

J. Álvaro

---

**'¿ Por qué el cielo es oscuro durante la noche ?'** - Estamos tan acostumbrados a verlo así que la pregunta correcta parece que tendría que ser '¿ y por qué no debería ser así, es decir, oscuro ?' Pero si el universo está lleno de estrellas, hasta un número tan grande que podríamos considerarlo infinito, aunque la contribución al brillo nocturno de cada una de ellas sea minúsculo ..., el cielo, también durante la noche, debería ser de un intenso brillo ... ¿ Por qué esto no ocurre ?

*La pregunta planteada puede parecer simple, e incluso irrelevante, pero no tiene una respuesta sencilla y, en cualquiera de los casos, sí que tiene importantes implicaciones en las características de nuestro universo.*

*Es conocida como la Paradoja de Olbers porque fue Heinrich Olbers quien la formuló en 1828, aunque antes Edmund Halley (1720) y Loys de Chéseaux (1744) ya habían reparado en esta cuestión.*

*Las hipótesis de partida que definen el problema y conducen a la paradoja son pocas y sencillas:*

- a) *Nos encontramos en un universo euclídeo,*
- b) *que se extiende ilimitadamente por el espacio,*
- c) *que ha existido desde siempre y*
- d) *que está poblado uniformemente por fuentes luminosas (estrellas) con una densidad constante 'ρ' y una luminosidad media 'l' también constante.*

*Con estas premisas, el flujo de radiación 'f' recibido de una fuente luminosa 'l' situada a una distancia 'r' sería*

$$f = \frac{l}{4 \pi r^2}$$

*teniendo en cuenta que el número de fuentes en una corteza esférica de radio r y grosor dr, con la densidad media ρ, es por definición según la premisa d)  $dN = \rho 4 \pi r^2 dr$ , se tendría un flujo total recibido 'F'*

$$F = \int_0^{\infty} f dN = l \rho \int_0^{\infty} dr$$

*y ésta es una integral que diverge, aunque l y ρ sean pequeñas evidentemente, por lo que estaríamos ante una cantidad infinita de radiación y, por tanto, con un cielo nocturno que hace tiempo nos habría achicharrado.*

*La paradoja resulta obviamente de que esto no ocurre. De hecho, estamos ante un cielo nocturno que podemos definir como 'oscuro', (... cada vez menos, aunque por otras causas, claro).*

*Hay que pensar entonces que alguna, o varias, de las pocas hipótesis iniciales son erróneas o, tal vez, que hay premisas no contempladas en las mismas.*

*Lo primero que puede alegarse es que las estrellas no están distribuidas libremente al azar por el universo, sino que éstas se aglutinan formando galaxias. Pero en cualquier caso el razonamiento inicial sobre la uniformidad en la distribución de las fuentes luminosas (estrellas), puede aplicarse entonces a las galaxias de manera que el argumento sigue siendo válido.*

*Si, sobre la misma premisa, dudamos acerca de una densidad de fuentes mantenida y constante, o bien de una luminosidad media igualmente mantenida ..., (por ejemplo, considerando que uno o ambos parámetros disminuyen con la distancia), estaríamos ante un escenario en el cual nuestra posición en el universo sería privilegiada. Esto es, la percepción de dicho universo sería diferente dependiendo de la ubicación en el mismo. Esto no parece razonable.*

*Una solución a la paradoja, propuesta en el siglo XIX por lord Kelvin, planteaba la 'extinción' de la radiación con la distancia debida a polvo y nubes de gas interpuestas en el medio interestelar. Pero este argumento no es suficiente para considerarlo como tal solución. Aunque dichas nubes de gas y polvo existan y absorban radiación, antes o después deben llegar al equilibrio termodinámico con el campo de radiación y, a su vez, reemitirían la radiación absorbida.*

*Si cuestionamos la hipótesis a) y suponemos un universo no euclídeo, por ejemplo ligeramente curvado, (con curvatura positiva o negativa), tampoco esto aporta solución al problema porque, incluso en esta situación, la integral divergente que plantea la paradoja sigue siendo válida.*

*Así pues, sólo queda poner en cuestión las premisas b) y c). Sabemos que la velocidad de la luz es finita:  $c = 299.792.458$  m/s. Si el universo no hubiera existido desde siempre, sino que por ejemplo tenga una edad 'h', entonces el infinito de la cota superior en la integral no sería tal sino  $R = h c$ , esto es:*

$$F = l \rho \int_0^{hc} dr$$

*y de esta integral no puede decirse que sea divergente, por lo que ya no son irrelevantes los posibles valores de  $l$  y  $\rho$ . Si ajustamos estos últimos a sus valores empíricos, podemos sacar conclusiones acerca del valor de 'h', o sea, de la edad del universo.*

*Para ello consideraremos como fuentes luminosas las galaxias de campo, (esto es, todas aquellas que no se encuentran en cúmulos de galaxias), siguiendo el*

*ajuste de Felten (1985) mediante una función de tipo Schechter, que representa la distribución de luminosidades 'l' de las galaxias en la forma*

$$\rho(x) dx = \phi' x^\alpha e^{-x} dx$$

*donde  $\rho$  es la densidad de galaxias,  $x = l/l'$  y  $l'$ ,  $\phi'$  y  $\alpha$  son parámetros que Felten ajusta a los siguientes valores:  $l' = 1.24 \cdot 10^{10} \kappa^{-2} L_\odot$ ,  $\phi' = 1.2 \cdot 10^{-2} \kappa^3 \text{ Mpc}^{-3}$ ,  $\alpha = -1.25$ ,  $\kappa = 0.65$  y  $L_\odot$  es la luminosidad del Sol.*

*Con estos valores la cota superior de la integral 'hc' para que el cielo nocturno fuera tan brillante como el diurno, (esto es, como el Sol), sería  $hc = 10^{53} \text{ km}$ , lo que significaría que las galaxias deberían haber existido, con una luminosidad y distribución similar a las actuales, desde hace  $10^{20}$  años.*

*Sin embargo, sabemos que una estrella como el Sol sólo 'vive' unos  $10^{10}$  años. Para que una galaxia pueda llegar a tener esa edad ( $10^{20}$  años), sería necesario que ésta fuese capaz de formar  $10^{10}$  estrellas de una masa media similar a la del Sol cada  $10^{10}$  años, y esto implicaría que la masa media de la galaxia fuese de  $10^{20} M_\odot$ , algo descartado por las observaciones, que además asignan a éstas una vida media similar a la de las estrellas más viejas detectadas en nuestra galaxia:  $\sim 10^{10}$  años.*

*Por otro lado, y a partir de las estimaciones deducidas de la expansión del universo, la constatación de Hubble y el modelo del Big Bang, se estima que la edad del universo 'h' es del orden de  $1.4 \cdot 10^{10}$  años, lo que es coherente con lo dicho hasta aquí y viene a justificar satisfactoriamente la solución dada a la paradoja de Olbers.*

*Precisamente, la expansión del universo contribuiría también al oscurecimiento del cielo nocturno en la medida en que la radiación procedente de las galaxias más lejanas sufre un corrimiento al rojo y gran parte de su radiación deja el espectro visible para pasar al infrarrojo y a longitudes de onda aún más largas.*

---

*Bibliografía: "Cosmología Física" – Jordi Cepa*