de Hidrógeno
2. Quemado de Helio

3. Los procesos conocidos como:  $\alpha$ ,  $e$ ,  $r$ ,  $s$  y  $p$ ,  $x$ .

- Quemado de Hidrógeno. Es el responsable de la mayoría de la producción de energía en las estrellas. Crea helio y helio crea carbono, nitrógeno, oxígeno, fluor, neón y sodio.



Donde:

$\nu_+$  : neutrinos emitidos con positrones  $\beta^+$

$\nu_-$  : antineutrinos emitidos con electrones  $\beta^-$

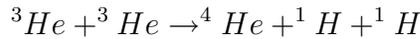
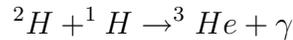
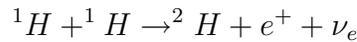
$d$  : deuterón

La sección recta para la reacción  $pp$  es  $10^{-47}\text{cm}^2$ .

La subsecuente aniquilación de un positrón con un electrón da una energía total de 1.442 MeV.

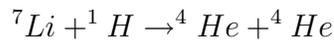
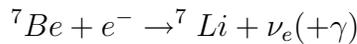
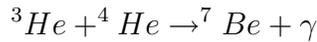
### 1.3 Cadena Protón - Protón

**Cadena PP1:**

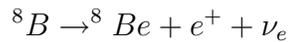
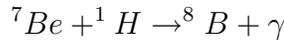


${}^2H$  - Deuterón,  $e^+$  - Positrón,  $\nu_e$  - Electrón neutrino

**Cadena PP2:**



**Cadena PP3:**



Las tres cadenas  $PP$  tienen como resultado la producción de Helio.

${}^8Be$  es muy inestable con una vida "promedio" de  $9.7 \times 10^{-11}$  seg.

## 2 Estrellas II

### 2.1 Síntesis de Elementos Químicos

Ocho tipos diferentes de procesos termonucleares son necesarios para explicar todas las características de la curva de abundancias relativas, pensando que sólo el Hidrógeno es el único átomo que se formó al inicio del Universo.

Los procesos son:

1. **Quemado de Hidrógeno:**  $H \rightarrow He$
2. **Quemado de Helio:**  $He \rightarrow C$
3. **Proceso Alfa:**  $\alpha \rightarrow Ne \rightarrow Mg, Si, S, A, Ca, Ti$
4. **Proceso e:** En donde bajo condiciones de muy alta temperatura y densidad se sintetizan los átomos del grupo de hierro.
5. **Proceso s:** Es un proceso donde se capturan neutrones y existe emisión de radiación gamma. La captura de un neutrón toma entre 100 a 100,000 años. Es el proceso responsable por elementos  $23 < A < 46$  y  $63 < A < 209$ .
6. **Proceso r:** Es un proceso de captura de neutrones pero en muy poco tiempo (0.01 a 10 seg.). Es el proceso responsable de isótopos en el intervalo de  $70 < A < 209$  y por la producción de uranio y "torium".
7. **Proceso p:** Es el proceso de captura de protones con emisión de radiación gamma o la emisión de un neutrón enseguida de la absorción de un rayo gamma. Es responsable de la producción de átomos e isótopos con muchos protones (bajas abundancias).
8. **Proceso x:** Este proceso es el responsable de la producción de Deuterio, Litio, Berilio y Boro. Parece que estos elementos se producen en regiones de baja densidad y baja temperatura.

## 3 Estrellas III

Masas de partículas y núcleos:

$$m_p = 16726.22 \times 10^{-28} \text{ gm}$$

$$m_e = 9.1 \times 10^{-28} \text{ gm}$$

$$m_n = 16749.27 \times 10^{-28} \text{ gm}$$

$$m_{3He} = 50064.11 \times 10^{-28} \text{ gm}$$

$$m_{4He} = 66446.55 \times 10^{-28} \text{ gm}$$

$$m_{2H} = 33435.83 \times 10^{-28} \text{ gm}$$

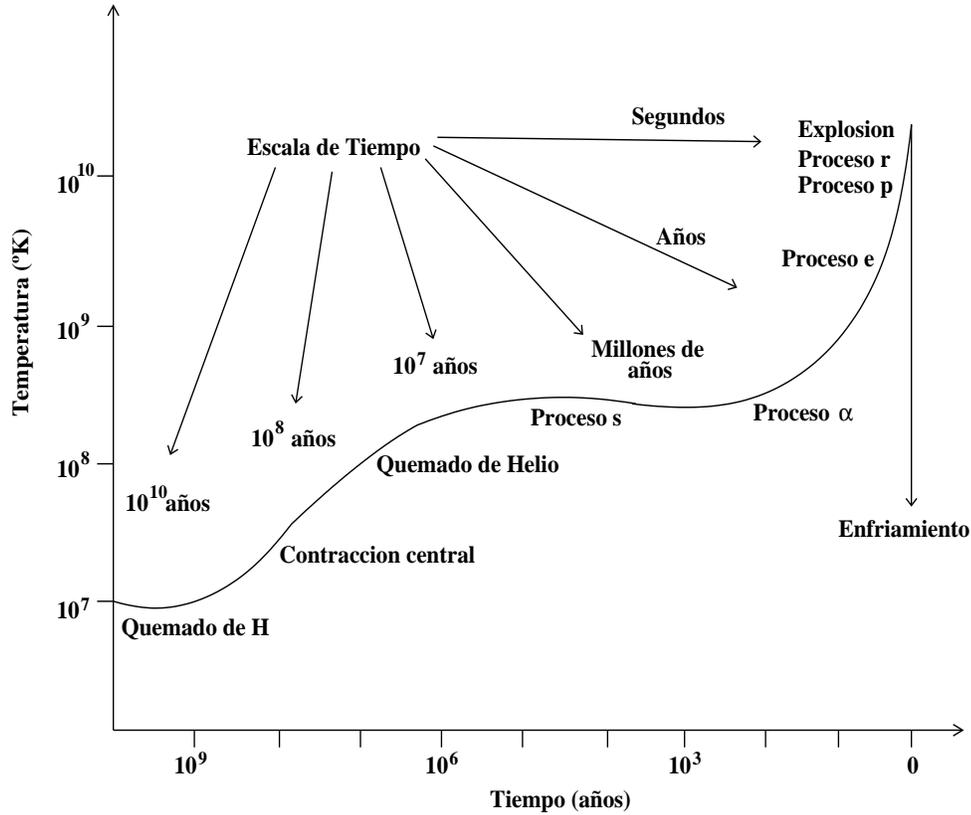


Figure 2: Escalas de tiempo de los procesos de síntesis de elementos en las estrellas. La curva da la temperatura central como función del tiempo para una estrella de aprox. 1 masa solar.

## 4 Estrellas IV

### Tipos Espectrales

#### Tipo de Estrella y sus Características:

- **O:** Estrellas calientes (20,000 - 40,000 °K). Emisión intensa del ultravioleta. Líneas de absorción de He una vez ionizado. Emisión de átomos que requieren mucha energía de excitación. Emisión del átomo Hidrógeno débil.  $T_{efectiva} > 25000^{\circ}K$
- **B:** Mucha emisión de la línea de He atómico (neutro).  $12000^{\circ}K < T_{efec} < 30000^{\circ}K$
- **A:** Emisión de líneas de hidrógeno. Líneas de emisión de calcio una vez ionizado.  $7500^{\circ}K < T_{efec} < 11000^{\circ}K$
- **F:** Líneas de emisión de hidrógeno débiles. Líneas de calcio una vez ionizado aumentan su intensidad.  $6000^{\circ}K < T_{efec} < 7500^{\circ}K$
- **G:** Intensas líneas de emisión de calcio una vez ionizado. Intensas líneas de hierro y otros metales (magnesio).  $5000^{\circ}K < T_{efec} < 6000^{\circ}K$

- **K:** Dominan las intensas líneas de metales. El continuo es muy débil en el azul.  $3500^{\circ}K < T_{\text{efec}} < 5000^{\circ}K$
- **M:** Dominan líneas de óxido de titanio (TiO) y las de metales neutros.  $T_{\text{efec}} < 3500^{\circ}K$

## Agradecimientos

JAG-B desea agradecer a la alumna Tula Bernal Marín por la ayuda en la elaboración de las figuras y transcripción del texto manuscrito a este documento.

## Bibliografía

**Burbidge, E.M., Burbidge, G.R., Fowler, W.A., Hoyle F.** 1957. *Reviews of Modern Physics*, Vol. 29, Num. 4, Pag. 547.

**Hansen, C.J., Kawaler, S.D.** 1994. *Stellar Interiors: Physical Principles and Structure and Evolution*, Nueva York: Ed. Springer Verlag, Pag. 209.

**Clayton, D.D.** 1983. *Principles of stellar evolution and nucleosynthesis*, Ed. The University of Chicago Press, Pag. 362.