

# El Universo

## 3d.1 ) Las Primeras Cosmologías

### Vuelta a la paradoja de Olbers

Cuando comenzamos esta unidad vimos un razonamiento paradójico conocido como paradoja de Olbers que aparentemente demostraba que si el universo era infinito el cielo no podía ser negro.

Veremos como resolviendo la paradoja planteada en términos que Olbers jamás se imaginó iremos acercándonos a temas fundamentales en nuestro estudio.

Hemos visto los intentos de las evoluciones que experimentó la cosmología desde el principio del curso cuando vimos la bóveda celeste, el “firmamento”, luego la expansión que llevó de Herschel a Kapteyn A Shapley y como Hubble determinó la existencia de otras Galaxias irrefutablemente al definir estrellas individuales en Andrómeda y luego su distancia.

**Las primeras cosmologías** de la época antigua eran de origen cultural y pre-científico.

Podemos incluir el Génesis bíblico para los judíos, cristianos y mahometanos.

Historias de las tribus indígenas de las tres Américas o de la antigua Grecia.

Todas estas teorías tienen en común una curiosa ingenuidad respecto a la complejidad real y una profunda ignorancia cuando mencionan las referencias temporales.

Sólo la mitología hindú permanece cercana a esta escala cuando menciona los tiempos del universo.

Esto no significa nada, la fe no es una herramienta científica y hemos visto y veremos que las creencias sobrenaturales simplemente tienden a alejarnos de la solución correcta del problema.

Olbers nació en Arbergen, cerca de Bremen (Alemania), en 1758.

Doctor en medicina y aficionado a la astronomía, así como a las matemáticas, Heinrich Olbers quien presentó y desarrolló la teoría que, posteriormente, fue conocida como Paradoja de Olbers. Como vimos anteriormente, en la época de Olbers lo que se sabía acerca de las dimensiones del Universo era muy limitado. Las galaxias no eran conocidas, siendo consideradas como simples nebulosas, y ni siquiera era conocido el método trigonométrico de las paralajes, que permitirían conocer las distancias de las estrellas más próximas. En tales condiciones nadie podía discutir esta hipótesis y, si bien la respuesta a la paradoja sólo hablaba de estrellas resultaría para gran sorpresa *que la paradoja también era válida para las galaxias*.

No cabe duda de que en los supuestos de Olbers tenía que haber algún fallo. O bien el Universo no era infinito o, si lo era, el número de estrellas no debía ser ilimitado, no era lo suficientemente viejo o bien había un movimiento global de estrellas.

Una al menos de las hipótesis en que se apoya la paradoja, la uniformidad de la distribución, resultaba muy discutible debido a las observaciones astronómicas que estudiamos con William Herschel y Jacobus Kapteyn, que mostraban que la porción de Universo visible desde la Tierra no parecían confirmar esa uniformidad y le daba la forma de lente. La mayor cantidad de estrellas por unidad de superficie aumentaba continuamente en dirección a la Vía Láctea, alcanzaba un máximo en el plano de ésta y pasaba por un mínimo en la dirección perpendicular a dicho plano. Actualmente sabemos que existen galaxias, cúmulos de galaxias y supercúmulos de galaxias, distribuidos en estructuras filamentosas, según las últimas teorías. Pero a medida que la escala aumenta, el Universo está distribuido de forma isotrópica. Es decir, simplificando, uniforme.

**El Universo de Einstein-de Sitter** es un caso particularmente sencillo donde la tendencia a la expansión y la atracción gravitatoria están en un punto crítico de tal manera que la energía total es cero. Aunque actualmente este modelo está prácticamente descartado por las observaciones, su manipulación matemática es de tal simplicidad que nos sirve como ejercicio de gran utilidad para entender cómo se relacionan los distintos parámetros en cosmología.

Suponiendo que el Universo es isótropo para grandes magnitudes (del orden de  $10^3$  megaparsecs) y no en pequeñas escalas, como es evidente, nos quedan dos alternativas: el Universo **no es suficientemente viejo ni tampoco estático**.

La solución nos la dan estos dos conceptos. En 1929, **Edwin Hubble dio a conocer la ley que lleva su nombre**, la cual descubría la expansión del Universo y que nos indica que las galaxias se separan entre ellas a una velocidad que es igual al producto de su distancia ( $r$ ) por una constante ( $H$ ) aún no determinada con exactitud, pero que varía entre unos parámetros (entre 50 y 100 km/s.Mpc).

¿Cómo llega Hubble a esta idea?

Resulta de la observación directa de los espectros de las galaxias.

Hubble y Humason, (su ayudante que terminó de astrónomo al querer impresionar al padre de su novia ya que en realidad transportaba las piezas del telescopio en una carreta de mulas), observaron que los espectros de las galaxias lejanas estaban “corridos” hacia el rojo.

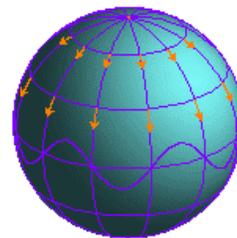
Según el efecto Doppler esto significaba que todas las galaxias se alejaban de nosotros.

Luego. ¿Esto nos ponía nuevamente en el centro del universo?

Pare ese entonces ya teníamos mejor aprendida la lección de humildad y resultó evidente que la solución era otra, aunque no menos fantástica.

**El universo se expande** y al igual que un globo que se infla todos los puntos se alejan de todos. No sólo eso si no que cuanto más alejado el punto mayor la velocidad de alejamiento al acumularse las aceleraciones intermedias. En la figura vemos un ejemplo bidimensional.

Era el fin de la idea de un Universo estático, vigente hasta entonces. En realidad no es que las galaxias, cúmulos y supercúmulos de galaxias tengan movimiento propio, sino que el mismo es debido a que el espacio en su totalidad se está expandiendo.



Como resultado de esta expansión, la velocidad de recesión de una galaxia es proporcional a la distancia que la separa de nosotros. A causa de este fenómeno, la radiación emitida por una galaxia **aparece desplazada hacia el rojo, por el efecto Doppler**.

Esto lo vimos al estudiar los espectros de las estrellas en la unidad 2.

Esta reducción,  $\Delta\lambda / \lambda$  ( $\lambda$  es la longitud de onda y  $\Delta\lambda$  es la variación de longitud de onda), es igual a la velocidad a la que se aleja la galaxia dividida por la velocidad de la luz. Esta expresión es válida para velocidades no relativistas, es decir para  $v < c$ , siendo  $c$  la velocidad de la luz. Como la energía de un fotón es inversamente proporcional a su longitud de onda, y por tanto directamente proporcional a su frecuencia, la expansión produce una reducción de esa energía. El resultado es la disminución de la intensidad de la luz de las galaxias que nos llega, más acentuada mientras más lejanas se encuentren.

Teniendo en cuenta este debilitamiento constante de la radiación que llega hasta nosotros desde distancias cada vez más grandes, la cantidad total de radiación que incide sobre la Tierra tiende hacia un valor finito que, por lo demás, tampoco es excesivamente grande. La paradoja de Olbers no constituye obstáculo alguno para la existencia de infinitas galaxias, siempre que el Universo se encuentre en expansión.

Sin embargo, la expansión del Universo implica que esta luz está tan tremendamente desplazada hacia el rojo que nos llega hoy en forma de radiación de microondas desde todas las direcciones.

Era la solución definitiva a la paradoja de Olbers. Observando galaxias cada vez más lejanas podemos verlas en el momento que acaban de formarse. Entonces es posible observar a nuestro alrededor una esfera de unos 15.000 millones de años luz de radio (fecha aproximada del Big Bang), más allá de la cual todavía no han nacido las galaxias. Esta esfera es el "horizonte observable" y el hecho importante es que dentro de esta esfera existen un número finito de estrellas y galaxias que invalida el primer supuesto del que hemos hablado. Ya no existen infinitas capas, sino que el número de ellas es limitado. Por tanto, la paradoja de Olbers queda, **(ahora sí)**, resuelta y los motivos hay que encontrarlos en la expansión y la edad finita del Universo, siendo esta última el factor más importante para resolverla.

## **Algunos datos históricos**

En febrero de 1848, Edgard Allan Poe (1809-49), que además de su conocida faceta como escritor era un científico amateur, publicó un ensayo titulado Eureka, en el cual daba la siguiente explicación a los "vacíos" oscuros observados entre las estrellas: "Podríamos comprender los vacíos que nuestros telescopios encuentran en innumerables direcciones suponiendo que la distancia hasta el fondo invisible es tan inmensa que ningún rayo de luz procedente de allí ha sido todavía capaz de alcanzarnos".

Nadie se percató de estas especulaciones de un científico amateur y Poe murió antes de que se divulgara este argumento. Tampoco hubo nadie que se percatara del interés del asunto cuando en 1907, el científico irlandés Fournier d'Albe escribiera en un artículo: "Si el mundo fue creado 100,000 años atrás, entonces la luz de los cuerpos que estuvieran situados a más de 100,000 años luz no podría habernos alcanzado en el tiempo presente". El mismo d'Albe había usado la idea de Lord Kelvin, que había publicado la idea en un volumen de conferencias en 1904 y que fue ignorado hasta que Edward Harrison, de la universidad de Massachussetts, lo rescatara en los ochenta, y publicara el hecho en su libro *Darkness at Night* (1987). Es curioso señalar como desde Newton hasta Hubble, pasando por los innumerables hombres de ciencia que conocían la paradoja de Olbers, nadie se percatara de que el simple hecho de que el cielo fuera tan oscuro indicaba que el Universo no era infinitamente viejo. Aún hoy en día, dentro de la imagen que nos ofrece el modelo del Big Bang, aunque la paradoja de Olbers ya no sea ninguna paradoja, el hecho de contemplar un cielo nocturno es una de las grandes evidencias del Big Bang.

## **3e.1 ) Las Corrientes Cosmológicas**

### **La gran Explosión o Big Bang**

Hemos visto que el universo está en expansión. Que a medida que pasa el tiempo las galaxias se alejan y el universo en si se hace más grande.

El razonamiento siguiente es investigar que sucede si investigamos hacia atrás en el tiempo. Pues si bien no existe fin necesariamente a la expansión es igualmente cierto

que no se puede regresar indefinidamente hacia atrás, en un momento de la historia del universo, todo estaba en un mismo sitio en un mismo tiempo. **El inicio.**

La historia empieza a cambiar cuando el matemático ruso Alexander Friedmann en 1922, desafiando las afirmaciones de Albert Einstein de que el universo era estático, publicó un ensayo en el cual demostraba un error en los cálculos de Einstein y que las propias ecuaciones de éste permitían la descripción de un universo que evoluciona. En 1927 el sacerdote belga y físico teórico George Lemaître aprecia los estudios de Friedmann y propone que un «átomo primigenio», denso y muy caliente estalló en forma similar a la bola de fuego del Big Bang para crear el actual universo. En la década de 1920, el astrónomo Edwin Hubble y otros colegas suyos con sus observaciones demostraron que el universo se estaba expandiendo; todas las galaxias se alejaban unas de otras, incrementando el espacio entre ellas y sus vecinas.

Las teorías de Friedmann y Lemaître, así como las observaciones de Hubble, sugerían que, si las galaxias se separaban, tuvo que haber un tiempo en que se encontraran muy juntas: era el modelo del Big Bang o Gran Explosión. Las posteriores teorías de George Gamow y el descubrimiento, en 1965, de las radiaciones de fondo de microondas por parte de Penzias y Wilson, fue la confirmación de que el Universo había tenido un principio. La luz proveniente de lugares muy distantes estaría alcanzándonos ahora. Sin embargo, la expansión del Universo implica que esta luz está tan tremendamente desplazada hacia el rojo que nos llega hoy en forma de radiación de microondas desde todas las direcciones. Fondo de radiación fácilmente comprobable en la radioastronomía.

Aunque Lemaître, «el padre de la teoría del Big Bang», diese el primer paso, su versión moderna se debe a George Gamow y a sus alumnos Ralph Alpher y Robert Herman. En los años ' 40, calcularon la síntesis de los elementos químicos de la explosión primordial y, al hacerlo, trasladaron la idea del Big Bang del campo de las hipótesis al terreno de la ciencia de observación. Alpher y Herman estimaron que el espacio debería estar actualmente bañado por un mar de energía electromagnética que, en términos del cuerpo negro, estimaron que ésta debía bordear los  $5^{\circ}$  K por encima del cero absoluto, lo que informaron en una carta enviada a la revista científica Nature en 1948. La estimación sobre la existencia de la energía electromagnética quedó confirmada cuando, dieciocho años después, Penzias y Wilson lograron identificarla, calculando que esta comportaba una temperatura de  $2,7^{\circ}$ K.

La demostración hecha por Hubble, como la comprobación de la temperatura de la radiación de fondo que realizaron Penzias y Wilson, dieron cabida para que desde la década de los ' 50, surgiera una aceptación mayoritariamente generalizada de la hipótesis de que el universo había tenido su comienzo en la explosión de un átomo primigenio (Big Bang); que las enormes densidades y las altas temperaturas al principio del tiempo y del espacio pudieron haber borrado la distinción entre materia y energía (**Big Squeeze**), y que de esa sopa “materia-energía” se habría generado la energía radiante. Luego, mientras el universo comenzaba a expandirse y a enfriarse, la primera materia en emerger lo habría hecho en forma de partículas elementales: protones, neutrones y electrones constituyendo lo que se ha llamado «**ylem**», un término tomado de Aristóteles, para esta materia primordial. Posteriormente, a medida que se enfriaba y se hacía menos denso el «**ylem**» y se reducía la radiación de alta energía, los neutrones existentes empezaron a combinarse con protones, formándose los núcleos atómicos. Los protones solitarios atraían a los electrones para crear átomos de hidrógeno, y los núcleos más pesados reunían también sus complementos más grandes de electrones. El “**Big Squeeze**” pudo haber sido el crisol de todos los elementos observados hoy en el universo. En esto hay que consignar que diferentes investigaciones de laboratorio han concluido que lo inmediatamente anterior descrito ocurrió dentro de los primeros minutos de la expansión cósmica donde se constituyó un proceso igual que la alquimia: En el **ylem**, una sustancia era transformada en otra.

Aún así se postularon otras teorías que también explicaban el universo desde otros puntos de vista.

De todas formas cualquier cosmogonía, (rama de la astronomía que estudia el comienzo del universo), debe tener en cuenta los datos derivados de la experimentación como ser el corrimiento al rojo y la expansión universal.

### **La teoría del Estado estable de Bondi, Hoyle y Gold**

En 1948, Bondi, Gold y Hoyle inventan la cosmología del estado estable. Según Bondi y Gold, aunque las galaxias huyan, el universo tiene que exhibir en todo momento el mismo aspecto, desde cualquier punto que se lo observe. Para compensar el cambio de aspecto que causaría la expansión del espacio, postularon la creación continua de

materia a razón de un átomo de hidrógeno por metro cúbico cada trescientos mil años, una cantidad imposible de detectar pero suficiente para rellenar los huecos que va dejando la fuga de las galaxias. La frase “**Big Bang**”, fue acuñada entonces por Hoyle para ridiculizar la teoría relativista del universo. El cosmos en estado estable se crea sigilosamente, día tras día, y nunca asustará con grandes novedades.

Pocas veces en la historia de la ciencia dos científicos de la talla de Hoyle y Gamow se encontraron en situaciones tan opuestas. Las discusiones y argumentaciones de ambos fueron ingeniosas y acertadas. Ambos grandes divulgadores convirtieron sus teorías en un espectáculo del que ningún astrónomo pudo pasar de largo. Curiosamente fue Hoyle quien acuñaría el término universal por el cual se conoce la teoría de la que Gamow es defensor acérrimo.

Entre 1955 y 1967 la mayoría de la comunidad científica rechazó la teoría de Bondi, Gold y Hoyle, que actualmente sólo conserva un puñado de fieles.

Hay que mencionar que el mayor problema para las teorías cosmológicas era que la edad de la tierra calculada por la geología era de al menos 4.500 millones de años y los instrumentos astronómicos no lograban recoger datos con los que cuantificar una edad igual o superior para el universo.

En 1952, un nuevo estimado de las distancias estelares aumentó la edad del universo en varios miles de millones de años, resolviendo el conflicto entre cosmología y geología. (Hoy se estima que han transcurrido entre 12.000 y 18.000 millones de años desde el “Big Bang”, tiempo de más para que las rocas radioactivas de la tierra alcancen su estado actual).