

# El Big Bang

Rafael A.  
Camerano  
Fuentes

Profesor Universidad  
Distrital Francisco  
José de Caldas

## INTRODUCCIÓN

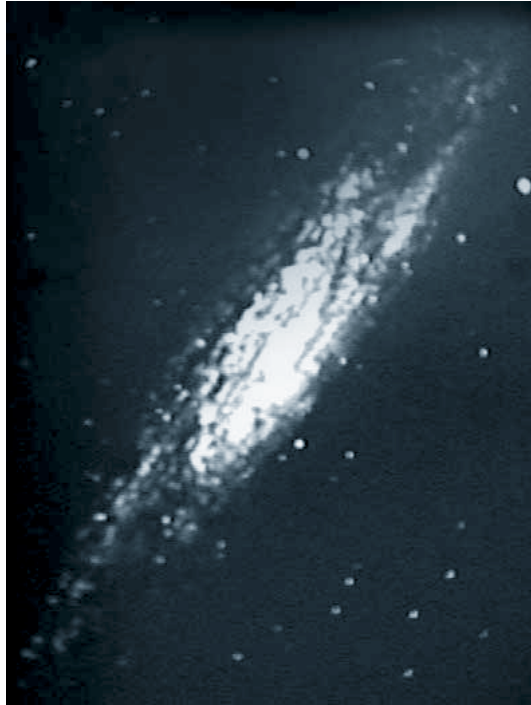
Todo ser humano ha sentido curiosidad ante la inmensidad del Universo. Alguna vez nos hemos preguntado ¿De dónde apareció el Universo?. ¿Tendrá un fin?. ¿Qué había antes de que existiera el Universo?. ¿Existe la nada?. ¿Podrá sobrevivir la humanidad por los siglos de los siglos?. ¿"Conocía" la materia la posibilidad de existencia de la conciencia?. ¿Somos apenas unos testigos de la existencia del Universo? o ¿Tenemos que jugar un papel diferente que garantice la supervivencia del Universo?. ¿Podrá el hombre definir el curso de los acontecimientos de carácter universal y evitar el colapso del Universo cuando termine la expansión?. ¿Somos responsables indirectos de cualquier catástrofe que ocurra en el Universo?. Estas preguntas han trasnochado a los más grandes pensadores durante todos los tiempos.

¿De dónde apareció el Universo?.  
¿Tendrá un fin?.  
¿Qué había antes de que existiera el Universo?

El hombre primitivo con sus conocimientos rudimentarios sintió curiosidad por todo aquello que nos rodea; hoy la ciencia continúa planteándose los mismos interrogantes, pero con herramientas diferentes. Trataré en el presente artículo, de exponer las teorías de la cosmología moderna - la ciencia sobre el Universo - sobre el origen del Universo y algunos interrogantes sobre el futuro.



La cosmología moderna surgió a principios del siglo XX después de haber creado Albert Einstein la teoría de la relatividad general. El modelo describía un Universo estático, lo cual resultó incorrecto después de una serie de observaciones astrofísicas. El matemático soviético A. Friedmann obtuvo en los años de 1922 - 1924 las soluciones generales de las ecuaciones de Einstein, aplicadas a la descripción de todo el universo. Esas ecuaciones describían el universo cambiante. Las fuerzas de atracción gravitatoria no permiten que existan distancias medias entre los sistemas estelares en donde el movimiento de equilibrio tenga únicamente carácter local. Friedmann demostró que las fuerzas de escala cósmica deben produ-



cir en el Universo una expansión o una contracción, pero de ninguna manera distancias medias constantes que den como resultado un Universo estático, tal como se creía.

El astrónomo estadounidense E. Hubble, descubrió en 1929 la expansión de las galaxias que nos rodean y la expansión del Universo; lo que confirmaba las conclusiones de Friedmann. Se probaba que el Universo estaba en continua evolución y que la imagen que tenemos hoy no se parece en nada a la que tenía hace 15.000 millones de años. Casi toda la sustancia era homogénea, la materia de las galaxias se encontraba junta, la densidad extremadamente grande y la velocidad de expansión muy alta.

En los años 40 fue propuesta la teoría del Universo caliente por G. Gamow. La teoría planteaba que ha medida que se expandía el Universo se reducía la temperatura. A partir de ella se pudieron hacer dos pronósticos que se comprobaron posteriormente mediante observaciones astronómicas. La teoría predecía que la sustancia de la que se formaban las primeras estrellas y las galaxias, debía consistir básicamente de Hidrógeno en un 75% y Helio en un

25%, la existencia de otros elementos químicos era insignificante. La segunda conclusión de la teoría consistía en que en el Universo actual debe existir una débil radiación electromagnética, que ha quedado de la época de enorme densidad y temperatura de la sustancia. Esta radiación entrada durante la expansión del Universo, fue denominada por el astrofísico I. Shklovski, radiación relicta. Ambos pronósticos se corroboraron posteriormente.

En 1965 los físicos estadounidenses A. Penzias y R. Wilson descubrieron la radiación relicta, por lo que en el año 1978 fueron galardonados con el premio Nobel. Así se demostró la veracidad del Universo caliente. Hoy en día la cosmología se plantea el problema de la gran explosión y las condiciones físicas en que se desarrollo la materia. La respuesta puede estar en el estudio de la física de las partículas.

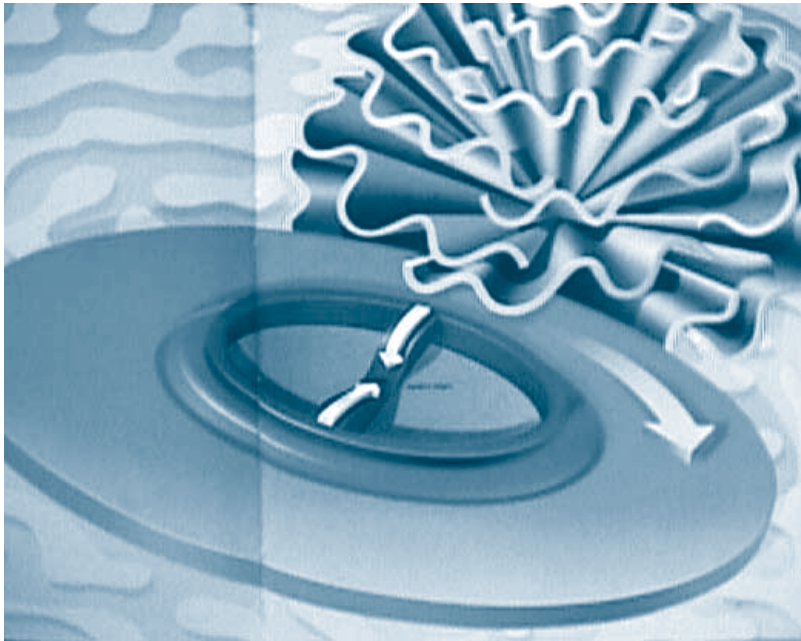
"El Universo quedará estático y sometido a la fuerza de atracción gravitatoria e iniciará un proceso de contracción hasta que se colapse finalmente. Tendríamos un Universo con duración finita hasta que se produzca, por razones aún desconocidas, un nuevo Big Bang".

## DINÁMICA DEL UNIVERSO

Vamos a desarrollar el modelo que describe la dinámica del Universo. Generalmente se considera la teoría relativista de la gravitación cuando el campo gravitatorio de un sistema es tan grande que puede acelerar un objeto hasta alcanzar velocidades cercanas a la luz. Consideremos que la materia está distribuida homogéneamente en el espacio con una densidad  $p$ . Tomemos una esfera imaginaria de radio  $R$  que encierre una masa  $M$ . La fuerza gravitacional de Newton por unidad de masa en la superficie de la esfera es:

$$F = \frac{4}{3} \pi GRp(1-1)$$

**El Universo quedará estático y sometido a la fuerza de atracción gravitatoria e iniciará un proceso de contracción hasta que se colapse finalmente**



**El Universo no puede ser estático puesto que existe la aceleración gravitacional**

$G$  es la constante gravitacional de Newton. Cuando crece  $R$  aumenta la fuerza de atracción gravitatoria. Para un radio suficientemente grande es necesario utilizar las ecuaciones de Einstein, pues ya aparecen los efectos relativistas. Sin embargo, en el año de 1934 E. Milne y V. McCrea demostraron que se pueden utilizar las ecuaciones de Newton para la construcción de la mecánica del movimiento de masas en el Universo. La razón se encuentra en que el campo gravitatorio producido por toda la masa presente en el volumen de radio  $R$  no crea fuerzas netas en su interior. En el modelo del Universo la fuerza de atracción sobre las galaxias se encuentran por fuera del globo de radio  $R$  está dirigida hacia el centro. La única fuerza que actúa es la producida por la masa que se encuentra encerrada, el resto de la masa del Universo no produce fuerzas por la simetría. La ecuación del movimiento de la galaxia es:

$$\frac{d^2R}{dt^2} = -G \frac{M}{R^2} \quad (1-2)$$

que representa la aceleración de la galaxia. Esta ecuación demuestra que el Universo no puede ser estático puesto que existe la aceleración gravitacional. Esta es la principal conclusión de la teoría. Einstein postuló la existencia de

una fuerza de repulsión gravitatoria que actúa a gran distancia, sus efectos no son detectables a corta distancia, por ejemplo entre el sol y la tierra. Esta fuerza era la causante de un Universo estático en términos globales. Para conocer como esta evolucionando espacialmente el Universo, es necesario determinar la velocidad para una situación tomada como estado inicial y a partir de la ecuación del movimiento se determina como evolucionará la velocidad al transcurrir el tiempo. Si en algún momento se establece reposo de las galaxias, es decir, velocidad de cero, entonces en el tiempo posterior las galaxias comenzarán a acercarse y el Universo se contraerá. La solución no podría dar una velocidad que asintóticamente tiende a cero o siempre permanece positiva. En este caso el Universo estará en continua expansión, la cual no se puede detener por la acción de la gravitación.

El modelo de Freedmann resuelve la ecuación diferencial que caracteriza la mecánica del Universo. La velocidad está dada por:

$$V = \sqrt{\frac{2GM}{R}} + K(1-3)$$

$K$  es una magnitud constante que resulta del proceso de solución de la ecuación diferencial que su valor puede ser negativo, cero o positivo.  $R$  es el radio del globo cuya variación se puede determinar desde la expresión (1-3). Consideremos que en un instante de tiempo  $t_0$ , se conoce el valor de  $R$ , que denominamos valor inicial  $R_0$ , y la velocidad instantánea de expansión  $v_0$ . Ese instante inicial  $t_0$  puede ser el pre-





sente, aunque es más cómodo utilizar el instante  $t_0=0$  cuando, se supone,  $R=0$ . En ese instante el Universo era una singularidad. Con estos valores podemos determinar la constante  $K$  de la expresión (1-3). Supongamos que  $K > 0$ . En este caso durante la expansión del globo crecerá en su radio  $R$ , el primer término de (1-3) se hará muy pequeño y la velocidad tendrá a  $K$ . Esto hace que el radio del globo tienda al infinito y el Universo no termine nunca de expandirse.



Supongamos que en el momento  $t_0$  las condiciones son tales que  $K < 0$ . Es evidente que la velocidad será menor que en el caso anterior. Incluso, llegará un momento que el radio  $R$  de nuestro globo será tan grande la velocidad que se vuelve cero, lo anterior implica que en este instante el Universo estará estático y sometido a la fuerza de atracción gravitatoria e iniciará un proceso de contracción del Universo hasta que se colapse finalmente. Tendríamos un Universo con duración finita hasta que se produzca, por razones aún desconocidas, un nuevo Big Bang. Se trataría, entonces, de un Universo oscilante. Cuando  $K = 0$  la expansión del globo continúa ilimitadamente debido a que solo para  $R$  igual a infinito la velocidad de expansión se reduce a cero. Tendríamos un caso parecido al primero.

luego saber cual será el destino del Universo. Con las expresiones (1-3) y (1-4) se puede obtener el valor de la constante  $K$ .

$$K = \frac{8}{3} \pi G R_0^2 \left( \frac{3H_0^2}{8\pi G} - \rho_0 \right) \quad (1-5)$$

$\rho_0$  es el valor actual de la densidad media en el Universo. Para nosotros es importante establecer si  $K$  es mayor o menor que cero. El signo de  $K$  depende del término entre paréntesis en donde para una densidad denominada crítica e igual a  $3H_0^2 / (8\pi G)$ ,  $K = 0$ .

Es importante, entonces, determinar la densidad crítica del Universo para tomarla como referencia. La densidad crítica se ha determinado a partir de dos valores conocidos y es igual a:

$$\rho_{crítica} = 10^{-29} \text{ gr} / \text{cm}^3$$

El cálculo de la densidad del Universo tiene la dificultad de la presencia de una gran masa invisible que emite muy poca radiación y no se advierte su presencia directamente sino por efectos secundarios ejercidos sobre masas que se encuentran cercanas. Parece que materia invisible o no detectable por los métodos actuales es bastante grande en el Universo y ello dificultará la determinación de su densidad. Para la Vía Láctea, nuestra galaxia, se estima que la

Ahora, dentro del globo de radio  $R$  las velocidades en cualquier punto son proporcionales a la distancia  $r$  al centro del globo. Así:

$$V = Hr \quad (1-4)$$

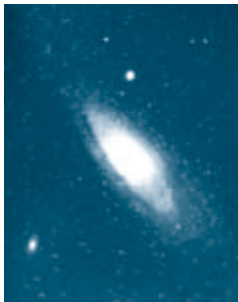
Donde  $H$  es conocida como la constante Hubble. El valor de  $H_0$  para el tiempo presente esta dado  $H_0 = 75 \text{ Km} / (\text{seg} \cdot \text{Mpc})$ , donde Mpc (un parsec equivale a tres años luz ó  $3 \cdot 10^{18} \text{ cm}$ ). La realidad es que solo a través de la observación podemos determinar el valor de  $K$ , para

Parece que materia invisible o no detectable por los métodos actuales es bastante grande en el Universo y ello dificultará la determinación de la densidad

masa presente es del orden de  $1.5 \times 10^{11}$  Msol, donde Msol =  $2 \times 10^{23}$  gramos. El gas y el polvo entre las estrellas añade a ello un complemento muy insignificante del 2%. El valor que se obtiene después de una serie de consideraciones es de:

$$\rho_{galaxia} = 3.10^{-31} \text{ gr / cm}^3$$

Esta cantidad es bastante menor que la cantidad crítica, lo que nos indicaría que el Universo estará en expansión, de mantenerse la densidad de todo el Universo cercana a este valor. Continúa el problema de las masas invisibles o masas ocultas generadas durante el colapso de sistemas estelares o estrellas. La gravedad alcanzó valores tan grandes que ni la propia luz puede escapar de ella.



"¿Podría Dios haber creado el mundo distinto?".

"¿De que manera: ¿Podría el Universo que nos rodea estar construido de otro modo?"

¿Qué ocurriría si las leyes físicas fueran distintas?"

## EL ESPACIO CURVO

La curvatura del espacio se detecta por las diferencias que presenta con relación al espacio euclidiano. La curvatura del espacio se mide teniendo en cuenta la suma de los ángulos internos de un triángulo en un espacio curvo. El radio de la curvatura  $\phi$  está definido como:

$$\phi = \frac{C}{H} \sqrt{\frac{\rho_{critica}}{\rho - \rho_{critica}}}$$

$C$  es la velocidad de luz y  $H$  la constante de Hubble. Esta fórmula expresa la situación del espacio con relación a la densidad del Universo y la densidad crítica. Cuando  $\rho_{critica} < \rho$  el radio de curvatura  $\phi$  es imaginario y la curvatura corresponde a una silla de montar. Si  $\rho_{critica} > \rho$  la curvatura del espacio es positiva y corresponde a una superficie que cierra sobre sí misma, como una esfera. Hasta la fecha la cosmología no ha logrado determinar si nuestro espacio es cerrado o abierto. Contamos con todas las expresiones matemáti-

cas que nos permitan calcular en el futuro la situación del espacio. Nos falta definir un procedimiento claro que nos permita determinar con una alta precisión la densidad del Universo, parámetro que indica la curvatura real del espacio.

## EDAD DEL UNIVERSO

Para determinar la edad del Universo partimos del hecho de que en el instante de tiempo  $t=0$  el Universo era una singularidad, es decir, un punto con una densidad infinita. A partir de la gran explosión se empezó a expandir hasta alcanzar las dimensiones actuales, representadas por  $R_0$ . El tiempo promedio que demoró en configurarse el radio de  $R_0$  es igual a  $R_0/v_0$ . Pero  $v_0 = H_0 R_0$ , de donde obtenemos un valor aproximado de tiempo igual a:

$$T_0 = 1 / H_0 = 4.10^{17}$$

$$\text{Seg} = 1.3 \times 10^{10} \text{ años}$$

El Universo se empezó a expandir hace 13.000 millones de años (el valor moderno aceptado por la cosmología moderna es de 15.000 millones de años). Esto significa que en él, no puede haber objetos mayores que esos años, ni puede haber fuentes que alumbren más de 13 mil millones de años.

## EL UNIVERSO HECHO A LA MEDIDA

Albert Einstein ha dicho: "Lo que de hecho me interesa profundamente es: ¿Podría haber creado Dios el mundo distinto?" de otra manera: ¿Podría el Universo que nos rodea estar construido de otro modo? ¿Qué ocurriría si las leyes físicas fueran distintas?. Como lo afirma Jean Guilton si aumentáramos muy ligeramente la fuerza nuclear y la fuerza electromagnéti-

**Una gravedad más fuerte hubiera conducido a un verdadero desbocamiento de reacciones nucleares; las estrellas se habrían abrazado furiosamente y habrían muerto tan deprisa que la vida no habría tenido tiempo de desarrollarse**

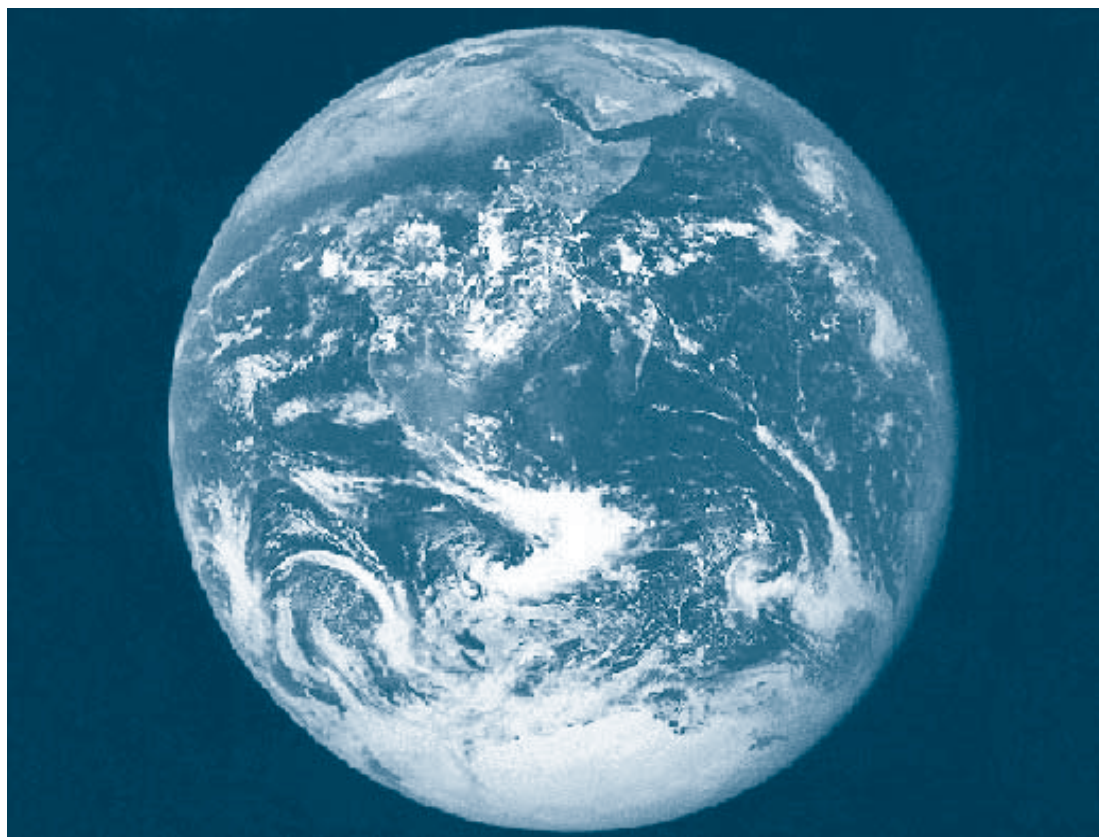
ca, entonces no serían posibles las reacciones químicas que resultan de la transferencia de electrones a otros núcleos. Una gran cantidad de elementos no podrían formarse, y en un Universo así, las moléculas de ADN no tendrían posibilidad de aparecer. No habría vida, y por consiguiente, conciencia.

Si hubiera sido un poco más débil la fuerza de la gravedad en el momento de la formación del Universo, las primitivas nubes de Hidrógeno nunca habrían podido condensarse y alcanzar el umbral crítico de la fusión nuclear: las estrellas nunca hubieran encendido. Una gravedad más fuerte habría conducido a un verdadero desbocamiento de reacciones nucleares; las estrellas se habrían abrazado furiosamente y habrían muerto tan deprisa que la vida no habría tenido tiempo de desarrollarse. Si la tasa de expansión del Universo hubiera experimentado al comienzo una desviación del orden de  $10^{-40}$ , la materia inicial se habría desparramado por el vacío: el universo no hubiera podido dar a luz a las galaxias, a las estrellas y a la vida.

"Para dar una idea de la finura con la que aparece haber sido ajustado el Universo, es suficiente imaginar la pobreza que debería realizar un jugador de golf que, desde la tierra, consiguiese meter la pelota de un solo golpe en un agujero situado en el planeta Marte".

Una variación de la masa del neutrón o protón sólo en una milésima de su magnitud causará consecuencias catastróficas, a la inestabilidad del átomo de Hidrógeno, el elemento más difundido en el Universo. Las consecuencias de esta inestabilidad realmente serían horribles. No habría Hidrógeno en la naturaleza y no habría combustible nuclear básico para las estrellas del Universo. Eso quiere decir que no habrían estrellas, con todas las consecuencias que con ello se desprenden. En un Universo así es dudoso que la vida fuera posible.

Entonces, es una gran suerte que el neutrón sea un poco mas pesado que el protón y la masa del electrón es casi dos mil veces menor que la de estas partículas elementales.



Se probaba que el Universo estaba en continua evolución y que la imagen que tenemos hoy no se parece en nada a la que tenía hace 15.000 millones de años

Por pequeño que sea el cambio de cualquier parámetro se acaba la posibilidad de eclosión de vida. Las constantes fundamentales de la naturaleza y las condiciones iniciales que han permitido la aparición de la vida parecen ajustadas con una precisión vertiginosa.

## EL FUTURO DEL UNIVERSO

Todavía no sabemos si la expansión del Universo continuará ilimitadamente. Ello depende de las densidades del Universo que lo harán cerrado sobre sí mismo y con una expansión que terminará en un instante de tiempo finito. Si el Universo continúa su expansión hasta el infinito se pueden predecir algunos acontecimientos. El sol terminará su evolución activa después de algunos mil millones de años y se convertirá en un enano blanco de un a dimensión próxima a la tierra. Las estrellas con una masa mayor que el sol vivirán un tiempo más corto; se convertirán en estrellas neutrónicas con diámetros de unas decenas de kilómetros o en agujeros negros.

En el futuro se agotarán todas las reservas de energía nuclear de la materia, de la cual puede formarse las estrellas. Se calcula que la etapa de evolución del Universo culminará dentro de  $10^{14}$  años. Las galaxias serán atraídas y desaparecidas por los agujeros negros, que tampoco son eternos. En el campo de gravitación cerca del agujero ocurre el nacimiento de partículas, cuantos de radiación. Este proceso conduce a la disminución de la masa del agujero produciendo su "evaporación", como lo afirma Steven Hawking. Este proceso es lento. Un agujero negro con una masa equivalente a 10 soles se evaporará en  $10^{69}$  años; pero un agujero como los que existen en el centro de la galaxias de diez mil millones de veces mayor que nuestro Sol se evaporará en  $10^{69}$ . Todos ellos se convertirán en radiación, es decir, partículas sin

masa en reposo. Ante la expansión ilimitada del Universo solo quedará plasma electrónico - positrónico, proceso que culminará, según los cálculos de la cosmología moderna, dentro de  $10^{100}$  años.

Cuando nuestro Universo tenga  $10^{100}$  años en el mundo quedarán tan solo electrones y positrones esparcidos en el espacio libre. Una partícula ocupará un volumen igual a  $10^{185}$  volúmenes de todo el universo visible hoy. Esto no significa que cesen todos los procesos. El Universo continuará aunque de una manera muy original. En el Universo siempre existirán grandes regiones capaces de mantener la existencia de la vida de nuestro tipo.

Para culminar nuestra exposición recordamos lo señalado por uno de los grandes pensadores del presente siglo, P. Teilhard de Chardin: "El sueño que vagamente acarician las investigaciones científicas humanas es en esencia poder dominar la energía básica - existente más allá de los límites de todas las propiedades atómicas y moleculares, respecto de la cual las demás fuerzas son adventicias- y, uniendo a todos, tomar en sus manos el timón del mundo y hallar el resorte mismo de la evolución. En la perspectiva de las neogénesis, el tiempo y el espacio realmente se humanizan o, mas bien, se superhumanizan".



## REFERENCIAS

- [1] Hawking, Steven. **Historia del Tiempo.**
- [2] Sagan, Carl. **Un Viaje Personal.**
- [3] Novikov, I. **Como explotó el Universo.**
- [4] Hawking, Steven. **Agujeros Negros y Pequeños Universos.**
- [5] Davies, Paul. **Superfuerza.**