

LA ENTROPÍA Y EL UNIVERSO AUTOORGANIZADOR

John Earls

Pontificia Universidad Católica del Perú.

Este artículo es sólo un borrador de ideas que espero desarrollar en trabajos futuros; creo que las ideas presentadas señalan unas novedades que podrían enriquecer los pensamientos de los físicos, los biólogos, los antropólogos y a cualquier que se interesa la relación mente/universo.

1. La cosmología física y la biología

En las últimas décadas viene dándose en las ciencias naturales un proceso de convergencia general alrededor de la relación de la mente humana y el universo que habitamos. Una manifestación muy interesante de este proceso es la creciente "biologización"* de los modelos cosmológicos. Los modelos propuestos para el universo se asemejan más y más a los organismos de propiedades vivas. En este trabajo trato de dar cuenta de las constricciones y parámetros que un universo autoorganizador tiene que adecuarse. En el proceso trataré de cerrar una circularidad cibernética que Heinz von Foerster abrió hace 35 años y que, en mi opinión, contribuyen a la fundamentación científica de estas nuevas ideas.†

Desde su formulación moderna por Dicke, el *principio antrópico cosmológico* (Barrow y Tipler 1988) ha probado ser de gran utilidad práctica y conceptual para todas las ciencias. En su forma más general este principio simplemente dice que el universo tiene que ser como lo es pues si fuera diferente – con leyes de la física diferentes a las que operan en él – la vida tal como la conocemos no podría existir. Por ejemplo la edad del universo tiene que ser suficiente para permitir la evolución de estrellas de la secuencia principal como nuestro Sol. Estrellas de este tipo (designadas en la astronomía como *clase G*), que tienen vidas largas y estables, y que se constituyen de los elementos adecuados para la evolución de sistemas planetarios como lo nuestro, no habrían podido evolucionar en menos de 10^{10} años (que es cercano al evento "Big Bang"); pues tienen que ser estrellas de segunda o tercera generación‡ para dar cuenta de las proporciones de elementos que existen en el sistema solar. El tamaño del universo es otra restricción que nuestra existencia impone y que guarda una relación de fondo con la edad de él. La relatividad especial demuestra que la velocidad de luz es invariante para todas los observadores y el valor de esta velocidad, $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m. s}^{-1}$, limita el tamaño del universo observable. Asimismo, el tamaño, λ (como una medida del radio), es una función de la edad t_u , tal que $\lambda = c \cdot t_u$. El modelo del universo expansivo permite relacionar su tamaño con la masa observable (en un universo esférico y tridimensional), M_u :

$$M_u = 4 \cdot \frac{\rho}{3} \cdot r \cdot I^3$$

donde ρ es la densidad media de la materia. En principio, el escenario de un universo autoorganizador es consistente con el principio antrópico aunque se lo extiende a una nueva dimensión.

A continuación voy a desarrollar las propiedades fundamentales de un universo autoorganizador en base a las condiciones entrópicas que caracterizan el comportamiento de todo sistema autoorganizador. Estas condiciones fueron expresadas cuantitativamente por Heinz von Foerster (1960, 1965, 1991). Un universo autoorganizador va aumentando su orden interno igual que los sistemas biológicos vivos y los sistemas sociales viables. En parte desarrollé esta idea en mi tesis doctoral en 1972, pero en ese tiempo no hubo caminos abiertos para relacionarla con los tipos de modelos cosmológicos entonces predominantes. Actualmente hay modelos más completos, y enormes números de observaciones físicas y astrofísicas que permiten aproximarnos a este tema con mayores elementos de juicio. En particular enfocaré a nuestra atención en algunos aspectos del escenario de la inflación cósmica caótica. Veremos que éste se relaciona directamente con los requisitos del universo autoorganizador. En primer lugar, revisamos las condiciones entrópicas que caracterizan el comportamiento de todo sistema organizador en términos de las ecuaciones de von Foerster.

2. Las restricciones entrópicas

Von Foerster partió del trabajo de Erwin Schrodinger "What is Life?" (1947) pero en el camino de desarrollar sus ideas llegó a un planteamiento original y complementario. En primer lugar señala que es imposible hablar de sistemas autoorganizadores sin tomar en cuenta sus ambientes. Pues un sistema que aumenta su organización interna, o sea disminuye su propia entropía, automáticamente aumenta la entropía de su ambiente. Entonces, si se trata de un universo finito, se tiene que

* Véase a Andrei Linde 1994 y David Concar, 1997 revisa el trabajo de Lee Smolin – quizás el teorista más prominente de este corriente. Este enfoque por supuesto no representa la tendencia principal en la cosmología actual, pero vale notar que hasta hace quince o veinte años no se lo habría tomado como ciencia sería.

† Este trabajo fue hecho posible con la generosa ayuda de un Fellowship otorgado a mí por la John Simon Guggenheim Foundation. Mediante este Fellowship me fue posible a visitar la Universidad de Illinois, Champaign - Urbana por un mes y retomar esta línea de investigación que había comenzado hace más de veinte años bajo la inspiración de Heinz von Foerster y la Biological Computer Laboratory.

‡ Los elementos complejos y pesados (hierro, carbono, silicón, oxígeno, cadmio, etc.) se forman en el proceso evolutivo de las estrellas, particularmente de las más masivas, y al botarse como gases y polvo al espacio interestelar vienen a ser los ingredientes de las nuevas estrellas que en tiempo se formarán de estas nubes.

$$\frac{\delta S_s}{\delta t} < 0 \quad \text{y} \quad \frac{\delta S_E}{\delta t} > 0$$

Donde S_E es la entropía del ambiente y tiene que aumentarse, S_s es la entropía del sistema y t es el tiempo. En este caso el sistema autoorganizador se vuelve desorganizador para su entorno. Todo esto sabemos de la segunda ley de la termodinámica, pero creo que von Foerster refiere aquí más bien al concepto biológico del entorno como *nicho*^{*}. Un sistema que desordena su nicho se quita de los elementos de éste, que son requisitos para su persistencia. Mantiene su orden por hacer crecer su nicho con respecto al universo. Así se podría imaginar una jerarquía de envolturas adiabáticas que separan los procesos autoorganizadores en un nivel de aquellos que se darán en el nivel vecino ("superior" o "inferior"). Un sistema autoorganizador solo puede aumentar su orden en cuanto tiene acceso a elementos de baja entropía y de alta energía en su ambiente. También Heinz von Foerster resalta las "subjetividades" en torno a la medición de *orden*:

"En primer lugar, podemos querer dar cuenta de relaciones aparentes entre elementos de un conjunto que impondrían ciertas restricciones con respecto a los posibles ordenamientos de este sistema. A medida que el sistema crece, más y más relaciones de este tipo se vuelven aparentes. En segundo lugar, me aparece que orden tiene una connotación relativa, más que absoluta, con respecto al máximo desorden capaz de ser desplegado por los elementos del conjunto" (von Foerster 1991: 45)

De ahí reformuló la medida de "orden", "organización" o "información" en términos de la redundancia, Ω , de la información en un sistema, y no de la neguentropía como lo había hecho Shannon. Diferentes sistemas en desorden completo tendrán diferentes valores finitos para la neguentropía, situación que dificulta la generalización del argumento. La redundancia relaciona el orden del sistema en un momento dado al desorden máximo en que podría incurrir.

$$\Omega = 1 - \frac{H}{H_m}$$

donde H/H_m , denota la entropía relativa que es la razón entre la entropía actual, H^\dagger , y la entropía máxima, H_m , que podría tener mientras esté restringido a los mismos símbolos. Así $\Omega = 1$ especifica un sistema totalmente organizado, y $\Omega = 0$ señala la ausencia de cualquier orden discernible.

"Ya que el cambiar la organización interna de un sistema, ya que sea en un sentido espacial o temporal, a niveles de organización siempre más altos es un punto crucial en mi descripción de los llamados 'sistemas autoorganizadores' que trazan una aplicación del orden ambiental a su propia organización, déjame establecer los criterios que tienen que satisfacerse si queremos que nuestro sistema sea un sistema autoorganizador tal". (1965: 407 - traducción mía J.E.)

$$\frac{1}{H_m} \cdot \frac{dH_m}{dt} > \frac{1}{H} \cdot \frac{dH}{dt}$$

Esto nos dice que la entropía máxima del ambiente tiene que crecer relativamente más rápidamente que la del sistema. Von Foerster desarrolla su argumento en los términos metafóricos de dos "demonios", uno el "interno", es simplemente el demonio de Maxwell que se encarga con aumentar el orden interno o "sistémico". El segundo demonio es "externo", y está encargado a admitir en el ambiente aquellos elementos que son apropiados al sistema (o sea que conforman a su nicho). Creo que se justifica decir que el demonio externo procesa la entropía que se admita al nicho. Si la entropía interna aumenta demasiado rápidamente llegando a igualarse a la entropía máxima entonces el sistema estará en desorden total, que es la "muerte" (el equilibrio termodinámico). Asimismo, en el caso que se reduce al mínimo el desorden interno, aún dejando a la entropía máxima proliferarse, el sistema se volverá un mónodo mecánico, igualmente muerto como un hermoso reloj.

Tomemos como ejemplo simple un sistema compuesto de N elementos capaces de asumir unos estados observables. En la mayor parte de los casos puede lograrse una distribución de probabilidades para el número de elementos en estos estados, tal

^{*}Von Foerster 1966 especifica su concepto de ambiente como algo que coparticipa en la estructuración de restricciones con el organismo - una autoreflejo de esto.

[†] Por convención, en la termodinámica se denota la entropía por la letra S y en la teoría de la información por H . Los argumentos presentados aquí se derivan de ambos campos entonces la elección del símbolo aquí es básicamente arbitraria y sólo sirve como un indicador del contexto. En ambos casos la entropía puede entenderse como una expresión de incertidumbre.

que H se maximice y se obtiene una expresión para H_m . Dado que la entropía (o incertidumbre) está expresada en relación al logaritmo de las probabilidades, se puede demostrar que las expresiones para H_m usualmente siguen la forma general

$$\frac{dH_m}{dt} = a \cdot \frac{d(\ln n)}{dt} \quad y$$

$$= \frac{a}{n} \cdot \frac{dn}{dt}$$

Si esto se aplica al crecimiento exponencial de una población donde $n = n_0 e^{\lambda t}$, entonces $dH_m/dt = \lambda / (\ln 2)$ donde λ es una constante positiva (1965: 408-409). El aumentar a H_m se hace por el simple aumento de los elementos del sistema. La tarea mínima del demonio externo es asegurar que sólo se admita a elementos que no aumentan la entropía, H , interna. Cuando H_m es constante el demonio interno ordena toda la entropía amontonada por su socio. (en esta demostración no se preocupen por los demonios y sus contradicciones cuánticas, etc., pues los dos se cancelan). Von Foerster señala que la entropía actual H puede aumentarse mientras el sistema crece, en tanto que queda detrás de H_m . Además hace notar que el trabajo más efectivo de los dos demonios (o sea, las formas organizacionales que quedan detrás de las metáforas) exigiría una coordinación estrecha entre ellos*.

3. El principio cosmológico

Uno de los postulados más firmes de la cosmología clásica consiste de la asunción que el universo (a gran escala) en cualquier tiempo dado tendrá la misma densidad promedio de materia y con la misma presión media, y en el cual la presión y la densidad pueden variar uniformemente en el curso del tiempo. Esta es la asunción de homogeneidad. Otra asunción es que el universo tiene la propiedad de isotropía, o sea de la equivalencia de todas las dimensiones espaciales. Obviamente esto no ocurre a escalas menores como de la tierra, el sol o la galaxia, más bien se trata de propiedades de las dimensiones de cúmulos de galaxias. Como Finlay-Friendlich lo expresó (1951: 18)

"todos los observadores, ubicados en cualquier parte del universo, describen los fenómenos que observan en términos idénticos, diciendo cada uno de ellos que se ubica en un universo que expande isotópicamente y en el cual toda la materia es distribuido idénticamente."

4. Las dimensiones espaciales.

Supongamos que R es una longitud que sirve como una medida de la curvatura de una superficie en un espacio de cualquier número de dimensiones. De esta manera un valor para R que es grande comparado con las distancias mensurables en la superficie indica una curvatura pequeña, mientras un valor pequeño de R implica una curvatura grande. La Relatividad General nos dice que la presencia de materia curva la superficie del espacio en el cual está imbricada. Si tomamos un espacio unidimensional que está vacío de materia entonces el espacio tendrá la forma de una línea recta (Fig. 1a). Si colocamos una cantidad de materia en este espacio entonces el espacio-línea curvará alrededor de esta materia (Fig. 1b). En el caso que la materia está distribuido de manera uniforme, el espacio será de curvatura uniforme y se cerrará en sí como un círculo (Fig. 1c), pero sólo si hay más de una densidad específica de la materia por unidad volumétrica.

*El hace el punto que no se puede asociar estas actividades sistémicas con coordenados espaciales o temporales locales fijos, para guardar consistencia con las fluctuaciones en un campo cuántico. A este punto volveremos más adelante. También resalta la dificultad de definir "interno" en contraste a externo; al nivel del universo entero esta distinción tiene que ser una de convención no más.

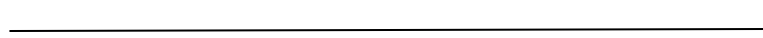


Fig. 1.a



Fig. 1.b

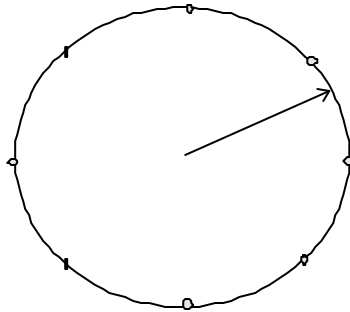


Fig. 1.c

Fig. 1
Curvaturas espaciales en función a la distribución de la materia

En ese espacio unidimensional, sólo puede haber observadores unidimensionales quienes no podrán observar esta curvatura. Ellos sólo pueden conocer dos direcciones, atrás y delante, de modo que no pueden distinguir si su mundo es recto o curvado. Sólo un observador que vive en una dimensionalidad mayor (como nosotros) puede hacer esto, puesto que vemos el espacio unidimensional (1.D) curvado en una superficie bidimensional (2.D). Así, una curvatura de una superficie 1.D es asociada con un valor de R que extiende en la segunda dimensión, y que lo hace no observable para ninguna de los habitantes 1-D de aquella superficie.

El mismo argumento es válida para los habitantes bidimensionales de una superficie 2.D. Estos podrán mover y observar en las direcciones atrás, delante y laterales, pero estarán ignorantes de cualquier cosa debajo o arriba. Si la superficie es plana entonces el mundo será extendido infinitamente como en la geometría euclidiana de los viejos textos escolares.

Sin embargo, si suponemos que hay una distribución igual de materia en esta superficie entonces dará vuelta en la superficie de una esfera. La dirección de R entonces estará hacia el centro de esta esfera, que está en la tercera dimensión. Ahora, mientras los habitantes del universo 1-D no pueden hacer observaciones que les permitirán decidir si su espacio es o no es curvado (excepto si está expandiendo, como veremos abajo), las criaturas 2-D podrán hacer esto si es que tienen instrumentos suficientemente sofisticados. Si su espacio es plano entonces las leyes de la geometría euclidiana plana funcionarán. Según Euclides, la suma de los ángulos de un triángulo es igual a dos ángulos rectos, o 180° . Pero si están en la superficie de una esfera entonces las "líneas rectas" que constituyen los tres lados de un triángulo, serán los arcos de lo que nosotros en 3-D llamamos meridianos o geodésicos (las circunferencias de los círculos cuyos centros coinciden con el centro de una esfera. Un triángulo compuesto de tres de estas "líneas rectas" tendrán tres vértices cuyos ángulos suman a más de 180° , y cuánto mayor el triángulo mayor es la desviación de los ángulos de 180°). Así, si estos observadores 2-D podrían medir los ángulos de un triángulo de tamaño suficiente grande en su superficie, y si fueran buenos geómetros entonces concluirían que su espacio 2-D era curvado en una tercera dimensión. Y podrían calcular el valor de R de esta curvatura en la 3ª dimensión.

Si el principio cosmológico de homogeneidad e isotropía se sostiene, entonces la materia debería ser distribuida de modo igual a lo largo del espacio 3-D. Por la relatividad general sabemos que la presencia de la materia en espacio 3-D dobla el espacio en su vecindad, entonces nuestro espacio 3-D tendría que ser curvado por la superficie de una hipersfera cuadridimensional. La dirección de R , alrededor de la cual nuestra "superficie" 3-D, es curvada, será hacia la cuarta dimensión. Tal como la segunda dimensión se va a ángulos rectos a la primera, y la tercera va a ángulos rectos de la segunda, así la cuarta dimensión va a ángulos rectos a la primera, la segunda y la tercera dimensiones. En la Fig. 2, X es la 1ª dimensión, Y la 2ª, Z la 3ª. La cuarta dimensión es un 4º eje, W , que va a ángulos rectos a las otras tres en el origen O , y que no es realizable por nosotros, criaturas de la tridimensiona-

lidad. La longitud de R será medida en el eje w desde el origen, y de la Relatividad General sabemos que el valor de R será relacionado a la cantidad de energía-materia en el origen O .

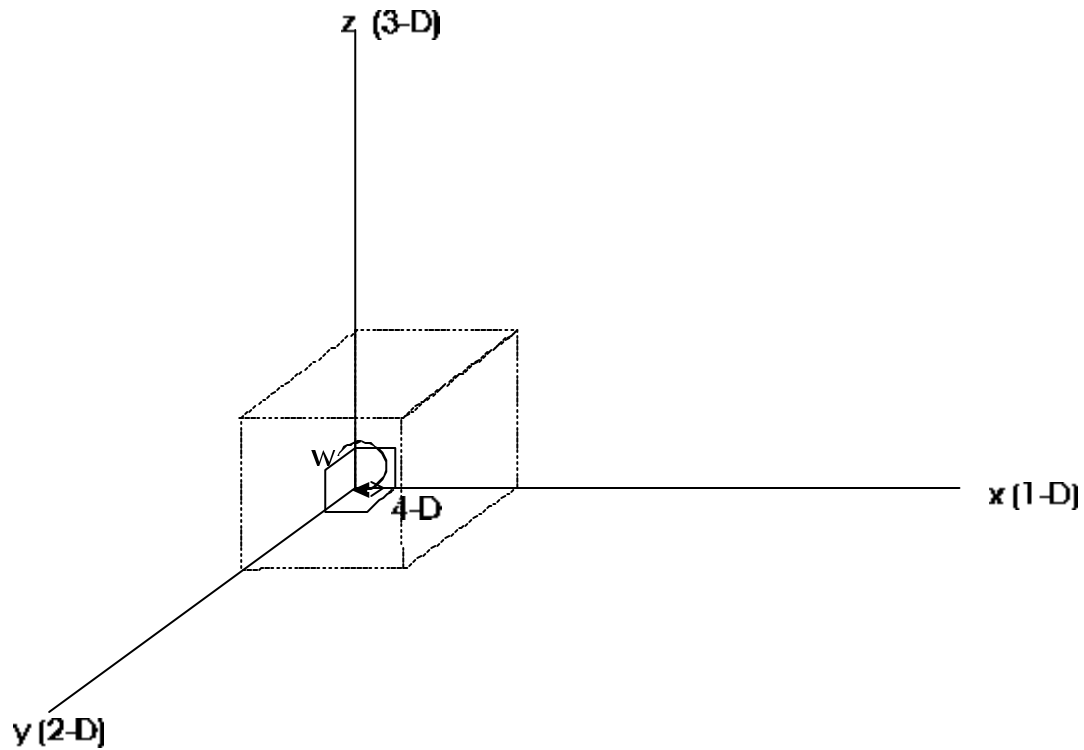


Fig.2.
Ejes y Dimensiones

Antes de realizar cualquier cómputo de la dinámica de este cosmos cuatridimensional e hipersférico, hay que establecer unos puntos de terminología. Ya que el mundo "natural" de nuestras experiencias es 3-D, las palabras que denotan los objetos geométricos de nuestro universo se retendrán para referirse a conceptos equivalentes en universos de otras dimensiones. En nuestro mundo, un espacio que se encierra por linderos en tres dimensiones se llama un volumen. Así, la superficie de un espacio 4-D es llamada un "volumen", puesto que nuestro mundo natural está ubicado en la superficie de un espacio 4-D. Esto ha sido generalizado de modo que la superficie de un espacio de cualquier dimensionalidad se llama un "volumen". El volumen encerrado por una figura de curvas constantes y simétricas se llama una esfera en 3-D, pero es un "círculo" en 2-D, y un hipersfera en 4-D. Un cubo en espacio 3-D es un "cuadrado" en 2-D, una "línea" en 1-D, y un "teserácto" en 4-D.

De la Relatividad General el valor de R que define la curvatura del espacio es inversamente proporcional a la densidad de la materia que lo compone. A mayor densidad material, menor será el valor de R , y mayor será la curvatura (en un espacio "plano" euclidiano el valor de R es infinito). Ahora, la densidad es definida como la cantidad de materia por unidad de volumen:

$$r = \frac{M}{V} \quad \text{donde}$$

y

r = la densidad
 M = la masa
 V = el volumen

$$R = \frac{1}{r}$$

Así, ya que “volumen” en un universo 1D sólo es expresable en los términos de aquella dimensión, ρ estará expresado como masa por unidad longitud (“longitud” como “volumen” 1-D). En espacio 2-D ρ estará en términos de masa/unidad área, y en 3-D es masa/unidad volumen.

En el universo 1-D donde la masa está distribuida homogéneamente, ya hemos visto como el espacio es curvado uniforme en un círculo. La masa se calcula de las propiedades 2-D del círculo, o sea,

$$M = 2pRr$$

dado que la circunferencia $2pR$ expresa el “volumen” de una superficie 2-D (que es en 1-D).

El “volumen” de una superficie esférica en 3-D es $2pR^2$ y el de una superficie 4-D es $2pR^3$, y la masa se describe por

$$M = 2p^2R^3r$$

En general, si n denota el número de dimensiones y $S(n)$ el volumen en su superficie entonces

$$M(n) = S(n)r(n)$$

5. La expansión del universo

Para la claridad de la exposición volveremos al universo 1-D que es igualmente curvado alrededor de un radio de la 2ª dimensión (ver a Fig. 4). Que sean R_1 y R_2 representar los valores en dos puntos en el tiempo de los radios de un universo 1-D curvado que expande. Que sea P un punto en la superficie del universo que subtiende un ángulo $\Delta\phi$ radianes con otro punto, Q, en el centro de la curvatura O. Si r_1 es la distancia de P a Q entonces $r_1 = R_1 \cdot \Delta\phi$. Ahora, si todos los movimientos en la longitud (= “volumen”) del universo son infinitesimalmente pequeños en comparación con la expansión misma, entonces luego de la expansión de R_1 a R_2 , que toma P a P' y Q a Q',

$$r_2 = R_2 \Delta\phi$$

donde r_2 es la distancia de P' a Q'. El ángulo subtendido en O permanecerá sin cambio. Empero, debido a la expansión la distancia r_2 será mayor que r_1 por una Δr más rápido. Así

$$\Delta r = r_2 - r_1$$

$$= (R_2 - R_1) \Delta\phi$$

entonces la velocidad de la separación de todos los P's y Q's puede ser expresada en términos del tiempo Δt en el cual la expansión procede.

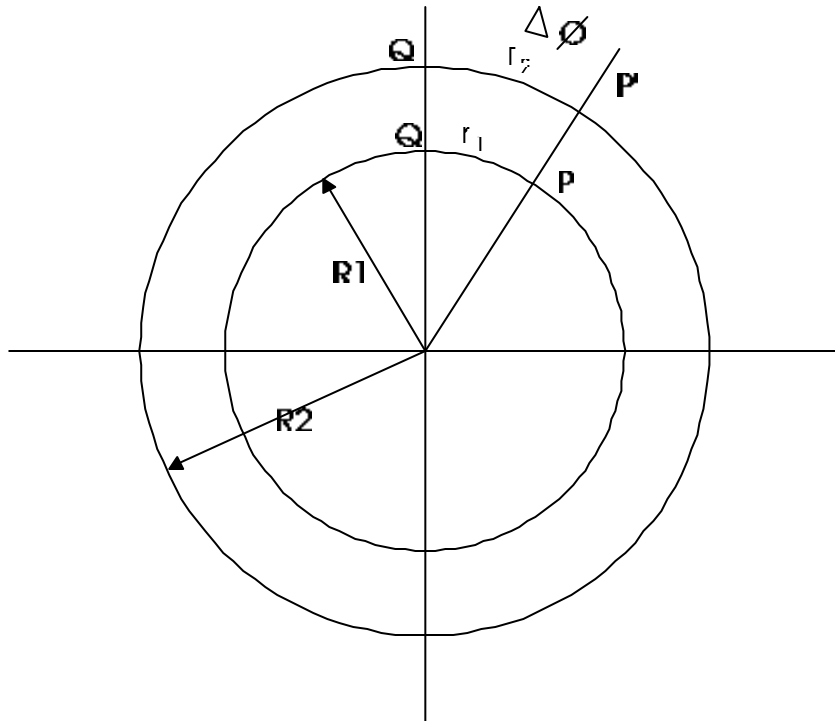


Fig. 3
La Geometría de la expansión

$$\frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{\Delta R}{\Delta t} \cdot \Delta f$$

que en el caso límite ésta viene a ser

$$\begin{aligned} \frac{dr}{dt} &= \frac{dR}{dt} \cdot \Delta f \\ &= \dot{R} \cdot \Delta f \end{aligned}$$

donde $\dot{R} = dR/dt$ y se supone que es constante. Así r aumentará su velocidad linealmente como se aumenta R. Este aumento de velocidad con distancia fue descubierto por Hubble en los 1920 por sus observaciones de un aumento de una velocidad de recesión de las galaxias en función de su distancia de la Tierra. Se llama la Ley de Hubble.

Ahora la relación de la longitud del arco L para cualquier valor de r al radio R y el ángulo subtendido $\Delta\phi$ es intrínseca al círculo, entonces:

$$L = R\Delta f \text{ radianes, } = R\phi/180 \text{ (}\Delta f\text{) en grados}$$

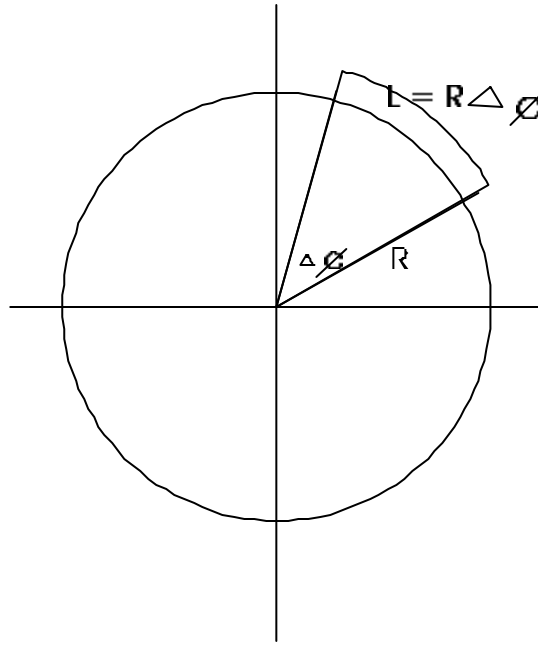


Fig. 4

La cruz-sección circular

Fig.4. La transección del círculo.

entonces

$$\frac{dr}{dt} = L \cdot \frac{\dot{R}}{R}$$

donde

$\dot{R}/R = H_R$ es la constante de Hubble. Esta relación se mantiene para universos de cualquier número de dimensiones pues siempre pueden ser transeccionados por planos que al fin se tornan círculos.

6. ¿Puede autoorganizarse el universo*?

Para contestar esta pregunta, las construcciones de dimensionalidad -- y cómo se relaciona a los volúmenes, masas, y curvaturas de la sección anterior -- tienen que ser traducidos en conceptos adecuados a un tratamiento en términos de la teoría de la información. Ya se ha mostrado que para la superficie de la hipersfera que constituye el universo astronómicamente observable que

$$M = Vr$$

$$M = 2p^2 R^3 r$$

* En vista de los avances en nuestro conocimiento de la geofisiología planetaria surgidos de la teoría Gaia de James Lovelock es válido postular que una visión similar aplicada al uniuerso entero daría lugar a muchos hipótesis nuevos a evaluación observacional.

Se asume que la masa M del universo está distribuida homogéneamente sobre la superficie de acuerdo al principio cosmológico. En este caso M puede sustituirse por el número N de partículas de materia divididas por la masa m_0 de una partícula única. Estas “partículas” son enormes en comparación a la experiencia humana, y corresponden a un grupo de galaxias relacionadas, denotadas *cúmulos locales* o aún *supercúmulos* (que es un grupo de cúmulos locales relacionados). Es en términos de estas “partículas” de este tamaño (y se presupone que el universo consiste de muchísimas de ellas) que se satisface el principio cosmológico. Entonces

$$\frac{M}{m_0} = V \cdot \frac{\rho}{m_0} = N$$

La cantidad ρ/m_0 se llama la “densidad numérica” y nos indica el número de partículas por unidad volumen, Si n denota la densidad numérica, entonces

$$N = Vn$$

Si D es una unidad de distancia que es mayor que la distancia media entre partículas en espacio 3-D*, entonces

$$n = 1/D^3$$

y

$$N = V/D^3$$

entonces de $M = 2\rho^2 R^3 r$

$$N = 2 \cdot \rho^2 \cdot \frac{R^3}{D^3}$$

que quiere decir que $N = f(R, D)$. Esto puede expresarse por la diferencial total

$$dN = \frac{\partial N}{\partial R} \cdot dR + \frac{\partial N}{\partial D} \cdot dD$$

ahora

$$\frac{\partial N}{\partial R} = 3 \cdot 2\rho^2 \frac{R^2}{D^3}$$

y

$$\frac{\partial N}{\partial D} = -3 \cdot 2\rho^2 \cdot \frac{R^3}{D^4}$$

Así el cambio total en el número de las partículas esta dado por

$$dN = 6 \cdot \rho^2 \cdot \frac{R^2}{D^3} dR - 6 \cdot \rho^2 \cdot \frac{R^3}{D^4} dD$$

Para expresar esto como un cambio en el tiempo escribiremos

$$\frac{dN}{dt} = 6 \cdot \rho^2 \cdot \frac{R^2}{D^3} \frac{dR}{dt} - 6 \cdot \rho^2 \cdot \frac{R^3}{D^4} \cdot \frac{dD}{dt}$$

*Volúmenes de materia de la escala de D^3 que en el universo temprano contrajeron en una sola dirección para formar objetos aplanados aplanados son llamados “panqueques”. En tiempo los grandes cúmulos de galaxias formaron de estos panqueques.

de modo que

$$\frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dt} - \frac{1}{D} \frac{dD}{dt} = \frac{1}{\rho^2 \cdot 6} \cdot \frac{D^3}{R^3} \cdot \frac{dN}{dt}$$

Si el número de partículas es constante, o sea $dN/dt = 0$, entonces

$$\frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dt} - \frac{1}{D} \cdot \frac{dD}{dt} = 0$$

Como hemos visto, los estados entrópicos de un sistema pueden escribirse tal que

$$\frac{1}{H_m} \cdot \frac{dH_m}{dt} - \frac{1}{H} \cdot \frac{dH}{dt} \geq o < 0$$

Si el sistema es autoorganizador, entonces

$$\frac{1}{H_m} \cdot \frac{dH_m}{dt} > \frac{1}{H} \frac{dH}{dt}$$

Ahora

$$\frac{dN}{dt} \leq 0$$

$$\frac{dN}{dt} > 0$$

en tal caso

$$\frac{1}{R} \frac{dR}{dt} - \frac{1}{D} \frac{dD}{dt} \quad \text{puede ser mayor o menor que } 0$$

La ecuación autoorganizativa puede compararse a esta ecuación por igualar los coeficientes tal que $H \circ D$ y $H_m \equiv R$. En el caso que

$$\frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dt} - \frac{1}{D} \cdot \frac{dD}{dt} > 0$$

el universo es un sistema autoorganizador: sí cumple con la condición de que $dN/dt > 0$. Veremos abajo que hay varias interpretaciones de esta condición de acuerdo a los procesos, energías y fuentes de energía dominantes en el universo en sus diferentes eras.

7. El modelo “Big Bang” estándar

Para hacer uso de los resultados obtenidos arriba aplicándolos a los modelos cosmológicos contemporáneos examinaremos unas características del modelo que de una manera u otra dio lugar a los escenarios que se investigan activamente, tenemos que hacer un breve resumen del modelo del “Big Bang” * estándar. Los escenarios “biológizantes” pueden ser apreciados mucho mejor desde este contexto.

En el primer lugar las equivalencias derivadas, $R \equiv H_m$, $D \equiv H$, podrían expresar meros formalismos matemáticos y no equivalencias físicas. En las dos formulaciones presentadas -- las relaciones entrópicas de von Foerster y las extensiones de estas a las dimensiones cosmológicas -- la desigualdad, $dN/dt > 0$, es la condición necesaria para la autoorganización. Ahora nos

* la traducción de esto es difícil pero se aproxima “Gran Explosión”, hay dos versiones “standard” de este modelo pero aquí sólo tratamos de Big Bang caliente y no de la versión fría

toca averiguar qué hay de sustancia en estas equivalencias. La relación entre la velocidad del alejamiento de las galaxias de nosotros y su distancia de nosotros fue establecido por Hubble en 1928 a base de sus medidas del desplazamiento *Doppler* hacia el rojo en los espectros de la radiación emitida por un muestreo de galaxias. El efecto Doppler establece velocidad de recesión en función del desplazamiento rojo. En los años 40 George Gamow y otros, basándose en la ley de Hubble y en cálculos de las condiciones enérgicas y térmicas para la producción de partículas atómicas, (básicamente de Hidrógeno y Helio con otros elementos ligeros) presentaron el modelo general del Big Bang. Luego de una serie de modificaciones y ajustes, este modelo logró dar cuenta de estos procesos atómicos y de las proporciones en que los observamos en el universo. Además el modelo se ajusta de manera muy intuitiva con el espacio-tiempo de la Relatividad General. Fue un modelo que amplió nuestra visión cosmológica pudiendo dar cuenta de estos grandes fenómenos aparentemente muy distintos.*.

De acuerdo a este modelo la enorme explosión ocurrió en una *singularidad*[†] hace unos $10 - 15 \cdot 10^{10}$ años. (no nos preguntamos qué habría sido antes del Big Bang pues el espacio y el tiempo mismos se originaron en él. En los primeros instantes la temperatura (T) fue de billones de billones de grados K y no existió estructura cósmica: una distinción entre materia y energía carece de sentido. Después de un segundo T baja a $\sim 10^{10}$ °K. En la *era de la radiación* las partículas nucleares (protones y neutrones), denotadas *bariones*, no formaron átomos por la impermanencia de los electrones.[‡] Luego de menos de cien mil años[§], cuando la temperatura del universo bajaba a unos 3,000 K y su volumen llegó al tamaño de los objetos físicos de la vida cotidiana, se desprendieron los fotones de las partículas nucleares que ya capturaron y retuvieron electrones. Al pase de este era el universo se tornó transparente a la radiación electromagnética. Esta radiación inicial se llama la *radiación cósmica de fondo* (CBR, sus iniciales en inglés) y se la observa hoy en día con instrumentos apropiados. Fue descubierta accidentalmente por Penzias y Wilson en 1965. Actualmente, debido a la enorme expansión del universo, es una radiación fría con una temperatura de 2.736 ± 0.017 K^{**}. Su espectro corresponde al del cuerpo negro de Planck. Por definición, la distribución de frecuencias del espectro de un cuerpo negro depende sólo de la temperatura entonces expresan la entropía máxima. Hacemos un bosquejo breve y muy general para señalar unas relaciones que caracterizan este modelo.

Como ya hemos visto

$$H_R = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dt} \quad 1)$$

donde H_R es el parámetro Hubble y R el radio del universo como vimos arriba. Del elemento de línea se deduce la relación fundamental para la conservación de la energía local.

$$\dot{\mathbf{r}} = -3 \cdot (\mathbf{r} + p) \cdot \frac{\dot{R}}{R} \quad 2)^{\dagger\dagger}$$

Supongamos que la expansión es de la forma Einstein-De Sitter en la cual la presión de la materia, p , es insignificante con respecto a la densidad de la materia, \mathbf{r} ^{‡‡} ($p \ll \mathbf{r}$). También supongamos que la curvatura ($\propto 1/R$) y la constante cosmológica, Λ (que no trato aquí), sean insignificantes. Con la presión igual a cero la ecuación de la conservación es

*No voy a tocar el modelo del estado estacionario de creación continua aquí pues ya no es aceptado por la mayoría de los cosmólogos (aunque creo que está lejos de la extinción todavía)

[†]El término singularidad denota una situación en la cual las ecuaciones que sirven para explicar un número de distintas relaciones asumen valores infinitos que carecen de interpretación o sentido. Al primer instante el universo habría consistido de una masa y temperatura infinita localizada en un punto de cero dimensiones, y así con densidad infinita!

[‡]Antes de este época, los bariones y los fotones se transformaron continuamente los unos en los otros, y como consecuencia quedaron como "pegados" juntos.

[§]Veremos luego que la temperatura interior a una singularidad tal es casi igual a la del cero absoluto. La cuestión importante acerca de dónde vino la energía para producir temperaturas tan altas será tratado más adelante.

^{**}Fue medida con gran precisión por el satélite Cosmic Background Explorer, COBE, en 1992 (Peebles 1993: 131)

^{††}Esta ecuación es de fundamental importancia. Puede derivarse de la mecánica de fluidos en términos Newtonianos y también de la teoría de campos de la Relatividad General. Estaremos volviendo a considerarla más abajo al tratar del universo inflacionario..

^{‡‡}Aquí ρ denota la densidad absoluta de la materia y/o energía promediada, digamos en julios/m³, ρ_b a la materia bariónica, ρ_γ a la densidad de fotones, etc. O sea, ya no estamos tratando del universo en términos de sus propiedades "toscamente granuladas" ("coarse grained") como hicimos arriba, sino a la escala de las partículas atómicas y subatómicas. Sin embargo creo que no hay problemas de compatibilidad en su uso aquí. Igualmente estaremos usando el símbolo n para la densidad numérica, n_b para la densidad numérica bariónica, n_γ para la de los fotones, etc.

$$\frac{d\mathbf{r}}{dt} = -3 \mathbf{r} \cdot \frac{\dot{R}}{R} \quad 3)$$

con la solución

$$\mathbf{r}(t) \propto \frac{1}{R(t)^3} \quad 4)$$

que sólo dice que la densidad de la masa varía inversamente con el volumen. Siempre con la densidad de la masa como el factor dominante, la tasa de la expansión es

$$\left(\frac{\dot{R}}{R}\right)^2 = \frac{8}{3} \mathbf{p} \cdot G\mathbf{r} = \mathbf{H}_R^2 \quad 5)$$

entonces la solución para la expansión de acuerdo a 4) y de 5) es*

$$R \propto t^{2/3}, \quad t = \frac{2}{3\mathbf{H}_R} = \frac{1}{(6\mathbf{p}G\mathbf{r})^{1/2}} \quad 6)$$

El punto cero del tiempo universal está en la singularidad formal $R \rightarrow 0$ donde $\rho \rightarrow \infty$. El modelo standard del Big Bang traza el inicio del universo y su expansión evolutiva como un proceso simétricamente inverso al del colapso de materia bajo la gravedad en un agujero negro. La naturaleza de la singularidad es tal que toda la materia-energía fue concentrada en un punto infinitesimal de donde se expandió. Así, no hay lugar para la incorporación de *nuevos elementos* o componentes de masa-energía que podrían impulsar la evolución del universo y darlo una estructura de crecimiento tal como caracteriza los sistemas biológicos de una manera lógicamente consistente. En esta epistemología física $dN/dt = 0$ y esto se expresa en la ley de la conservación de la materia, es un axioma. Sin embargo no podemos hablar de antes del origen del universo, entonces en el primer instante $dN/dt = \infty$, dándonos otra singularidad y contradicción.

Antes de proseguir, quiero dejar en claro que la falta de este modelo de adecuarse a las condiciones para la autoorganización *no cuenta en la evaluación científica del modelo*. Bien puede ser que el universo sea un sistema puramente mecánica sin ninguna indicación de vida (aunque lo creo).

8. Expansión con entropía

La alta entropía de la CBR (la radiación cósmica del fondo) ha preocupado a los cosmólogos desde su primera observación. Pues, como lo vimos arriba, la segunda ley de la termodinámica establece que la entropía aumentará en el tiempo, ¿Entonces cómo es que los restos del universo joven puede tener una entropía tan alta?. Hay diferentes maneras de calcular la entropía. Penrose menciona a menudo hay factores subjetivos que inciden en su medida, pero von Foerster señala que con la entropía, o *utopía*, el observador entró en un sistema descriptivo de la física por primera vez (1991: 109-121), entonces la subjetividad o *autoreferencia* viene a ser inexorable al conocimiento y a la actividad física.

La entropía en la termodinámica clásica se define por $S = \int \frac{dQ}{T}$ julios/K (con dimensiones $L^2MT^{-2}K^{-1}$), en la mecánica estadística se define $S = -k_b \sum_i (p_i \cdot \ln(p_i))$. Para calcular estas cifras "*naturales*" se pone a la constante de Boltzmann, k_b ($= 1.38 \cdot 10^{-23}$ julios/K), igual a uno, o sea, que los valores de la entropía se miden en términos de k_b , con el resultado que las dimensiones se cancelan, y la entropía se expresa en unidades no dimensionales. Como ya hemos visto, (pág. 3), en la teoría de la información los logaritmos son tomados a la base 2 (y la entropía es medida en unidades no dimensionales denotadas *bits*). La entropía específica S_E es la entropía por unidad masa. La unidad de masa más conveniente usar es la masa del barión; un barión tiene la masa de un nucleón ($1.67 \cdot 10^{-27}$ kg).. En adelante denotamos S_E simplemente por S .

La densidad numérica de fotones, n_γ , y la densidad numérica de bariones, n_B , han quedado en casi las mismas proporciones desde antes del desacoplamiento de la radiación con la materia entre unos 3 mil y 30 mil [†] años después del Big Bang; en

*Esta formulación es adaptada de Peebles 1989: cap. 5

[†]Esta cifra es dada por Barrow y Tipler (1988:386), pero el tiempo varía según el modelo de expansión utilizado. Guth (1989: 115-7) pone este desacoplamiento a 100,000 años después del inicio.

esta época la temperatura era $\sim 10^{10}$ K. La razón de las densidades numéricas de los fotones a los bariones en el universo es $2.2 \cdot 10^8 \cdot h_0^2 \Omega_*$, o sea cerca a 10^9 fotones por barión (Peebles 1993: 158- 180, Barrow y Tipler 1988: 380-84). Entonces la entropía específica S , que se expresa en términos de n_γ/n_B , es $\sim 10^9$. El número bariónico total del universo observable es $B \sim 10^{78}$, y con $\sim 10^9$ fotones por barión. la entropía de la radiación cósmica del fondo, $S_\gamma \approx 10^{87}$ “unidades naturales”.

Ahora, a quizás $15 \cdot 10^9$ años después del BB, la densidad energética actual de la materia (*bariónica*), $\rho_B \sim 10^{-27} \text{ kg.m}^{-3} = 561 \text{ MeV/m}^3$, es mucho mayor que la densidad de la radiación, $\rho_\gamma \sim 10^{-31} \text{ kg.m}^{-3} = 0.056 \text{ MeV/m}^3$ (por eso se dice que actualmente la materia bariónica es *dominante*) pero esto no siempre fue el caso. Cuando el universo expande por un factor de escala $R(t)$ la densidad bariónica decae por un factor de R^{-3} . Empero la densidad de la radiación, ρ_γ , cae más rápidamente todavía, pues la energía de cada cuánto de radiación (*fotón*) es inversamente proporcional a su longitud de onda λ , y λ también $\propto R(t)$. Por eso $\rho_\gamma \propto R^{-4}$; en algún tiempo en el pasado el valor de ρ_γ habría predominado sobre ρ_B hasta que se lo igualó. La emisión de la CBR ocurrió en esta transición, justo cuando la densidad bariónica sobrepasó a la de la radiación (Barrow y Tipler 1988: 382, Sciama 1971: 156-175). En esta discusión se ha relacionado cambios entrópicos - energéticos directamente a cambios en el valor del parámetro R . Sin embargo, la relación entre estas entropías con las de H y H_m , no es claro todavía.

Hay razones para tener cautela pues las generalizaciones que parecen más seguras sólo son válidas dentro de ciertos límites. La isotropía de la CBR la relaciona a una temperatura cuyo valor se expresa como una función de R mientras se trata de procesos reversibles. O sea, la conservación de S es sólo compatible con una evolución termodinámicamente de carácter reversible. Dentro de las limitaciones de la teoría que se ha presentado aquí, S_γ puede asociarse aceptablemente con H_{max} , y más tentativamente B con H . Sin embargo, los valores de R y de S_γ no se relacionan fácilmente, pues S_γ es independiente de la temperatura. La temperatura es una función de R pero la interpretación de esta función depende en la significación del desplazamiento rojo, z , para valores altos. P.J.E. Peebles (1993) quien ha sido involucrado con esta problemática por bastante tiempo es excepcionalmente cauteloso es su evaluación de esta relación.[†]

9. La inflación y el crecimiento

Aceptémonos una equivalencia general entre R y $H_m = S\gamma$ sin esforzarnos a precisar la forma de esta relación. Pasemos a revisar otras condiciones para la autoorganización del universo que se expresan en el modelo inflacionario. Aquí presento unas nociones generales que espero presentar en mayor detalle en trabajos posteriores. Para unos buenos resúmenes recientes no especializados véase a Guth 1989, Linde 1994, Gribbin 1994 y Matthews 1994, 1995; los argumentos técnicos que uso aquí vienen de Peebles 1993: 392-420 y Barrow y Tipler 1988: 430-40.

Este modelo se originó en la aplicación de la mecánica cuántica a las condiciones del universo en los primeros instantes de existencia cuando estaba sujeto a (y quizás iniciado por) fluctuaciones en el “vacío” cuántico. Desde hace 70 años los trabajos de Heisenberg y Einstein han indicado que todo el espacio, lo más vacío que sea, está continuamente experimentando fluctuaciones de materia-energía que aparecen y desaparecen de acuerdo al principio de incertidumbre. La incertidumbre de la energía del campo $\Delta\varepsilon$ se relaciona con la incertidumbre del tiempo Δt de su duración tal que

$$\Delta\varepsilon \cdot \Delta t \geq h/4\pi$$

donde h es la constante de Planck. La ecuación de Einstein, $\varepsilon = m \cdot c^2$, que relaciona la energía con la masa y la relación de de Broglie entre la longitud de la onda λ a la masa m y la velocidad v de la partícula ($\lambda = h/m \cdot v$), permiten entender ciertas propiedades del vacío cuántico.

Las partículas subatómicas aparecen de los campos de energía *virtuales* que penetran a todo y que duran por $\sim 10^{-23}$ s. Estos campos que parecen a una “sopa” de movimientos energéticos constituyen un vacío cuántico. Un campo que conforma a las restricciones de la relatividad especial pues los campos tienen propiedades invariantes para todos los observadores[‡]. Un campo no es simplemente de valor cero de promedio, con fluctuaciones oscilatorias que varían entre valores positivos y negativos de modo que se autocancelan. De acuerdo a la mecánica cuántica puede tener una magnitud que no es cero. En el modelo que inspiró el trabajo presente Heinz von Foerster preveía la importancia de las fluctuaciones cuánticas para la definición e identificación de regiones autoorganizadoras pues

[†] h_0 y Ω son dos parámetros que se asocia con muchas entidades cosmológicas y que permiten convertir estas a unidades no dimensionales.

[‡] Esta descripción es enormemente simplificada pues había secuencias de épocas en las cuales bariones formaron para luego volverse en radiación. Hay todas las actividades de los léptones, los hadrones, núcleos de deuterio y helio, que indica una compleja interacción entre entidades que en un momento se comporten como entropía máxima y en otro como entropía actual; un análisis sería de estos procesos ocuparán muchos años.

[§] véase a Matthews 1995: 30-3;

”... puede surgir la posibilidad de que estas regiones ... pueden no sólo moverse en el espacio y cambiar de forma, sino también aparecer y desaparecer espontáneamente aquí y allá, requiriendo entonces que el “ordenómetro” {una máquina hipotética que detecta orden- J.E.} no sólo persigue estos sistemas tan elusivos, sino que detectan también que detecte el lugar de su formación.” (1991: 45)

Esta situación es justamente caracteriza el estado inicial de lo que se hará Universo. No hay modo ni lógica en especular como es este estado, pues ni ahora podemos conceptualizar el mundo cuántico. No se puede hablar de su tamaño su edad. Sólo en el caso que un gradiente energético del campo se ponga más profundo, algo “cuántico” emerge que se localiza asume masa, espacio y tiempo y expande. En general, la única condición es que la presión del campo vacío, p , cancele la densidad, ρ , de la energía dada en la ecuación 2). Esta condición se cumple con una presión negativa $p < -\rho/3$. La Relatividad General establece que la presión ejerce una fuerza gravitacional.

En el caso que la presión fuera negativa por un tiempo, la ecuación 2) indica que la densidad de la energía, ρ , varía menos rápidamente que R^2 . Se daría una situación en la cual el universo pudo expandirse a una tasa constante. La densidad energética se mantiene constante por la duración del campo de presión negativa, o succión. La presión negativa, ϕ que tendría la forma de una energía de gravedad negativa (Guth 1989:134-5), resulta del campo escalar formado en ese mar o sopa cuántica. El campo de presión tiene un efecto *contra-gravitacional* semejante a la descartada constante cosmológica Λ de Einstein. Hasta que el campo escalar se agote el universo experimenta una explosión exponencial del volumen que aumentó por un factor de 10^{50} a 10^{75} en un periodo de $\sim 10^{-32}$ segundos; la expansión desde el fin de la inflación hasta la actualidad es mucho menor. La época de la inflación termina cuando ϕ se acerca a un mínimo profundo en la gradiente de la energía potencial $V(\phi)$, y casi toda esta energía se transfiere a la energía cinética $(d\phi/dt)^2/2$. En el primer fase tenemos la relación

$$\frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dt} \gg \frac{1}{f} \cdot \frac{df}{dt}$$

en la cual la evolución del campo es mucho más lenta que la tasa de expansión. En la segunda fase el campo se desenvuelve más rápido y llega a casi igualar a la expansión. Hay que recordar que durante la inflación la densidad energética conservada es la de una energía “indiferenciada” que sólo iba asumiendo las formas “familiares”^{*} tras una serie de “rupturas de simetría”. La última no se produjo hasta que la energía bajaba a $\sim 10^{14}$ GeV. Esto dio lugar a un mar de cuantos relativísticos pero ahora con presión positiva, en gran parte esta energía fue “convertida” en entropía. Observamos los restos de esta entropía en la CBR, pero hay que tomar en cuenta que parte de esta entropía fue usada en la creación de bariones. Vale citar a Peebles textualmente en este contexto.

“La transición de un universo dominado por la energía en el campo ϕ a uno dominado por la entropía proveería las condiciones iniciales para el modelo clásico Friedmann-Lemaître, que expande enfriándose hasta la época actual....La densidad bariónica original también se habría hecho insignificante durante la inflación, de modo que los bariones tendrían que formarse de la entropía producida al fin de la inflación” (1993:397 traducción JE)

La producción de bariones desde la entropía, y esta en su torno del campo ϕ efectivamente es una producción de entropía “sistémica”, H . La entropía máxima generada por la inflación, H_m , habría sido aún mayor que lo que observamos en la CBR pues parte de esta se convirtió en bariones. En otras palabras, la producción entrópica de los bariones satisface precisamente la condición que $dN/dt > 0$. El escenario inflacionario cumple con las condiciones de autoorganización derivadas del análisis de Heinz von Foerster. Vale señalar que no hay límites fijos para la cantidad de materia-energía existente al inicio de la inflación. Varios autores sostienen que unos cuantos kilogramos sería suficiente: Guth dice que “el universo representa el último almuerzo gratis” (1989: 136). Otras variantes permiten la creación *ex nihilo*.

Hay un punto más que hay que resaltar, ello es, que la inflación se produce exponencialmente. Este es un patrón de crecimiento netamente asociado con organismos vivos como vimos antes; en particular se llama a esta forma de crecimiento, una estrategia “r”. Al fin de la inflación se supone que el universo revierte a una expansión “clásica” de la forma que resumimos arriba donde $R \propto t^{(2/3)}$ o $\propto \sqrt{t}$, aunque bien puede haberse postulado me parece que la posibilidad de una evolución sigmoide, “K”, valdría explorar en esta dirección. Esta estrategia de crecimiento, donde a la vez que un sistema se acerca a su capacidad de carga, su crecimiento disminuye. Se la denota una curva logística.

10. Entropía, gravedad y circularidad

En este punto volveremos a las ecuaciones von Foerster. El sistema autoorganizador no sólo tiene que incorporar nuevos elementos que se conformarían a su ambiente para mantener su orden interno, sino que tiene que coordinar los sensores y

^{*}O sea la fuerza fuerte, la electromagnética, la débil, y la de la gravedad.

los efectores de su sistema en una manera a fluctuaciones en la disponibilidad de elementos externos que pueden asimilarse al sistema como H_m . En varios trabajos (1965, 1969, 1970, 1991: 63-78) él ha demostrado como el mismo comportarse en vida involucra la construcción de una lógica inferencial inductiva y autoreferencial. Podemos suponer que el universo inflacionario autoorganizador, como organismo, comparte estos atributos cognitivos. Específicamente, ¿cómo puede acceder a la alta entropía de la radiación cósmica de fondo con las características actuales que tiene esta? Aunque la cantidad de esta entropía es enorme como vimos, la energía media por fotón es 0.01 eV (con $z=10$) y la densidad de la energía a $z=0$ es $2.6 \cdot 10^{-4} \text{ eV/m}^3$; hay poquísima energía disponible en la CBR. Lo que quiere decir que pese a su entropía enorme la CBR ya no es una fuente de H_m para la manutención del universo de hoy.[†]

La entropía máxima de cualquier sistema no es simplemente un "bulto de desorden" que alimenta el sistema, sino es una fuente de nuevas posibilidades para la evolución de su orden interna, y además debe compartir propiedades con los componentes del sistema. Por ejemplo, los automóviles como tales no se contemplan en el ambiente o nicho para las hormigas, son sólo una parte no diferenciada de "algún mundo" no cognoscible por nosotros.

Penrose hace el punto que el origen del orden universal que observamos y con que intercalamos es la gravedad. Como ejemplo, él señala que nuestro Sol en la actualidad tiene una entropía de ≈ 1 fotón por barión, que es una magnitud muy baja para la entropía y por ello es una fuente de energía libre "Gibbs". De esta energía solar "fino", mediante el fotosíntesis por las plantas verdes todas los sistemas biológicos y ecológicos van autoorganizándose. La atracción gravitacional del nube de gasa y polvo dio lugar al Sol y el sistema solar. O sea, la gravedad es la fuente de todo la hermosa organización que apreciamos (Penrose 1989: 318- 322), y a su vez la manifestación máxima del desorden. La agregación de cúmulos de materia bajo la fuerza atractiva de la gravedad tomar lugar con la producción de entropía.

Ahora pasaremos a revisar unas propiedades de la entropía con respeto a las agujeros negros y la gravedad. Hawking ha mostrado que los agujeros negros son también cuerpos negros. La entropía de un agujero negro es una función directa de su masa cuadrada, o la entropía por unidad masa es proporcional a la masa. A la vez, la temperatura del agujero negro en proporción inversa a su masa. Y finalmente la entropía es proporcional al inverso de la temperatura cuadrada.

$$S_{bh} = 2 \cdot h_- \cdot \frac{c^5}{[T_{bh}^2 \cdot (k_b \cdot G)]}$$

donde

T_{bh} = la temperatura de un agujero negro

h_- = la forma Dirac de la constante de Planck ($h_- = h/2\pi$)

k_b = la constante de Boltzmann (1.3810^{-23} julio/K)

G = la constante universal de la gravedad

M = la masa del agujero negro

c = la velocidad de la luz

[†]Por comparación un electrón tiene una energía en descanso de 0.5 MeV.

[†]No estoy tomando en cuenta del papel de esta radiación en las procesos de ionización, etc., pero estos también contribuyeron a la inutilidad de esta entropía

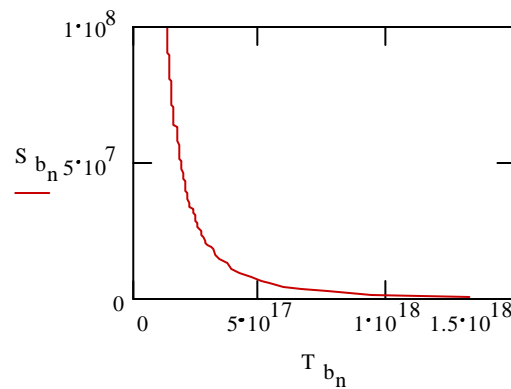


Fig.5. La entropía, S_{bh} , de un agujero negro como una función de su temperatura T_{bh}

La relación está graficada en la figura 5 para menos de dos ordenes de magnitud. El universo que está visible (en nuestro horizonte de eventos) para nosotros tiene una masa de cerca a 10^{53} kg. que estaría ubicada dentro del origen en la cuarta dimensión de la fig.4. Con las ecuaciones de Hawking se puede calcular que serían la temperatura y la entropía del universo en el caso que este fuera compactado en un super-agujero negro al producirse el Big Bang. En estas ecuaciones arriba he dejado los valores de la entropía en las unidades de la termodinámica clásica^{**}, de julios por K. Los valores *naturales* para la entropía, que se obtiene al poner a la constante de Boltzmann $k_b = 1$, son cerca a 10^{23} veces mayores. La entropía del hipotizado agujero negro universal $S_{bh} = 1.8308910^{99}$ julios/K = 10^{122} unidades naturales. La temperatura, es muy cerca al cero absoluto. En unidades naturales de k_b , $T_{bh} = 0.0000022334$, más o menos a 10^{-29} K. Esta temperatura es muy inferior a las temperaturas de las “burbujas” espaciales que separan los cúmulos de galaxias. Es interesante notar que el radio de Schwarzschild calculado para $M = 10^{53}$ kg es igual da un valor a la longitud de Hubble $\sim 1.5 \cdot 10^{26}$ m. Podemos estar adentro de una singularidad en un agujero negro, no hay como saberlo, y por eso el contraste del “interior” con exterior presenta problemas.

Esto quiere decir que en el caso que nuestra región del universo naciera en una singularidad negra (o de los postulados agujeros blancos) habría contado con una entropía máxima suficiente grande - mucho más grande que ella de la CBR - para nutrir los procesos continuos de ordenamiento que toda nuestra experiencia atestigua. En el curso de la inflación parte de esta entropía gravitacional condujo a la formación de la materia cuántica radiativa, lo que generó una nueva clase de entropía alta en la forma de la CBR. Esto a su vez constituyó la entropía máxima para la creación de la materia bariónica, y otras formas de materia más ordenada. Como dice el físico-químico hindú, C.V. Seshadri, (1993) la magnitud de la entropía depende en quién o qué lo quiere y el propósito o función que necesita cumplir; él nos pone el ejemplo de las materias botadas por malogradas en los países ricos. Las televisores blanco y negros, computadoras PC XT (y ahora AT 286), Comodore 64, Atari, etc., ropa usada con unos huequitos, automóviles de los 60 y 70, etc., etc., etc.[‡] En aquel contexto todo eso es un agregado de desechos de alta entropía. Seshadri se pone en el lugar de los campesinos de una aldea en la India; allí, todas esas cosas constituirían fuentes de baja entropía y de alta utilidad. He visto un sin número de evaluaciones y usos semejantes en los países andinos.

En términos científicos no se puede igualar y/o contrastar entre cosas por el valor de la entropía que se les atribuyen. La entropía por barion en agujeros negros es muchísimo mayor que la entropía por barion en la CBR.. Sin embargo cada estrella masiva que vive una vida corta y termina reventándose en un supernova genera una cantidad de elementos complejos y pesados que comparativamente hablando son de baja entropía. En el curso de su enfriamiento lento mientras se vuelve agujero negro emite fotones de entropía cada vez mayor que se supone que se juntará en el tiempo con los del CBR. Aunque esté fuera de los propósitos de este trabajo no puedo dejar de sorprenderme frente a los esfuerzos de muchos cosmólogos de modelar un universo que se inicia con baja entropía tal que la segunda ley de la termodinámica pueda operar de modo clásico. La segunda ley sí opera e interviene en todo proceso que involucra una transformación de energía, sin embargo si el universo entero transforma energía, tal como hemos visto, no podría ser de manera irreversible y altamente disipativa. Choques o fluctuaciones esporádicos pueden

^{*} Uno de los primeros gran descubrimientos de Hawking consiste en establecer que los agujeros negros son también cuerpos negros en el sentido de la termodinámica clásica (que puede ser expresado por el número de nucleones que la masa M contiene (Barrow y Tipler 1988: 353). Y a asimismo, este valor de la entropía es poco diferente al valor de ella derivado de la mecánica cuántica. Hay una serie de coincidencias extrañas asociadas con estos cálculos que examinaré un trabajo futuro.

^{**} Los modelos de la inflación caótica de Linde 1994, Hawking 1988, y otros parecen ofrecer caminos para la solución de problemas que no se parecieron relacionados, pero no puedo tratarlos aquí

[‡] También se no se debe olvidar las enormes cantidades de lapiceros, borradores, y otros ítems que nos parecen cruzar los horizontes de pequeños “agujeros negros”, que en toda probabilidad son nuestros basureros.

estar dando lugar a una transformación de la entropía gravitacional en entropía CBR a largo plazo. Terminaremos con unas especulaciones.

11. Especulaciones finales

El punto que hago es eso: la enorme entropía de la gravedad provee amplias cantidades de entropía máxima que los sistemas incipientes puedan nutrirse, muy lentamente en principio pero acelerándose con el advenimiento de la autoconstrucción de organismos biológicos. Podríamos decir que la entropía máxima va ordenándose en capas distintas, cada vez más complejas. Habrá flujos de entropía desde adentro hacia afuera (de ahí la 2ª ley) y desde afuera hacia adentro (de ahí la evolución pues para el universo entero las dos entropías coexisten). Tal como hay diferentes formas de energía también hay diferentes formas de entropía máxima de acuerdo a los estados de los sistemas autoorganizadores.

Anteriormente mencionamos la posibilidad de un patrón de crecimiento logístico del universo. Nuestro modelo del universo autoorganizador todavía estaría nutriéndose de la enorme entropía gravitacional, ya sea de los remanentes de los agujeros negros de la singularidad inicial, de los agujeros que se formaron en la formación y evolución de las galaxias, o en los campos gravitacionales o masas (son lo mismo para la Relatividad General) que se expresan en la heterogeneidad del espacio tiempo. Hemos visto que esta fuente ha proveído cantidades considerables de H_m para la actividad ordenadora del universo hasta ahora. Pues bien, si el universo crece de acuerdo a un patrón K, entonces la tasa del crecimiento será una función de la H_m disponible. En primer lugar comparemos las estrategias r y K.

$$x_m := x_0 \cdot e^{\frac{m}{\delta} \cdot \ln(2)} \quad \text{estrategia r}$$

$$z_n := \frac{K}{\left[1 + z_0 \cdot (e)^{-\left\{ \frac{n}{\delta} \cdot \ln(2) \right\}} \right]} \quad \text{estrategia K}$$

JE **{NOTA: Estas ecuaciones, espec. la logística, tienen que reformularse **** JE FIJATE}**

donde m y n son los intervalos del tiempo para cada modelo

x_m y z_n representan los tamaños de los organismos o universos después de tiempos m y n

x_0 y z_0 son los tamaños iniciales

Lo que sostengo es que los antropólogos, como estudiosos del pensamiento humano, no podemos esquivar este tipo de preguntas, pasándolas a los físicos así no más. Si la cosmología expresa facetas de la organización y la dinámica social de las sociedades – quechuas, aymaras, akwe-shevante, cocama, etc. podemos justificar la exclusión de la cosmología física (occidental contemporánea) de nuestro análisis? O quizás sería más fácil a pasar esta tarea a los sociólogos, y volver al estudio de las cosmologías y organizaciones sociales de los pocos pueblos que conservan cosmologías antropocéntricas.

Ahora

$$\frac{dN}{dt} \leq 0 \quad \circ \quad \frac{dN}{dt} > 0$$

en tal caso

$$\frac{1}{R} \frac{dR}{dt} - \frac{1}{D} \frac{dD}{dt} \text{ puede ser mayor o menor que } 0$$

La ecuación autoorganizativa puede compararse a esta ecuación por igualar los coeficientes tal que $H \circ D$ y $Hm \circ R$. En este caso se puede decir que en el caso que

$$\frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dt} - \frac{1}{D} \cdot \frac{dD}{dt}$$

el universo es un sistema autoorganizador. Se cumple con esta condición: $dN/dt > 0$, sólo si el número de partículas está en aumento. A este punto volveré en una publicación posterior.

bibliografía

Barrow, John and F. Tipler

1988: *The Anthropic Cosmological Principle*, Oxford University Press, Oxford.

Beer, Stafford.

1982: *The Brain of the Firm*.

1979: *The Heart of the Enterprise*.

1985: *Diagnosing the System for Organizations*

Dicke, R.H

1957: Rev. Mod. Phys. 29,

Earls, John

1973: *Andean Continuum Cosmology*, tesis doctoral a la Universidad de Illinois, Champaign - Urbana.

1994: El observador: una visión interdisciplinaria, Actas de las sesiones de avances de investigación, T.1, N°4, Academia Nacional de Ciencia y Tecnología, Lima

Earls, J. y I. Silverblatt

1978: "La realidad física y social en la cosmología andina", *Actas del Congreso Internacional de americanistas*, T.4. París.

1981 La instrumentación de la cosmología inca en el sitio arqueológico de Moray, en Lechtman y Soldi (comp.)

Findlay-Friendlich, E

1951: Cosmology. *International Encyclopedia of Unified Science*, Vol.1, N.8. University of Chicago Press, Chicago.

Foerster, Heinz von

1960: On Self-Organizing Systems and Their Environments, in eds. M Youits and S.

Cameron, *Self-Organizing Systems*, Pergamon Press, Londres. (traducción en castellano en Von Foerster 1991)

- 1965: Memory Without Record, in Learning, Remembering and Forgetting, Vol.1: The Anatomy of Memory, (ed. D.B. Kimble) Science and Behaviour Books Inc. Palo Alto.
- 1966: From Stimulus to Symbol, en G. Kepes Edt. *Sign Image Symbol*, George Braziller, New York
- 1969: What is Time that it may have Hindsight and Foresight as Well? in *Proceedings of the Third International Conference: The Future of the Brain Sciences*, ed S. Bozoch. Plenum Press, New York.
- 1991: *Las Semillas de la Cibernética*, Edt. Marcelo Pakman, Gedesa, Barcelona
- Frøyland, J.
- 1992: *Introduction to Chaos and Coherence*. The Institute of Physics Publishing, Londres
- Gribbin, John
- 1994: *New Sci.* **1908**, pp.38-40
- Guth, Alan H.
- 1989: Starting the Universe: the Big Bang and cosmic inflation., in (ed J. Cornell) *Bubbles, voids, and bumps in time*,. Press Syndicate of the University of Cambridge,105-146
- Hawking, Stephen
- 1988: *A Brief History of Time*, Bantom Books, New York
- Jantsch, Erich
- 1980: *The Self-Organizing Universe: Scientific and Human Implications of the Emerging Paradygm of Evolution*, Pergamon Press, Oxford.
- Linde, Andrei
- 1994: The Self-Reproducing Inflationary Universe, *Sci. Am.* november, 48-55
- Makabe, Pedro
- 1989: *El cambio epistemológico: Paradigmas en Ciencia, Medicina y Psiquiatría*, Editorial San Marcos, Lima
- Matthews, Robert
- 1994: *New Sci.* **1942**, pp. 28-32.
- 1995: *New Sci.* **1996**, pp. 30-33.
- Maturana, Humberto
- 1970: The Neurophysiology of Cognition, in (ed. P.Garvin) *Cognition: a Multiple View*, Spartan Books, New York
- 1975: Biology of Language: The Epistemology of Reality, in eds. G.A. Miller and E. Lenneberg, *Psychology and Biology of Language and Thought: Essays in honour of Eric Lenneberg*, Academic Press, New York.
- Maturana, H. y F. Varela
- 1984: *El Arbol del Conocimiento: Las bases biológicas del entendimiento humano*, Editorial Universitaria, Santiago de Chile
- Peebles, P.J.E.
- 1993: *The Principles of Physical Cosmology*, Princeton University Press, Princeton. NJ
- Penrose, Roger
- 1989: *The Emperor's New Mind; concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics.*, Penguin Books, New York.
- 1994b: *Shadows of the Mind: a search for the missing science of conciousness*, Oxford University Press, Oxford.

- 1994a: Non- locality in and objectivity in quantum state reduction, En, *Fundamental aspects of quantum theory* (comp. J.Ananden and J.L.Safkp), World Scientific, Singapore.
- Prigogine, Ilya
- 1980: *From Being to Becoming: time and complexity in the physical sciences.* W.H. Freeman & Company, New York
- Rubin, Vera C.
- 1989: Weighing the Universe: dark matter and missing mass, in (ed J. Cornell) *Bubbles, voids, and bumps in time*, pp 73-104.
- Schrodinger, Erwin
- 1947: *What is Life?*. MacMillan, New York.
- Smolin, Lee
- 1992: *Classical and Quantum Gravity*, **9**, p.173
- Stapp, Henry
- 1993: *Mind, Matter and Quantum Mechanics*, Springer Verlag, Berlin.
- Thom, René
- 1975: *Structural Stability and Morphogenesis: An Outline of a General Theory of Models.* The Benjamin/Cummings Publishing Company, Reading, Massachusetts.
- Varela, F, E. Thompson y E. Rosch
- 1991: *The Embodied Mind*, M.I.T. Press, Cambridge Massachusetts.
- Whorf, Benjamin Lee
- 1967: *Language, Thought, and Reality* (ed. J. Carroll). M.I.T Press, Cambridge Massachusetts