

## ¿TUVO ORIGEN EL UNIVERSO?

Mario Alberto Castagnino  
Rosario, 12 de Octubre de 1994

### *Presentación del libro - El Origen del Universo*

J.J. Sanguineti – UCA – Buenos Aires 1999

Los físicos teóricos sabemos, desde hace mucho tiempo, que la unificación de dos capítulos distintos de la física, en un formalismo único, conduce a resultados trascendentes.

Daré un ejemplo tradicional.- El magnetismo es el estudio de los imanes naturales, que se atraen y se rechazan, como todo el mundo sabe. El magnetismo es un interesante capítulo de la física, pero poco en la vida práctica podemos hacer con estos imanes. La electricidad estudia las cargas eléctricas y sus movimientos. Es otro capítulo de la física con iguales características. Pero, a mediados del siglo pasado, Maxwell unificó estos dos capítulos en un formalismo común: el electromagnetismo. En este formalismo se explican las relaciones entre los imanes y las cargas eléctricas. Sus principios o postulados fundamentales son las Leyes de Maxwell. Como consecuencia de este formalismo se comprendió la naturaleza de la luz y de las ondas electromagnéticas: las ondas de radio, de televisión, los rayos X, etc. Vemos televisión, escuchamos radio, o nos radiografían, gracias a esta exitosa síntesis de dos capítulos, aparentemente dispares de la física. Boltzmann dijo de las leyes de Maxwell, “¿es un dios el que esto ha escrito?” y Lichnerowicz dice que esta síntesis "hace aún soñar a los físicos ". Podríamos multiplicar los ejemplos. Daré solo dos más.- Einstein unificó los conceptos de masa y energía, creando la noción de masa-energía. Es de este modo que la energía puede transmutarse en masa y ésta en energía. Y es de este modo que aparece la energía nuclear que, tal vez, ahora alimenta la lámpara que ilumina la página que el lector lee. Esta unificación puede considerarse la síntesis del capítulo electromagnetismo y el capítulo mecánica de la física, y constituye un nuevo capítulo.- la relatividad especial. Einstein unificó también las nociones de espacio y de tiempo en un concepto único: el espacio-tiempo, y le dio una estructura de espacio curvo y con ello logró una de las síntesis más notables, una teoría hermosísima: la relatividad general, de cuya trascendencia, aún hoy, no podemos darnos cabal cuenta. Esta unificación puede considerarse cómo la síntesis del capítulo relatividad especial y el capítulo gravitatorio de la física.

Lo que ocurre entre los capítulos de la física, ocurre también entre las ciencias mismas. Cuando la química -se unifica con la física aparece la físico-química que permite explicar muchísimas cosas, entre ellas las valencias de los átomos. Cuando esta físico-química se combina con la biología aparece la posibilidad de explicar a las grandes moléculas-. el ADN, de entender el código, genético, de comprender el origen de la vida...

De todo esto se desprende un concepto fundamental-. la ciencia es única. Lo que llamamos ciencias: física, química, biología..., son sólo capítulos de esta estructura general. Los capítulos de estas ciencias -magnetismo, electricidad...-, son meros párrafos de un libro único y gigantesco.- la ciencia. Esta ciencia se rige, probablemente,

por principios también únicos, que los científicos tenemos que develar. Tal vez esta ciencia única tenga un principio único, un principio último. Pero no hemos hablado de la filosofía, que es también otra ciencia, y que en nuestra perspectiva sería sólo un capítulo, tal vez el primero por su naturaleza, fundamental, o tal vez el último, ya que podríamos considerarla como una coronación de un gran libro de la ciencia. Entonces es necesario, diríamos casi urgente, unificar también la filosofía con la física. Y ya los griegos, que todo entrevieron y proveyeron, llamaban a la filosofía: metafísica. Qué mejor que empezar esta unificación con el capítulo más filosófico de la física: el estudio del sistema físico que contiene todos los sistemas físicos.- el universo. Vale decir tratar de unificar la filosofía con la cosmología. Esta tarea ciclópea es encarada por el Dr. Juan José Sanguineti, quien ha tenido la deferencia de invitarme a presentar su libro. En estos primeros párrafos he querido enfatizar que esta tarea no es sólo una interesante especulación teórica. Por ello he dado una corta, pero creo elocuente, serie de resultados prácticos a que esta hipótesis de trabajo, la "unicidad de la ciencia", ha conducirlo. La unificación que estudiaremos, tal vez no tenga resaltados prácticos. tan espectaculares, pero seguramente tendrá resaltados a la vez útiles, Y transcendentales.

El autor de este libro es un filósofo que se acerca a la cosmología, utilizando como base un curso que dictó en la Universidad Católica Argentina. Yo soy un físico que estudia cosmología, tal vez, me podría llamar un cosmólogo, que a veces me he acercado a la filosofía. Por cierto que dicté, en la misma Universidad, una conferencia donde me planteaba una pregunta, que más puede ser considerada metafísica que física: ¿ nació el universo?, ¿ tuvo un origen el universo?. Por qué nuestra metafísica debiera ser de naturaleza distinta si la física del universo, en que vivimos, corresponde a la de un ser vivo y, en consecuencia, ha tenido un nacimiento y tendrá una muerte; o si dicha física corresponde a la de un ser eterno, diríamos divino, que nunca ha nacido y nunca morirá. A esta pregunta y su respuesta quiero dedicar esta introducción para que este libro contenga los esfuerzos convergentes de un filósofo y de un físico para comenzar, ya sea sólo a bosquejar la, gran síntesis.

Por otra parte: qué mejor presentación para un libro, dedicado al origen del universo; que preguntarnos si dicho origen realmente existió.

## **EL ORIGEN DEL UNIVERSO**

Voy a comenzar diciendo cuál es mi primer pensamiento, toda vez que se me invita a dar una conferencia sobre cosmología. Pienso inmediatamente: otra vez tengo que decir la conferencia que vengo repitiendo prácticamente todos los años. Porque todos los años alguien me invita a hablar del origen y la evolución del universo. Entonces siempre me viene a la memoria, una opinión crítica, y poco piadosa, de Luigi Dalla Piccola sobre Antonio Vivaldi: "Vivaldi no escribió 300 conciertos, escribió, 100 veces el mismo concierto". Análogamente, yo no he dado 20 conferencias, yo he dado 20 veces la misma conferencia. Sin embargo alguna vez comencé a meditar en las conferencias que había dado, y observé que cada conferencia fije en realidad distinta; porque la evolución de la ciencia es tan rápida, que de un año a otro siempre agregué algo, y algo que radicalmente fue diferente.

De ahí me surgió una idea y me dije: ¡ qué interesante! Hace 20 años que vengo dando este tipo de conferencias, ¿cómo era la conferencia de hace 5, 10, 20 años?. Y entonces continué preguntándome: ¿cómo hubiese sido hace 1000 años, 2000, 3000 años? Este fue el tema de la conferencia en la Universidad Católica Argentina, en 1990, y éste va a ser el tema de esta presentación.

En consecuencia, no voy a contar una conferencia, voy a contar 6 ó 7. La primera como la hubiese dado hace aproximadamente 3.000 años, la segunda hace 2.000 años, etc. De ese modo los lectores van a tener una visión mucho más global e histórica de lo que la ciencia opina y opinaba sobre el tema del origen y evolución del universo, o sea sobre la gran pregunta : ¿Tuvo origen el universo?

### **800 antes de Cristo**

Iniciemos nuestro ejercicio, digamos aproximadamente hace 800 años a. de C., cuando la ciencia griega no había nacido. Voy a suponer entonces que el conferenciante es un rabino. El sumo sacerdote le ha pedido que, en el templo de Jerusalén, le explique el origen y la evolución del universo. Los oyentes están pues sentados en la escalinata del templo. El rabino comienza, desde luego, diciendo: “En el principio, Dios creó el cielo y la Tierra, pero la Tierra estaba desordenada y vacía, mientras el espíritu de Dios flotaba sobre la superficie de las aguas, y dijo Dios, sea la luz, y la luz fue”, y así sigue hasta ... “y el séptimo día descansó”. Continúa explicando el Génesis, que es la base de sus conocimientos en ese momento histórico, y explica este proceso evolutivo, que la Biblia enseña, y enseñan otros esquemas cosmogónicos de la antigüedad, proceso evolutivo del universo que tiene un nacimiento en el Génesis (y eventualmente va a tener un fin en el Apocalipsis), modelo evolutivo que voy a llamar el modelo "A". En ese instante alguien se pone de pie, idealmente es, por ejemplo, un astrólogo asirio, y dice: “Rabino,

estás equivocado. Estás equivocado porque yo tengo 80 años, y en los 80 he observado y medido la evolución y el movimiento de los astros en el firmamento, y he visto que los astros no nacen ni mueren, sino que son siempre iguales, eventualmente sólo giran. Mi padre que era astrólogo vio lo mismo, y mi abuelo, mi bisabuelo y mi tatarabuelo. Tengo 300 años de antepasados astrólogos, y todos me dijeron que el universo no nacía, que hay estrellas que son perfectas y que sólo giran, y en consecuencia el universo es estático o, a lo más, es cíclico, no evoluciona del modo que explicas, luego estás equivocado”. Este es el modelo que llamaré "B". En el modelo B el universo es eterno, siempre igual a sí mismo.

Eventualmente tiene giros, tiene cíclicos, pero estos cíclicos se reproducen eternamente. El modelo A, en cambio es evolutivo-. El universo nace, evoluciona y eventualmente muere. Podemos pensar que el rabino y el astrólogo se pusieron a discutir, no podemos saber qué discutieron, porque evidentemente los conocimientos científicos que tenían los dos no eran suficientes como para resolver el enigma. Dejémoslos entonces discutiendo 800 años a. de C. en el templo de Salomón. Veremos como esta discusión entre el modelo A y el B se propaga a través de toda la historia científica.

### **100 antes de Cristo**

Vayámonos ahora, idealmente a 100 a. de C. Ya la ciencia griega ha tenido su eclosión, el conferenciante es ahora un filósofo griego que está explicando en el ágora de Atenas.

Los oyentes están sentados en el ágora. En estos años se ha adoptado sin lugar a dudas, el modelo B. El modelo A ha quedado relegado a la religión o la mitología, es pues un modelo considerado en esa época meramente mitológico, no un modelo científico. Se ha llegado a la conclusión de que el universo es de tipo B, vale decir eterno y a lo más es cíclico, y se ha llegado a esta conclusión, porque los griegos inventaron un concepto que va a unificar la ciencia desde Grecia, hasta prácticamente nuestros días. Que "*nada se crea, nada se destruye, todo se transforma*". Esta idea viene de la más antigua historia científica griega. El primero que la introduce es Thales, él es el primer filósofo griego que dice: "el agua es el fundamento de todas las cosas". En efecto, el agua se transforma en hielo, en agua líquida, en vapor, pero la materia que contiene subsiste. La materia cambia de forma, pero se conserva. Eso, extrapolado al cosmos, da un universo que no puede evolucionar, que eventualmente cambia cíclicamente, pero no puede nacer, ni puede morir: el universo tipo B.

Aristóteles efectivamente concebía así al universo. Había un universo sublunar, la zona donde estaba la Tierra y vivía el hombre, que eventualmente era un universo perecedero y putrescible, donde ocurría la muerte y la vida. Pero el universo verdadero, el firmamento, con sus estrellas girando en esferas de cristal, era un universo eterno y perfecto, eventualmente cíclico. Por cierto el modelo B. "Indudablemente la gloria de los cuerpos celestes nos llena de la mayor delectación, más que la contemplación de las cosas de la Tierra, ya que los cuerpos celestes, el sol y las estrellas, nunca han nacido y nunca morirán, ya que son eternos y divinos ", dice Aristóteles. Es el universo B, el universo constante, eterno y divino.

### **1700 d. de C.**

Nos vamos de Grecia. En la próxima conferencia conocemos, no sólo la ciencia griega, sino todo la ciencia de occidente hasta el 1700. Ahora vamos a dar una clase, pocos años después de que muriera Newton<sup>2</sup>. Estamos en Cambridge. El conferenciante es un "lecturer", los oyentes son los estudiantes de Cambridge. El conferenciante explicaría que efectivamente el universo es de tipo B, porque, aparte de lo que establecieron los griegos, Newton inventó lo que se llama las "leyes de conservación". Hay ciertos parámetros de física que se conservan. Habrá todas las transformaciones que se quiera, pero por ejemplo, la masa y la energía se conservarán. Entonces debíamos optar por el modelo B. Por cierto que en su "*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*", Newton, no trató específicamente la cosmología del universo. El percibía que había algo sobre este tema que no había sido cabalmente estructurado, y sus ideas cosmológicas se las explicaba solamente a sus amigos, en sus cartas. Pero de sus libros surge evidentemente que la materia se conservaba. Nada podía crearse, en consecuencia, el universo debía ser eterno. Era el modelo de tipo B.

### **1850 d. de C.**

Después de Lavuissier los químicos pensaban exactamente igual, la materia no se podía crear, así que podemos ir hasta 1850 y desde los griegos, todo el mundo sostenía que el universo era de tipo B, cíclico y eterno. En 1850 aparece un personaje que curiosamente dice que no, y este personaje es Charles Darwin. Para él hay, algo en el universo que no es cíclico, y ese algo es la vida. Darwin introduce la evolución de las especies. De golpe hay un pequeño chispazo que nos habla del universo tipo A, porque las especies no son cíclicas, las especies evolucionan una después de otra, yendo desde un principio hacia

un fin. Darwin es quien reintroduce el universo tipo A. Pero, éste era el universo biológico; el universo de la materia inerte seguía siendo, para los científicos, de tipo B, y en consecuencia eterno. La vida, al fin y al cabo, es un detalle dentro del universo y se podría pensar que tal vez ella fuera también cíclica. Pero debo por cierto señalar que, efectivamente, fue Darwin el primero que dijo, después del rabino de nuestra historia, que el universo podía ser del tipo A.

### **1905 d. de C.**

Vamos ahora a la conferencia de 1905. En este año Alberto Einstein formuló la teoría de la relatividad especial. Nos podemos preguntar si esta teoría está de acuerdo con el universo de tipo A o de tipo B. Por cierto la teoría de la relatividad especial está totalmente de acuerdo con el universo de tipo B. Lo que encuentra Einstein, y que es importante para nosotros, es que la energía y la masa son equivalentes y formula su gran ecuación: la energía es la masa por el cuadrado de la velocidad; o sea:  $E=m.c^2$ .

Masa y energía son dos manifestaciones de algo más fundamental, la "masa-energía". Pero Einstein dice, la masa más la energía se conservan:  $E+m.c^2=constante$ .

En una explosión atómica se pierde masa y se gana energía, pero la suma de las dos se conserva, y esta ley de conservación es tan fuerte como las leyes de Newton, y en ese sentido, el universo sigue siendo de tipo B. Se podrá transformar materia en energía o viceversa, pero no se puede crear la materia-energía. Entonces las ideas de Einstein en 1905 están totalmente de acuerdo con el universo de tipo B. Como Einstein sintetizó en una fórmula la energía y la materia, también sabemos que Einstein sintetizó las nociones de "espacio y tiempo". Con las tres dimensiones del espacio y la dimensión del tiempo se generó lo que se llama el espacio-tiempo. La física después de Einstein no trabaja más -en un espacio y un tiempo, sino que trabaja en la suma de los dos que él llama espacio-tiempo. Esta hubiese sido la conferencia en 1905 .

### **1920 d. de C.**

Pero, ¿cómo hubiese sido la conferencia en 1920?. En 1920, Einstein había producido la teoría de la relatividad general, y aquí me debo detener y explicar algo lentamente, porque ello va a ser el comienzo del renacimiento, después de, 3000 años de abandono, del modelo A. Einstein había dicho que este continuo espacio-tiempo no es plano, sino que es curvo. Esto, es el comienzo de toda una revolución. Por cierto este concepto parece muy difícil. El espacio-tiempo es el conjunto de tres dimensiones espaciales y una dimensión temporal, son cuatro dimensiones lo que ya no puede ser tan fácil de visualizar. Einstein dijo que este conjunto que aparentemente sería plano, no es plano sino que es curvo. Voy a explicar porqué lo dijo y porqué, en el fondo, tuvo razón. En la naturaleza hay distintas fuerzas, que los físicos llaman interacciones elementales. Una fuerza bien conocida por todos es el peso, la gravedad, que es la fuerza que nos comprime contra el piso. Hay otra, la fuerza electromagnética, que es la que conduce la electricidad en los cables. Hay otras dos fuerzas más sutiles.- las interacciones fuertes que mantienen el núcleo del átomo unido y las interacciones débiles que aparecen en los decaimientos de las partículas. Tenemos pues cuatro tipos de interacciones. Lo importante es que todas las interacciones, salvo la gravedad, se dejan mansamente explicar por fórmulas muy completas y exactas, en el espacio-tiempo plano. Pero paradójicamente, la gravedad, que es la más familiar de las interacciones, no se deja

explicar en el espacio-tiempo plano. Muchísimos científicos han tratado de explicarla allí y aparentemente no se lo puede hacer, al menos si lo queremos hacer en gran detalle y con gran precisión. Entonces Einstein, que era evidentemente un genio, tuvo una idea genial y se dijo: esta malhadada fuerza que molesta tanto, que no se deja explicar en el espacio-tiempo plano, vamos a suponer que no existe. Y postuló que la gravedad no existe. Y, en consecuencia no tenía que explicarla. De tal modo resolvió el problema (!!!).

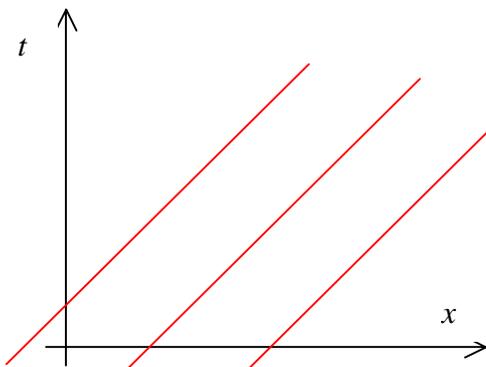


Fig. 1

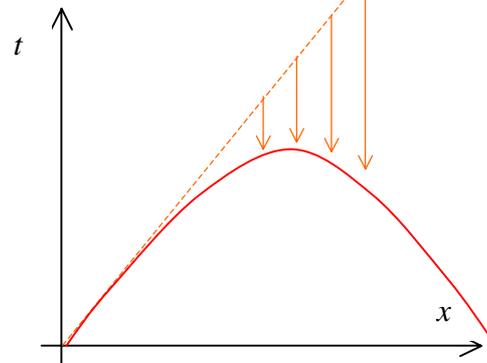


Fig. 2

Claro, frente a tal explicación cualquiera podría haberle dicho a Einstein: “si la gravedad no existe, camine usted en el techo. Como no se puede caminar en el techo, y sí en el piso, explíqueme usted cómo es la cosa”. Lo que pasa es que si bien la gravedad no existe, resulta que el espacio-tiempo es curvo. Lo que nos impide caminar en el techo, no es la gravedad, sino el hecho de que el espacio-tiempo sea curvo. En efecto, supongamos que no hay fuerza, si no hay fuerza sabemos que si tiramos una piedra, ésta seguiría una trayectoria rectilínea (figura 1). Ahora supongamos que hay una fuerza, hay gravedad, tiro la piedra y veo que sigue una curva y que la piedra cae (figura 2). Esta curva se llama parábola. ¿Qué ha pasado? Que la trayectoria recta, que hubiese seguido la piedra de no haber fuerzas, la gravedad la ha torcido y la ha llevado a ser una parábola.

Esta es la explicación ordinaria.- hay una fuerza que "tuerce" el movimiento. De no haber habido gravedad la recta hubiese sido la trayectoria que hubiese seguido la partícula. Pero, ¿qué es la recta? Una recta en el espacio-plano es la distancia más corta entre dos puntos, es lo que se llama la geodésica, precisamente la curva que configura la distancia mínima entre dos puntos. Ahora bien, si el espacio es curvo la geodésica no es una recta. Si yo vivo en una esfera (la Tierra), y quiero ir de Buenos Aires a Roma no se me ocurre seguir la recta, que me llevaría por dentro de la Tierra, tengo que seguir una geodésica, que es la trayectoria que sigue un avión, de modo de recorrer la mínima distancia o sea el círculo máximo que nos lleva por la superficie. En los espacios curvos, las trayectorias más simples son las geodésicas. En general no son rectas, sino curvas. Entonces todo es muy sencillo: el espacio-tiempo es curvo. Las partículas no solicitadas por ninguna fuerza (porque no hay gravedad de acuerdo con la explicación de Einstein) van a seguir geodésicas, que son las curvas más sencillas. A esta altura creo que el lector se ha dado cuenta del truco, se hace desaparecer la gravedad, pero haciendo el espacio-tiempo curvo se logra explicar los fenómenos gravitatorios, ya que la partícula no solicitada sigue las geodésicas que vemos dibujadas en la figura 3. Esa fue la receta que usó Einstein, eliminar la gravedad y sustituirla por la curvatura del espacio. Desde luego esto habría que explicarlo con una matemática más precisa. Pero, basta señalar que, hoy por hoy; la comunidad científica está de acuerdo en que esta

teoría es correcta: la gravedad no existe y queda sustituida por el hecho de que el espacio-tiempo es curvo. Einstein, después que explicó varios fenómenos. Con esta teoría, se propuso también hacer un modelo de universo, o sea cómo sería el universo utilizando su teoría. Einstein había inventado una ecuación, que se llama muy precisamente la ecuación de Einstein, y era la ecuación que se proponía aplicar para realizar el modelo de universo, ya que ella determina la geometría del espacio-tiempo y la forma de las geodésicas, y en consecuencia de todo movimiento en el universo. Esta ecuación es:

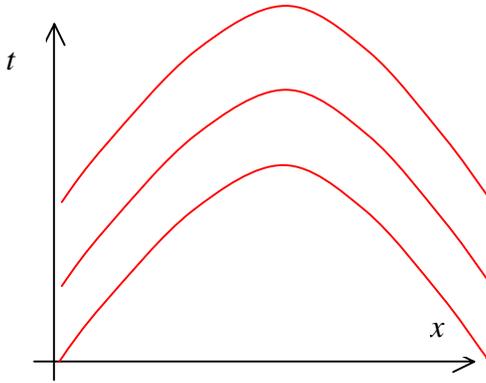


Fig. 3

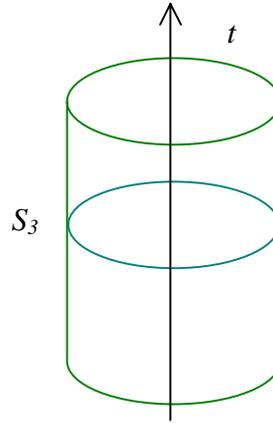


Fig. 4

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} \cdot g_{\mu\nu} \cdot R - \Lambda \cdot g_{\mu\nu} = 8\pi \cdot G \cdot T_{\mu\nu} \quad (1)$$

La ecuación en realidad tenía un tercer término, el término subrayada, un término que Einstein lo podía o no poner. El prefería no ponerlo, ya que era un término que, por varias razones, no le gustaba nada. Sin embargo Einstein (que tenía una sobrecarga inmensa de milenios, de filosofía y ciencia, que lo obligaba a hacer el universo estático) tuvo que poner el tercer término en su ecuación, precisamente el que no le gustaba nada, porque entonces la ecuación daba como solución el llamado universo de Einstein, que es de tipo B (y desde luego es una superficie curva de 4 dimensiones). . ¿Cómo lo podemos visualizar? Tendríamos que dibujar en 4 dimensiones, lo que es imposible. Entonces de las 3 dimensiones espaciales, vamos a dibujar una sola y la dimensión temporal también. El universo de Einstein en sus 3 dimensiones espaciales es una esfera. Como sólo podemos dibujar una dimensión dibujaremos una circunferencia o sea una esfera en una dimensión. Esta circunferencia va a ser siempre igual a sí misma, porque éste es el universo espacial, que de acuerdo al esquema B no cambia nunca. Esta circunferencia se va a ir desplazando en el tiempo y va a dar un cilindro (figura 4). El universo de Einstein es un cilindro, espacialmente siempre es igual a sí mismo, una circunferencia, que deslaza en el tiempo siempre igual a sí misma. Es la apoteosis del universo tipo B, en él nada se mueve (y en realidad es el último respiro del universo tipo B, su apoteosis y su muerte). Esto es lo que yo hubiera contado si hubiera dado la conferencia en 1920. Habría terminado con este universo de Einstein que era la última palabra en el momento.

## 1930 d. de C.

Vayamos pues a la conferencia en 1930. En 1930 pasan dos cosas que hacen renacer el universo tipo A. En efecto, después de 3000 años renace finalmente, con todas sus fuerzas, el universo tipo A.

Un hecho es paramente observacional y otro es un hecho teórico. El hecho observacional es el siguiente: un astrónomo americano, Hubble, clasificó y observó ciertos objetos que se llaman las galaxias. Las galaxias son los ladrillos fundamentales del universo. Son conjuntos de estrellas, tienen más o menos 100 mil años luz de diámetro y contienen también gases. La distancia a que se hallan se puede medir con técnicas sofisticadas. La velocidad a que se mueven también puede ser medida. Se la mide con el efecto Doppler, que es la modificación de la frecuencia por la velocidad. Todo el mundo sabe que cuando escucha un tren, que viene hacia nosotros, el tono del silbato del tren, o sea la frecuencia del sonido, se modifica. Si uno escucha el tren viniendo o si uno escucha el tren alejándose, el sonido resulta más agudo o más grave. Ese mismo fenómeno hace que la luz, producida por una fuente en movimiento, se vuelva azul o roja. Si uno mira un objeto que se aleja, ve su luz más roja de lo que tendría que ser. Si se mira un objeto que se acerca se la ve más azul. Hubble encontró que todas las galaxias del universo eran más rojas de lo que tendrían que ser, es decir todas se alejaban de la Tierra. Calculó la velocidad, y se encontró con que la velocidad de estas galaxias que se alejaban de la Tierra, era proporcional a la distancia (figura 5), o sea era:

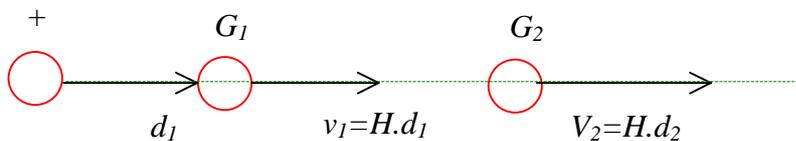


Fig. 5

$$v = H.d \quad (2)$$

La constante de proporcionalidad que se llama  $H$ , es, más o menos, uno dividido 15 mil millones de años:

$$\begin{aligned} H &\approx \frac{1}{15.000.000.000 \text{ años}} = 6.6 \cdot 10^{-11} \text{ años}^{-1} \\ &\approx 4.7 \cdot 10^{-17} \text{ s}^{-1} \end{aligned} \quad (3)$$

Lo que estamos viendo, cuando observamos este gran conjunto de galaxias que se alejan, es una especie de gran explosión (figura 6). En efecto podemos pensar que se produjo una gran explosión, y las galaxias son los trozos de materia, que son eyectados del centro, precisamente por esta gran explosión, y cuanto más lejos están a mayor velocidad van. Esto es ciertamente un universo de tipo A, porque este modelo, por cierto de estático no tiene nada. El proceso puede idealmente invertirse si queremos saber qué pasó en el pasado. Vale decir, podemos invertir idealmente la dirección del tiempo. Veremos pasar entonces los sucesos al revés como cuando rebobinamos en

nuestra, filmadora. Entonces vamos a ver las galaxias que se acercan, se acercan, y en un momento dado están todas en un punto. Este es el origen del universo. ¿ Cuándo ocurrió eso? Si recurrimos a nuestra física de la escuela secundaria y recordamos que el tiempo es la distancia dividido la velocidad, y la velocidad es  $H$  por  $d$ , obtenemos 15 mil millones de años.. En efecto:

$$T_{Origen} = \frac{d}{v} = \frac{d}{H \cdot d} = \frac{1}{H} \approx 1.5 \cdot 10^9 \text{ años} \quad (3)$$

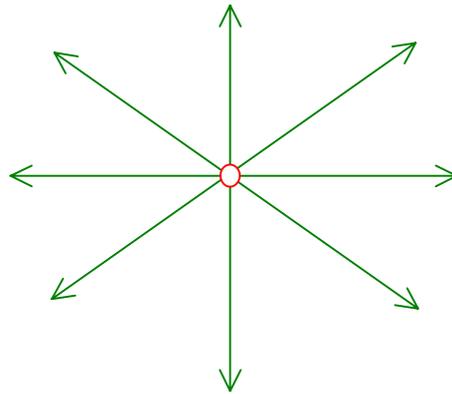


Fig. 6

Luego, hace 15 mil millones de años, de acuerdo con esta teoría más o menos aceptada por todos los científicos, hubo una gran explosión, y en esa gran explosión todas las galaxias fueron eyectadas. Obviamente el origen de la gran explosión no lo sabemos, y quizás no lo sepamos nunca, pero este modelo es ciertamente un universo tipo A, que renace en 1920. Este fue el motivo observacional, que dio origen al renacimiento del universo tipo A. Pero hay un motivo teórico muy importante, muy profundo, que nos va, creo, a hacer temblar un poco (por lo menos me hace temblar un poco a mí). Y es el siguiente, todo el mando, durante toda la historia científica ha dicho que la materia más la energía se conservaba. Las leyes de conservación son las bases profundas del universo tipo B. Pero hay una fuerza en la naturaleza, que no existe, es la gravedad. En realidad existe y no existe. Existe porque tiene efectos a través de la curvatura del espacio, pero no existe como una fuerza ¿Entonces qué energía tiene?. Esto es un problema no resuelto. No se sabe muy bien qué energía tiene la gravedad. Porque definir la energía en un espacio-tiempo curvo es mucho más difícil, que un espacio-tiempo plano. Una explicación matemática de este hecho no se puede dar aquí. Pero la idea basta. Esto hace entrar en crisis las leyes de conservación. Las Beneméritas leyes de conservación, que nacen con Thales, caen estrepitosamente por la idea misma de que la gravedad no existe. Porque aparece, por primera vez, en nuestro escenario una energía que no proviene de una fuerza. Si caen las leyes de conservación, todos los problemas que nos impiden pensar en el universo tipo A, la conservación de la materia, la conservación de la energía, desaparecen. Tenemos pues, el renacimiento del universo que el rabino había explicado 800 años a. de C., curiosamente es el universo tipo A. Lo que es más curioso aun es que para explicar el universo tipo A, el científico ruso Friedmann, usó la ecuación de Einstein, sin el tercer término, (ese término subrayado, que le había dado tanto problema a Einstein poner, que había puesto con tanta repugnancia, que puso porque 3,000 años de ciencia impulsaban. Si ustedes lo sacan he aquí la ecuación que queda

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} \cdot g_{\mu\nu} \cdot R = 8\pi \cdot G \cdot T_{\mu\nu} \quad (4)$$

Si utilizamos esta ecuación, y no la que usamos antes, el universo se dilata. Ya no es más ese cilindro que permanecía siempre igual a sí mismo, ahora al pasar el tiempo, cada vez tiene un radio más y más grande, es un universo que se expande. Este es el universo tal como creemos efectivamente es. Es el universo tipo A (figura 7)

Cuando Einstein comprendió que, de haber eliminado el famoso tercer término (subrayado) de su ecuación, hubiera previsto, con 10 años de anticipación, la expansión del universo dijo: "fue mi mayor error". En efecto, de no haber puesto un término, que por cierto le desagradaba, hubiera agregado un lauro más a su ya impresionante corona. Este tal vez hubiera sido el lauro más espectacular. Pero hasta Einstein se equivoca a veces.

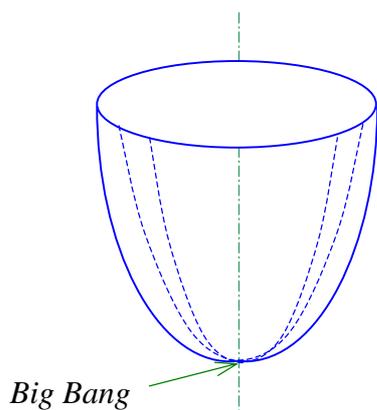


Fig. 7

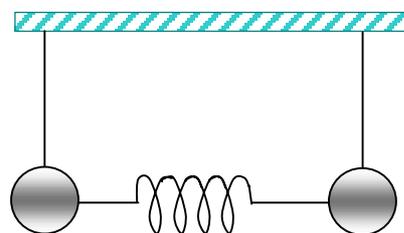


Fig. 8

### 1990 d. c.

¿Cómo es el universo volviendo hacia atrás en el tiempo? El universo hacia el pasado sería cada vez más y más chico y, eventualmente, en un momento dado "saldría de la nada"<sup>6</sup>.

Este es el modelo de tipo A que en este momento el 99.9% de los científicos han adoptado. O sea que, al día de hoy, el rabino le ganó la discusión al asirio. Creemos actualmente que el universo es de tipo A; es un Universo evolutivo y razonablemente podemos especular que salió de la nada. Si tal cosa fuera cierta podríamos decir que el universo tuvo un origen. Este es el último tema al que me quiero referir.- "pareciera que efectivamente el universo salió de la nada". Ante esta afirmación tan extraordinaria, y recordemos que es una afirmación científica, tenemos que preguntarnos:

- a) ¿es posible que el universo salga de la nada? ;
- b) ¿nuestro universo salió efectivamente de la nada? ;
- c) ¿ por qué de la nada?

a) ¿Es posible que nuestro universo salga de la nada? Sí, es perfectamente posible, porque como hemos dicho, lo que impedía científicamente que el universo saliese de la nada, eran las leyes de conservación, y las leyes de conservación ya hemos dicho que en realidad no son válidas. A partir de la relatividad general, las leyes de conservación están puestas en discusión. Pero lo que es extraordinario, es darse cuenta que las ecuaciones de Einstein nos permiten efectivamente concebir un universo que sale de la

nada. Para entender esto vamos a hacer dos modelos simples. Primeramente, vamos a pensar en dos péndulos, unidos por un resorte (figura 8).

Estos dos péndulos van a respetar las leyes de la mecánica clásica de Newton, porque en los objetos chicos, esas leyes siguen siendo válidas. Si  $E_1$  es la energía de un péndulo, y  $E_2$  es la energía de otro péndulo, la suma de las dos energías va a ser una cierta energía total  $E$  que va a ser constante. Por ejemplo durante la evolución del movimiento tendremos:

Tiempo	Energía $E=E_1+E_2$	Constante
	=	
0	10 + 0	= 10
1	8 + 2	= 10
2	5 + 5	= 10
3	2 + 8	= 10
4	0 + 19	= 10 etc., etc.

Supongamos que esta energía total sea igual a lo, entonces, ¿qué veremos? Entreguemos primero ( $t=0$ ) toda la energía al péndulo uno, que en consecuencia es el único que se mueve: tendremos  $E_1=10$  y  $E_2=0$ . Veremos luego que el elástico le va transfiriendo movimiento al otro péndulo que al principio está quieto ya que tiene  $E_2=0$  de energía a,  $t=0$ . Lentamente el segundo péndulo se pone en movimiento, el péndulo dos tiene (a  $t=1$ )  $E_2=2$  de energía, el péndulo uno tiene  $E_1 =8$  de energía, de modo tal que la suma total es 10. Al rato (a  $t=2$ ), los dos péndulos se mueven iguales, van a tener  $E_1 = E_2 = 5$  que sumados siguen dando 10. Luego el segundo péndulo (a  $t=3$ ) se va a mover más, el primero se va a ir quedando quieto, como estaba el otro al principio y al final (a  $t=4$ )  $E_2=10$  más  $E_1 = 0$  es 10. Tenemos un movimiento que conserva la energía, como un modelo de universo tipo B. Porque en el modelo de los péndulos, si no hubiese rozamiento y si estuviesen en el vacío, el movimiento se va a conservar eternamente. Se va a mover primeramente el péndulo uno, le va a pasar la oscilación al otro, luego el segundo al primero y así siguiendo indefinidamente. El movimiento va a ir y volver entre los dos péndulos y cíclicamente vamos a tener un movimiento tipo B.

Pero si tomo la ecuación de Einstein, que está basada en conceptos totalmente distintos y asimilo la materia del universo a un "péndulo de energía  $E_M$ " y el campo gravitatorio a otro "péndulo de energía  $E_G$ ", la ecuación que me sale dice que:<sup>7</sup>

Tiempo	Energía $E=E_M+E_G$	
	=	
0	0 - 0	= 0
1	1 - 1	= 0
2	2- 2	= 0 etc., etc.

En efecto, aparece un -menos, donde antes había un más, (y esto de acuerdo a todos los libros de física pertinentes) para este modelo simplificado de dos "péndulos". Y este menos no lo puse yo, lo puso Einstein. Y este menos está aceptado por la comunidad científica de todo el mundo. Entonces: ¿cómo sería el movimiento de estos dos "péndulos" si constituyeran un modelo del universo?. Si  $E_M$  es la "energía" de la materia, y  $E_G$  es la energía de la gravedad, el universo puede empezar. ( $t=0$ ) perfectamente en  $E_M = 0$ ;  $E_G = 0$ ;  $E_M - E_G = 0$ . Vale decir no hay materia ni campo

gravitatorio. Después (en  $t=1$   $E_M = 1$ ; y  $E_G = 1$ , uno menos uno es cero. Luego (en  $t=2$ )  $E_M = 2$ ; y  $E_G = 2$ , dos menos dos, cero, etc. Entonces se pudo crear simultáneamente materia por un lado y campo gravitatorio por el otro, sin violar las leyes de la física. Porque esta ecuación es ciertamente una ley de la física. Entonces es perfectamente posible, de acuerdo a la ecuación de Einstein, que materia y campo gravitatorio se generen de la nada. Esta es la respuesta a la primera pregunta.

b) La segunda era: *¿Se generó nuestro universo de la nada?* Aquí la respuesta no es tan definitiva. Es sí, probablemente sí. Todos los datos calculados, con varios modelos de universo que se generan de la nada, coincidieron aproximadamente con los datos observacionales de nuestro universo. Pero estos datos tienen grandes errores de observación, de modo que la afirmación "el universo se generó de la nada" dista mucho de ser terminante.

c) La tercera era: *¿Por qué de la nada?* La respuesta de un físico sería: porque la nada es lo más sencillo que tenemos para empezar; porque si concebimos que el universo se generó a partir de un objeto cualquiera, por ejemplo de un núcleo o un átomo de hidrógeno, esto sería muy arbitrario. La nada sería el concepto más sencillo que, a un físico se le ocurre, para comenzar la existencia del universo. No tenemos otra argumentación para elegir la nada, porque elegir una partícula, un núcleo, un átomo de hidrógeno, etc., sería totalmente injustificado.

. Hoy tenemos varios modelos de universo que surgen de la nada que -son bastante satisfactorios, y estos modelos se adaptan bastante bien a los datos observacionales del universo real, el modelo de Hawking,<sup>8</sup> el de Vilenkin,<sup>9</sup> etc. (el modelo de Hawking es sencillamente un universo que se expande de la nada, sólo que en realidad es un promedio de distintos universos que se expanden de la nada). Entonces, aparentemente el universo es de tipo A.

Además, hay una razón profunda, que nos hace pensar que el universo es de tipo A y no de tipo B, o sea es el universo del rabino, no el del asirio. El motivo es en realidad muy profundo: la disimetría que hay en el tiempo. En efecto, si hoy fuera viernes todos los lectores sabrían que mañana va a ser sábado y que ayer fue jueves.

Nadie se va a confundir el jueves con el sábado, es decir todos tienen una idea muy clara de lo que es pasado, presente y futuro. Si el universo fuera modelo B, como además en general las leyes de la física son reversibles en el tiempo (vale decir son invariantes frente al cambio  $t \rightarrow -t$ ) ¿cómo sabríamos distinguir el pasado del futuro? Aparentemente el pasado y el futuro se distinguen porque el universo es de tipo A. Nosotros somos seres materiales; si distinguimos el pasado del futuro es porque, de alguna manera, la física de nuestro cuerpo, en consonancia con la física del universo, nos permite distinguir la diferencia substancial que hay entre el pasado y el futuro. Es casi imposible explicar esto en un modelo estático de tipo B, y es bastante factible en un modelo dinámico de tipo A. Así explicaría que el universo es verdaderamente el modelo de tipo A. Esto es un tema desarrollado entre otros, por I. Prigogine (un científico belga), que está actualmente investigando el origen de esta disimetría del tiempo.<sup>10</sup>

**2000 d. C.**

Esta sería la conferencia que debiera haber dado hoy. Para terminar tendría que decir cuál va a ser la conferencia que daría dentro de un año o diez. Eso, desde luego, no lo puedo prever. Lo que puedo decir, es que efectivamente podemos tener sorpresas. Esta historia que les he contado, es fundamentalmente una historia de sorpresas. Los griegos muchas veces han ganado las discusiones. En este momento el 99% de los científicos cree que el universo es de tipo A, pero hay algunos que no: tal vez los griegos y el asirio tengan a la postre razón.<sup>11</sup> A principios de 1990, yo estaba en Bélgica, y vino un científico Francés, J.P. Vigiér, a pronunciar una conferencia. La idea fundamental de la misma era que todo el modelo A está basado en la recesión de las galaxias, y la velocidad de las galaxias está basada en el corrimiento al rojo. Hay otra forma de explicar el corrimiento al rojo; se puede pensar que el espacio-tiempo tiene fluctuaciones estocásticas que modifican el campo gravitatorio y simular una modificación de distancias "ficticia", que podría verse como cierto nuevo efecto Doppler. Entonces se podría explicar, de alguna manera, que todas las galaxias están quietas y tienen velocidad cero, y el universo sería tipo de B. Prigogine, que asistía a la conferencia, objetó inmediatamente a estas ideas y a continuación empezaron ambos, Vigiér y Prigogine, a discutir con acaloramiento. Evidentemente ellos no sabían que estaban discutiendo exactamente lo mismo que el rabino y el astrólogo, hace 3.000 años, porque los personajes son transitorios, pero las discusiones probablemente sean eternas.

Con lo cual quiero terminar diciendo: el hombre ha estado siempre preocupado, angustiado por ciertas preguntas: ¿qué somos?, ¿Adónde vamos?, ¿de dónde venimos? y análogamente ¿de dónde viene nuestro universo y a dónde va? Con la más profunda humildad, respecto a la complejidad y sutileza de la Creación, los físicos tenemos que declarar que nunca, nunca, nunca, vamos a dar respuesta a esas preguntas; ésa es la moraleja de todo este cuento. Pero con gran orgullo, por el tremendo esfuerzo y la gran ingeniosidad demandada en la aventura del pensamiento que hemos narrado, podemos decir también que la física puede ayudar a acercarnos a la respuesta.

Rosario, 12 de octubre de 1994

MARIO ALBERTO CASTAGNINO

Profesor de la UBA y UNR

*Presentación del libro - El Origen del Universo*

J.J. Sanguinetti – UCA – Buenos Aires 1999

### **Notas y bibliografía**

1. SALOMÓN vivió hacia el 900 a.C., de modo que la primera conferencia ha sido fijada hacia el 800 a.C.
2. ISAAC NEWTON nació en 1642 y murió en 1727.
3. CHARLES ROBERT DARWIN nació en 1809 y murió en 1882. En 1859 publica su gran trabajo *On the origin of species*.
4. Cabe aquí una digresión. En 1850 RUDOLF JULIUS EMANUEL CLAUSIUS (1822-1888) enuncia la segunda ley de la termodinámica, que en su forma más conocida dice que "el calor no puede pasar por sí mismo de un cuerpo más frío a uno más caliente" y en una forma más definida dice que "la entropía crece". Esta ley fija un sentido de evolución; el universo necesariamente se tiene que enfriar

- y su entropía crecer, de modo que no puede ser inmutable y eternamente igual a sí mismo. En consecuencia debe ser de tipo A. La relación entre las ideas de NEWTON (la mecánica) y las de CLASSIUS (la termodinámica) aún hoy no están bien comprendidas, de modo que no desarrollaremos este complicado tema (véase por ejemplo PRIGOGINI 1., *From being to becoming*, Freeman Pub. Co. San Francisco 1980).
5. Para un tratamiento crítico del tema, véase: BURBRIDGE E. M., *International Journal de Theoretical Physics*, Vol. 34, (1989).
  6. La formulación científica rigurosa y moderna de esta idea fue primeramente expresada por TRYON (1973) y FOMIN (1973) y sucesivamente desarrollada por ATKATZ y PAGEL (198?), ZELDOVICH (1981), VILENKING (1982), ZELDOVICH y STAROBINSKY (1984), LINDE (1984), SATO (1986), etc. Véase: TRYON E. P., *Nature*, vol. 246, p. 396 (1973).
    - FOMIN P. I., Preprint IFT - 73 - p. 137 (1973).
    - ATKATZ D., PAGELS H., *Physical Review D*, vol., 25 p. 2065 (1982).
    - ZELDOVICH Ya. B., STAROBINSKY A. D., *Pis'ma Astron. Zh.*, vol. 7, p. 579 (1984).
    - VILENKIN A., *Physics Letters B*, vol. 117, p. 25 (1982).
    - ZELDOVICH Ya. B., STAROBINSKY A. D., *Pis'ma Astron. Zh.*, vol. 10, p. 323 (1984).
    - LINDE A. D., *Lettere al Nuovo Cimento*, vol. 39, p. 401 (1984).
    - SATO H., *Progress in Quantum Field Theory*, p. 391, Elsevier Sc. Pub., New York (1986).
  7. Los simples cálculos para llegar a esta conclusión pueden verse, en:
    - CASTAGNINO M., GUNZIG E., NARDONE P., *Proceeding Erice School on Cosmology and Gravitation*, Plenum Pub. Co., New York (1988).
    - CASTAGNINO M., GUNZIG E., NARDONE P., *Proceeding V Moscow Quantum Gravity Seminar*, World Scientific, Singapur, (1990).
  8. HARTLE J., HAWKING S., *Physical Review D.*, vol. 23, p. 1960 (1983).
  9. VILENKIN A., *Physical Rev. D.*, vol. 32, p. 2511 (1985).
  10. Véase por ejemplo:
    - PRIGOGINE1. (op. cit.).
    - ZEH H. D., *The physical basis of tire direction of time*, Springer Verlag, Berlín (1989).
  11. Una lista más completa de posibles conferencias incluiría una (que di efectivamente hace unos 20 años). En esa época estaba de moda una teoría llamada "estado estacionario" que era de tipo B. Como la expansión del universo estaba ya aceptada y esto conducía al modelo del Big-Bang (tipo A) varios científicos quisieron reconciliar dicha expansión con un modelo tipo B. Así nació la Teoría del Estado Estacionario de BONDI, HOYLE Y NAJRLIKAR. El universo se expandía globalmente, pero cada zona local del mismo permanecía siempre igual a sí misma. Para ello era necesario que la materia se crease en todos los puntos del espacio, para mantener la densidad constante, de modo de compensar la disminución de densidad producida por la expansión. Durante un tiempo esta teoría tipo B compitió con el modelo del Big-Bang, tipo A. En una conferencia en 1975 yo efectivamente discutí las ventajas e inconvenientes de estas teorías, de modo que la conferencia misma fue una polémica, tipo rabino-asirio, entre dos modelos uno de tipo A y otro de tipo B. Pero con el tiempo la teoría del estado estacionario fue completamente

abandonada, sea porque se ajustaba peor que su oponente a los datos observacionales, sea porque no se encontró un mecanismo convincente para explicar la creación de materia. Esta parte de la historia es otro buen ejemplo de la competencia establecida entre las dos ideas que se oponían aún en fecha reciente. -NARLIKAR N., Proceedings de la V Escuela de Cosmología y Gravitación de Río de Janeiro, World Scientific, Singapur (1987).

## Calculo de la masa critica de Universo con los “dedos”

*S.Gil*

Subyacente en esta historia, esta la cuestión de la masa critica de universo, o mejor dicho la densidad critica del universo, es decir cual es la densidad que divide las aguas entre el universo tipo A y B. Usaremos para esto es mismo argumento que usamos para saber si cuando arrojamos una piedra verticalmente hacia arriba la misma volverá al suelo o nunca regresara. Como sabemos en el momento de arrojar la piedra, el sistema piedra Tierra tiene energía potencial gravitatoria  $E_G$  y energía cinética  $E_C$ :

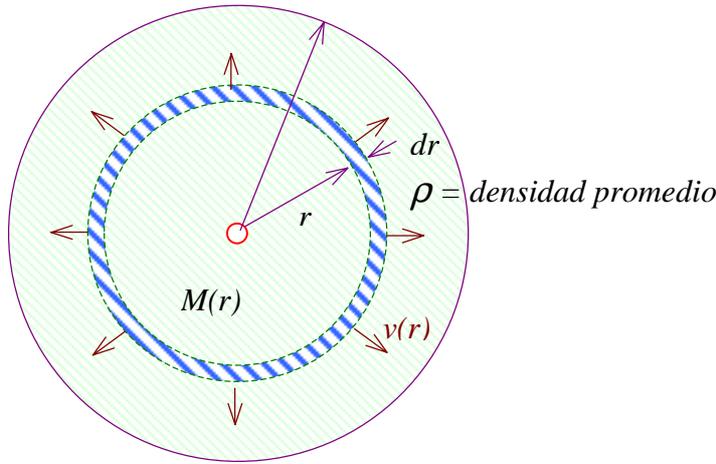
$$E_T = E_G + E_c = -G \cdot \frac{m_p \cdot M_T}{R_T} + \frac{1}{2} \cdot m_p \cdot v_0^2 = -G \cdot \frac{m_p \cdot M_T}{r} + \frac{1}{2} \cdot m_p \cdot v^2 \quad (1)$$

aquí.  $M_p$  es la masa de la piedra,  $M_T$  y  $R_T$  la masa y radio de la Tierra respectivamente,  $G$  la constante universal de la Gravedad y  $v_0$  la velocidad inicial de la piedra. El segundo miembro corresponde al estado cuando la piedra deja nuestra mano, el tercero se refiere al estado en que se ha alejado a una distancia  $r$ . A medida que la piedra sube, se aleja de la Tierra,  $r$  aumenta, y la energía potencial gravitatoria disminuye en valor absoluto, o sea aumenta, por lo tanto la energía cinética debe de disminuir para que la suma sea constante. Si la energía total  $E_T$  es negativa, significa que la energía cinética (siempre positiva) es menor que el valor absoluto de la energía potencial gravitatoria. Por lo tanto, a medida que la piedra se aleja de la Tierra, llegará a una distancia  $R_{max}$ , donde la energía cinética será nula y toda la energía será potencial. Este será el punto de máximo alcance de la piedra y a partir de allí comenzará su descenso. Si por el contrario, la energía total  $E_T$  es nula o positiva, la piedra nunca regresará. Si tomamos un pedazo del universo, digamos una esfera de radio  $R$ , centrada en una dada galaxia por ejemplo la nuestra. Como sabemos, las galaxias se alejan unas de otra siguiendo la ley de Hubble, por lo tanto las galaxias que estén dentro de la capa (como una especie de cebolla) de radio  $r$  y espesor  $dr$ , se alejaran del centro con una velocidad  $v(r)$  dada por:

$$v(r) = H \cdot r \quad (2)$$

Por lo tanto dicha capa tendrá asociada una energía cinética:

$$dE_c = \frac{1}{2} \cdot dm \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot (\rho \cdot 4\pi \cdot r^2 \cdot dr) \cdot v^2 \quad (3)$$



**Figura 1.** Muestra del universo, centrada en una dada galaxia, por ejemplo la nuestra,  $\rho$  es la densidad de materia promedio.  $r$  es el radio de una capa infinitesimal, de espesor  $dr$  (cáscara de la cebolla) de masa  $dm$ .  $v(r)$  es la velocidad de recesión de dicha capa, vista desde el centro.

Aquí,  $\rho$  es la densidad promedio del universo. La energía potencial de esta capa de cebolla será:

$$dE_G = -G \cdot \frac{dm \cdot M(r)}{r} = -G \cdot \frac{(\rho \cdot 4\pi \cdot r^2 \cdot dr) \cdot \rho \cdot \frac{4\pi}{3} \cdot r^3}{r} = -G \frac{(4\pi)^2}{3} \cdot \rho^2 \cdot r^4 \cdot dr \quad (4)$$

Donde  $M(r)$  es la masa dentro de la esfera de radio  $r$ , o sea  $M(r) = \frac{4}{3} \pi \rho r^3$ . Combinando las expresiones (2), (3) y (4), la energía total de la capa (de cebolla) en consideración será:

$$\begin{aligned} dE_T &= -G \frac{(4\pi)^2}{3} \cdot \rho^2 \cdot r^4 \cdot dr + 2\pi \cdot \rho \cdot H^2 \cdot r^4 \cdot dr = \\ &= 2\pi \cdot \rho \cdot \left( -G \cdot \frac{4\pi}{3} \rho + H^2 \right) \cdot r^4 \cdot dr \end{aligned} \quad (5)$$

La energía total de la esfera en consideración de radio  $R$ , será la suma (Integral) de las contribuciones de cada capa. El resultado puede hacerse fácilmente y el resultado es:

$$E_T(R) = \frac{2\pi}{5} \cdot \rho \cdot \left( -G \cdot \frac{4\pi}{3} \rho + H^2 \right) \cdot R^5 \quad (6)$$

Notase que el signo de la expresión (6) esta determinado por el termino en paréntesis que es el mismo que el de la ecuación (5). Ahora bien, a igual que en el caso de la piedra, esta muestra arbitraria del universo que hemos elegido para nuestro análisis, continuara expandiéndose para siempre o alcanzará una grado de expansión máxima

según su energía total  $E_T(R)$  sea positiva o negativa. Claramente el valor crítico que divide las aguas es cuando  $E_T = 0$ . Si aplicamos esta condición a la ecuación (6), obtenemos el valor de la densidad crítica,  $\rho_c$ :

$$\rho_c = \frac{3}{4\pi} \cdot \frac{H^2}{G} \quad (7)$$

Usando los valores aceptados para  $G(=6.6 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{Kg}^2)$  y la constante de Hubble  $H(\approx 4.7 \cdot 10^{-17} \text{ s}^{-1} \approx 1/1.5 \times 10^{10} \text{ años})$ , obtenemos:

$$\rho_c \approx 10^{-29} \text{ g} / \text{cm}^3 \approx 1 \text{ atomo de H} / \text{m}^3 \quad (8)$$

Este valor es muy pequeño, pero aun es casi 10 veces mayor que el valor observado. Sin embargo, hay muchos indicios muy sugestivos de que hay más masa en el universo de la que hemos observado hasta ahora. Esto motiva que los científicos actuales estén avocados a la búsqueda de nuevas formas de materia, por ejemplo *materia oscura*. De encontrarse más materia, podríamos llegar a alcázar la densidad crítica y el universo sería de tipo B. ....

- ✓ *¿Qué hechos u observaciones sugieren la existencia de materia oscura?*
- ✓ *¿Qué hay de nuevo en la investigación de la materia oscura?*  
*Buscar en la bibliografía: Scientific American*