

Capítulo 1

Evolución cosmológica

*Mientras más conocimiento tengamos acerca del universo,
más difícil será explicarlo.*

Léon Brunschvicg

El inicio del universo

Al abordar este tema inmediatamente encontramos varias dificultades que surgen de la amplia gama de modelos, hipótesis y teorías existentes para comprender todo el conocimiento que nos falta por descubrir.

Las propuestas sobre el inicio del universo las encabeza la *Teoría del Big Bang* con su apéndice de la *Inflación Cósmica*, aunque existen otros modelos que tienen seguidores entre los científicos de la corriente dominante de la ciencia. Algunos de ellos son: la *Teoría del Estado Estacionario* de Fred Hoyle, Thomas Gold y Hermann Bondi, que se sigue discutiendo; el modelo *pre-Big Bang*, que es una remodelación de la inflación cósmica inspirada por la *Teoría de las Cuerdas*; las teorías inspiradas en la *Gravedad Cuántica*; la nueva *Teoría de la Información Cuántica*; y nuevas propuestas como la de Joao Magueijo¹ quien dice: «una alternativa provocadora es la *Teoría de la Variación de la velocidad de la luz*», la cual alteraría los cimientos de la teoría de la relatividad y remarca una «constante duda: ¿podría ser que el entusiasmo generado por la *Teoría de la Inflación* y sus ramas, escondiera un monstruoso error?»

En este tema del nacimiento del universo cabe mencionar la *Teoría de los Universos Múltiples o Multiversos*, que considera que del vacío cuántico

¹ Joao Magueijo, investigador de Física Teórica en el Imperial College de Londres

o metauniverso surgen universos con diferentes constantes físicas o con leyes diferentes a las de nuestro universo. Algunos de estos pueden dar lugar a la vida y otros son estériles. Los físicos y cosmólogos hablan de universos paralelos en diferentes contextos: universos iguales al nuestro, en otras dimensiones, o en diferentes estados cuánticos.

Por último mencionaremos dos teorías: la *Teoría del Universo Pulsante*, que sostiene que el universo se colapsa sobre sí mismo y vuelve a iniciarse otro *Big Bang*; así, no tiene ni principio ni fin y la *Teoría del Universo Ekpirótico*, surgida de la *Teoría M*, que da alternativas a las de la inflación. Todos estos modelos, siendo factibles, no pasan de ser, por lo pronto, especulaciones.

Nosotros tomaremos como el más aceptable el modelo del *Big Bang* (Couper y Henbest, 1998; Fox, 2002; Silk, 1980) para discutir el inicio del universo, aunque teniendo en cuenta que este modelo aún requiere de mediciones y algunas pruebas más rigurosas para determinar si el universo realmente se expande como la *Teoría de la Relatividad* predice; si la masa que está distribuida uniformemente (materia oscura) actúa como la constante cosmológica de Einstein, produciendo la aceleración de la expansión del universo; y si la materia oscura está formada por partículas exóticas que están por encontrarse. Aparte de otras objeciones más sutiles, al modelo le falta comprobar la función de lo que constituye la energía mayoritaria en el universo, la energía oscura. Por tanto, vamos a recurrir a la *Teoría de la Información Cuántica* para poder consolidar todo lo existente en el universo, tanto lo material como lo inmaterial o "noético", dando por hecho que todo es físico por naturaleza.

Consideramos entonces que el universo evolucionó a partir de un estado muy caliente y de máxima densidad como lo indica el modelo *Big Bang*. Las primeras preguntas que surgen son: si el *Big Bang* se inició en el tiempo de Planck (10^{-43} seg.), ¿qué sucedió entre el tiempo de Planck y el tiempo cero? Si el universo tuvo un inicio, ¿qué lo produjo? Una respuesta sincera sería "no lo sabemos". Sin embargo, para apoyarnos en una teoría que permita ser congruente con el esquema que tratamos de obtener, adoptaremos la respuesta que nos da Ilya Prigogine (1997), quien discute que el tiempo es eterno, no tiene principio y no tendrá final: entonces el universo fue producido a partir de un meta-universo donde el tiempo y el espacio son continuos y por lo tanto infinitos.

Otros científicos, como Gabriele Veneziano, padre de la *Teoría de las Cuerdas*, también argumentan que el *Big Bang* no fue el origen del universo sino simplemente el producto de un estado preexistente, de un meta-universo.

Teorías recientes sobre la gravedad cuántica sostienen que el tiempo y el espacio tuvieron un rompimiento en *quanta*, esencialmente fragmentos de información. O sea, nuestro espacio y tiempo surgieron de un estado previo, descrito por la *Teoría Cuántica de la Gravedad* (Turner, 2009). Podemos redefinir la información en esta etapa del universo primigenio de la siguiente manera:

La información es el conjunto de bits que surgen en el inicio del universo en sistemas elementales que evolucionan hacia la materia y paralelamente hacia las características que la identifican, y los principios y leyes que la rigen.

Como ya dijimos, el universo es una computadora cuántica. El complejo mundo que vemos a nuestro alrededor es la manifestación de la computación cuántica subyacente del universo.

La revolución digital bajo la cual nos encontramos hoy en día es únicamente la última de una larga línea de revoluciones de procesos de información que se alarga hacia atrás a través del lenguaje, el desarrollo del sexo, la creación de la vida, hasta el inicio del universo mismo. Cada revolución ha sido el germen de la siguiente y, desde el *Big Bang*, toda revolución de procesos de información surge de la capacidad del universo para procesar información. El universo computacional «necesariamente genera complejidad». La vida, el sexo, el cerebro y la civilización humana no surgieron por mero accidente. (Lloyd, 1996)

Tan pronto el universo nació, empezó a computar (Lloyd, 1996). Surge una pregunta: ¿qué computa el universo? El universo se computa a sí mismo. El universo computa su propio comportamiento pero más importante es que el resultado de su computación siempre es información más compleja. Al principio los patrones que produjo eran simples, incluyendo las partículas elementales y estableciendo las leyes fundamentales de la Física. Con el tiempo, a medida que procesaba más y más información, el universo fue tejiendo patrones más intrincados y complejos, incluyendo galaxias, estrellas y planetas. Al mismo tiempo, la evolución cosmológica comprende la

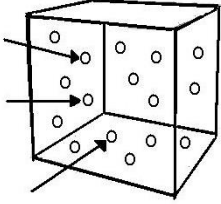
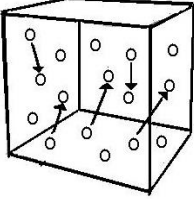
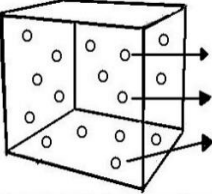
evolución química, la emergencia de los elementos de la tabla periódica mediante procesos estelares.

Entonces es necesario contar con un *software* para que el universo se compute a sí mismo. En este caso el *software* podría ser una ecuación caótica en el sentido que itera los resultados de cada proceso para que surjan las leyes. Las constantes físicas pueden considerarse las condiciones iniciales.

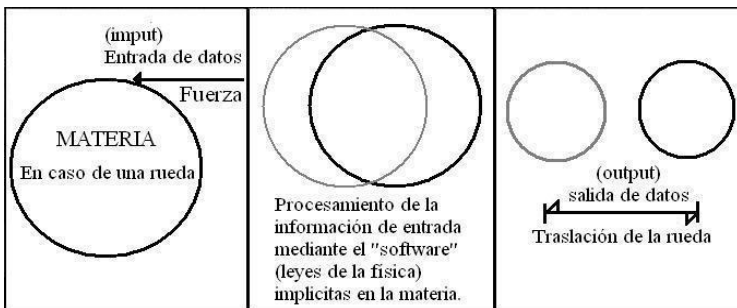
No podemos tener ningún entendimiento de la naturaleza sin unas constantes invariantes y unos principios fijos o inmutables de la ciencia. Todo esto es comparable a decir que $2+2 = 4$ a través de todo el universo o que los átomos de hidrógeno se construyen idénticamente en todas partes. Si estas suposiciones centrales no son verdaderas, no siga leyendo (Chaisson, 2001).

Todos los sistemas que conforman el universo computan. Los científicos que estudian la información cuántica sostienen que lo hace tanto la materia común como la energía oscura. En este modelo de evolución, creemos que la energía oscura contiene información que se complejifica a medida que se complejifica la materia y está constituida por campos de información con diferentes grados de complejidad.

Dado que el universo computa, la materia computa. Para aclarar un poco esto pongamos dos ejemplos. El primero nos lo da Seth Lloyd (Lloyd y Ng, 2004):

	<p>Consideremos un kilogramo de plasma caliente en una caja de un litro de capacidad. Este "aparato" acepta información codificada, tal como posiciones, velocidades y <i>spins</i> de partículas.</p>
	<p>Las partículas, al colisionar, producen y mantienen un orden. Esto ocurre porque existe un <i>software</i> implícito en la materia.</p>
	<p>Las partículas abandonan el volumen y sus propiedades pueden ser medidas y traducidas. Lentamente, a medida que su energía se degrada, el sistema se "desinfla".</p>

Un ejemplo más sencillo, utilizando una rueda, sería el siguiente:



Una síntesis de la evolución cosmológica se presenta en la tabla en la siguiente página, teniendo en cuenta que en cada etapa de evolución de la

materia emergen las leyes correspondientes, o sea, el *software* de estas microcomputadoras y los datos o *input* para que funcionen.

Tiempo	Suceso
Pre big-bang	El tiempo y el espacio ordinarios se desarrollan de un estado primordial descrito por las teorías cuánticas de la gravedad.
10^{-43} seg	Tiempo de Planck. La unidad más pequeña de tiempo. El espacio y el tiempo toman forma.
10^{-35} seg	La inflación cósmica crea un espacio parejo lleno de grumos de <i>quarks</i> .
10^{-30} seg	Se sintetiza un tipo potencial de materia oscura (axiones).
10^{-11} seg	La materia prevalece sobre la antimateria.
10^{-10} seg	Se sintetiza un segundo tipo potencial de materia oscura (neutralitos).
10^{-5} seg	A partir de los <i>quarks</i> se forman protones y neutrones.
0,01 – 300 seg	A partir de protones y neutrones se forman los núcleos del helio, el litio y el hidrógeno pesado.
380 mil años	A partir de los núcleos y los electrones se forman los átomos, dejando como huella la radiación cósmica de fondo.
380 mil – 300 millones de años	La gravedad continúa ampliando las diferencias de densidad en el gas que llena el espacio.
300 millones de años	Se forman las primeras galaxias y las primeras estrellas.
1 000 millones de años	Límite de las actuales observaciones (el mayor corrimiento al rojo de los objetos).
3 000 millones de años	Se forman grupos de galaxias, la formación de las estrellas alcanza su cumbre.
9 000 millones de años	Formación de sistemas solares.
10 000 millones de años	La energía oscura toma el mando y la expansión del universo se acelera
13,7 mil millones de años	. Época actual

Actualmente (según la mayoría de los científicos), el universo está constituido por radiación, materia ordinaria luminosa (visible), materia ordinaria

no visible, materia exótica oscura (formada por partículas exóticas) y energía oscura, la cual los físicos no saben con certeza qué es, aunque tienen evidencia de que una de sus funciones es manejar la expansión del universo. La proporción de cada constituyente del universo se muestra en la siguiente figura:

Figura 1.1: Constituyentes del universo



Las leyes de la Termodinámica tienen un papel fundamental en la evolución cósmica, pues son las que propician el "ambiente" necesario para que el universo compute obteniendo cada vez *outputs* (resultados) más complejos. Específicamente, la segunda ley está íntimamente relacionada con la información y no es, como hemos considerado, una ley únicamente destructiva. Los seres humanos, como observadores, perdemos (momentáneamente) parte de la información de los sistemas, tanto mientras funcionan como cuando terminan su vida útil. La segunda ley nos parece también destructiva porque limita la duración de los sistemas. Esto es necesario porque así se recupera toda la información retenida por estos durante su tiempo de funcionamiento. Si analizamos desde la perspectiva de la *Teoría de la Información Cuántica* podemos darnos cuenta de que la información no se pierde, se almacena en el espacio en los campos correspondientes a su "densidad" y/o complejidad. La entropía, que hemos considerado como la información que se esconde, lo hace únicamente para el observador. ¿Cómo recuperar esta información? Lo veremos al tratar la evolución humana.

La temperatura, objeto de estudio de la Termodinámica, tiene una gran importancia en la evolución de la materia, pues está íntimamente vinculada con la complejidad en una relación inversamente proporcional. Y al estar relacionada con la complejidad lo está con la información. El universo co-

mo sistema y los sistemas que lo conforman contienen información en relación inversa a su temperatura. Los enlaces (información) entre los elementos de los sistemas son más débiles a medida que los sistemas son más complejos, lo que permite mayores grados de libertad. Por lo tanto, podemos decir que las leyes de la Termodinámica han propiciado el ambiente necesario para la evolución cósmica.

En la siguiente tabla se indican las temperaturas (T, en grados Kelvin) del universo con relación a sus etapas temporales (t, en segundos):

t=10-43, T=1032	Era de Planck
t=10-35, T=1028	Época inflacionaria
t=10-11, T=1015	Masa de bosones
t=10-6, T=1,5x1012	Surge fuerza nuclear fuerte. Época de los hadrones
t=10-3, T=5x1011	Surgen fotones, muones, electrones, positrones, neutrinos, protones y neutrones.
t=4, T<109	Aniquilación electrones-positrones. Electrones remanentes.
t=100-180, T=109	Unión de protones y neutrones para formar núcleos atómicos.
t=1012-13, T=104-3	Formación de átomos a partir de núcleos y electrones. Átomos de hidrógeno

La temperatura también norma el surgimiento de los enlaces o fuerzas de unión (información) de sistemas a varias temperaturas (Kondepudi y Prigogine, 1998).

- Rangos de temperatura entre 10^{32} y 10^{10} .K.
 Esta es la temperatura durante los primeros minutos después del *Big Bang*. A esta temperatura el movimiento térmico de los protones y neutrones es tan violento que incluso la fuerza nuclear fuerte no puede sostenerlos unidos. Pares electrón—positrón aparecen y desaparecen espontáneamente y están en equilibrio térmico con la radiación. El

umbral para la producción de los pares electrón—positrón es alrededor de 6×10^9 °K.

- Rangos de temperatura entre 10^9 y 10^7 °K.
Cerca de los 10^9 °K los núcleos empiezan a formarse y ocurren las reacciones nucleares. Estas temperaturas se dan en las estrellas y las supernovas, donde se sintetizan elementos más pesados a partir del H y del He. La energía aglutinante por nucleón es del rango de $(1 - 1,5) \times 10^{-12}$ J $\sim (6,0 - 9,0) \times 10^6$ eV, que corresponde a $(6,0 - 9,0) \times 10^8$ kJ/mol.
- Rangos de temperatura entre 10^6 y 10^4 °K.
En este rango los electrones se unen al núcleo para formar átomos pero las fuerzas de unión entre los átomos no son lo suficientemente fuertes para formar moléculas estables. A una temperatura de alrededor de $1,5 \times 10^5$ °K los átomos de hidrógeno empiezan a ionizarse. La energía de ionización de 13,6 eV corresponde a 13^{10} kJ/mol. Los átomos más pesados requieren de mayor energía para completar la ionización, por ejemplo el carbono requiere una energía de 490 eV que corresponde a $47\ 187$ kJ/mol para ionizarse completamente. Los átomos de carbono se disocian completamente en electrones y núcleo a una temperatura aproximada de 5×10^6 °K. En este rango de temperatura la materia existe como electrones libres y núcleo, un estado de la materia llamado *plasma*.
- Rangos de temperatura entre 10^4 y 10 °K. Las reacciones químicas tienen lugar en este rango. Las energías químicas de unión son del orden de 100 kJ/mol. La energía de pegamento C – H es alrededor de 412 kJ/mol. A temperaturas cercanas a 5×10^4 °K las uniones químicas empiezan a romperse. Las fuerzas intermoleculares tales como el pegamento de hidrógeno son del orden de 10 kJ/mol.

Considerando que las fuerzas de unión son transportadoras de información básica (I_b) podemos estipular:

La cantidad de información de las uniones entre sistemas es inversamente proporcional a la temperatura a la que se forman. Por tanto, el tipo

de enlace determina la complejidad del sistema, pues le proporciona a éste la información complementaria para que emerjan sus nuevas propiedades.

Esto asegura más grados de libertad a medida que los sistemas son más complejos.

Dado que en el inicio del universo la mayor parte de la información quedó como simples *bits*, paralelamente se inició una evolución de la energía oscura que los contiene. De manera similar a la evolución de la materia, la energía oscura trabaja como una gran computadora a la cual le entran como *input* los datos obtenidos de los *outputs* de los sistemas materiales. En esta etapa, los resultados de la computación de la energía oscura son nuevas leyes de la Física y la Química, que rigen los sistemas materiales que surgen en cada paso de la evolución cosmológica.

Evolución química

Alrededor de 8 500 millones de años después del *Big Bang* las estrellas más masivas y de más corta vida útil empezaron a colapsarse, produciendo en el proceso elementos más pesados que el hidrógeno y el helio que fueron expulsados al espacio como nubes de gas y, en algunos casos, dependiendo de varios factores, formando discos protoplanetarios alrededor de estrellas de "segunda generación". Dicho de otra forma, en la evolución cósmica se produce una bifurcación que conduce a la evolución química tanto orgánica como inorgánica y continúa la evolución cosmológica produciendo la variedad de cuerpos estelares conocidos, desde todo tipo de estrellas y agujeros negros hasta nebulosas, planetas, asteroides, cometas, etc. Se pueden considerar las siguientes etapas en la evolución química a partir de los átomos de hidrógeno (H):

1. En las estrellas tienen lugar reacciones nucleares, cuyo resultado es que los núcleos de los átomos de hidrógeno se combinan con los de deuterio para formar núcleos de helio. Esta reacción libera grandes cantidades de energía. Dependiendo de la temperatura y masa de la estrella, se producen átomos de litio y otros metales ligeros y se inicia la contracción de la estrella.

2. Al finalizar la liberación de energía la contracción continúa y la temperatura de la estrella vuelve a aumentar. En un momento dado empieza una reacción entre el hidrógeno, el litio y otros metales ligeros presentes en el cuerpo de la estrella produciendo los primeros elementos no metálicos como carbono (C), oxígeno (O) y nitrógeno (N). De nuevo se libera energía y la contracción se detiene.
3. Cuando el litio y otros materiales ligeros se consumen, la contracción se reanuda y la estrella entra en la etapa final del desarrollo en la cual el hidrógeno se transforma en helio a temperaturas muy altas gracias a la acción catalítica del carbono y el nitrógeno. Esta reacción termonuclear es característica de la secuencia principal de estrellas y continúa hasta que se consume todo el hidrógeno existente.
4. La estrella se convierte en una gigante roja y alcanza su mayor tamaño cuando todo su hidrógeno central se ha convertido en helio. Si sigue brillando, la temperatura del núcleo debe subir lo suficiente como para producir la fusión de los núcleos de helio. Durante este proceso es probable que la estrella se haga mucho más pequeña y más densa.
5. Cuando ha gastado todas las posibles fuentes de energía nuclear, se contrae de nuevo y, dependiendo de su masa, se convierte en una estrella más pequeña, una enana blanca, una estrella de neutrones o incluso un agujero negro. Esta etapa final puede estar marcada por explosiones conocidas como *novas* o *supernovas*, que se dan cuando la estrella se libera de su cubierta exterior y devuelve al medio interestelar elementos, más pesados que el hidrógeno, que ha sintetizado en su interior.
6. Las generaciones de estrellas formadas a partir de este material comenzarán su vida con un surtido más rico de elementos pesados que la anterior generación. Las estrellas que se despojan de sus capas exteriores de una forma no explosiva se convierten en nebulosas planetarias, estrellas viejas rodeadas por esferas de gas que irradian en una gama múltiple de longitudes de onda.

Cuando el carbono surge en otra bifurcación de la evolución cosmológica, emergen también las leyes de la química orgánica. De acuerdo con el investigador John Oró (2002b), la formación del carbono se da en el interior de estrellas a 100 millones de grados Celsius en una reacción de muy baja probabilidad donde tres núcleos de He colisionan y se condensan dando lugar a un núcleo de ^{12}C . Existen estrellas que son ricas fuentes de compuestos de carbono y moléculas orgánicas.

Los núcleos del N se generan catalíticamente en las estrellas, aunque por un proceso diferente: el ciclo C (carbono) O (oxígeno) N (nitrógeno). La formación de otro elemento biogénico, el P (fósforo), requiere de muchas reacciones nucleares complejas, lo que explica su poca abundancia en el cosmos.

Las estrellas en las que se produce carbono son también generadoras de compuestos y moléculas orgánicas. Los elementos biogénicos que se forman en la parte central de estas estrellas migran hacia las regiones exteriores más frías. Allí, las reacciones químicas más comunes dan lugar a las combinaciones más elementales de dos y tres átomos, produciendo compuestos que pueden ser observados en las atmósferas estelares. Entre las especies de moléculas de la secuencia principal presentes en las atmósferas de las estrellas más comúnmente detectadas están: C_2 , CN, CO, CH, NH, OH, y una de gran importancia: H_2O . Se han descubierto recientemente más moléculas en nubes de polvo interestelar, entre ellas las moléculas propenal de ocho átomos (C_3OH_4) y la molécula propenal de 10 átomos (C_3OH_6), probables marcas de la evolución química en el espacio (Blue, 2004).

Más de un centenar de especies químicas han sido identificadas en el medio interestelar por sus distintivos espectros moleculares de su fase gaseosa (Oró y Cosmovici, 1997; Oró, 2002a). Todas estas moléculas, iones y radicales son relativamente simples, estando la mayor parte constituidas por unos pocos átomos. Cerca del 75% de las especies ahora conocidas son orgánicas, las cuales contienen átomos de carbono o carbono ligado a hidrógeno. Los elementos biogénicos son los elementos reactivos más abundantes en el universo; más aún, la mayoría de las moléculas inter-estelares conocidas contienen carbono. Por lo tanto, afirma Oró, podemos razonablemente decir que, en esencia, el universo es orgánico, plenamente preparado para que la vida emerja donde y cuando las condiciones lo permitan.

Los procesos de evolución de la materia son parcialmente conocidos por la ciencia (Física Cuántica, Cosmología, Termodinámica, Química Inorgánica, etc.), y lo son también las leyes que los rigen. Sin embargo, creemos que falta mucho conocimiento y sobre todo falta comprobar las

nuevas teorías para aceptar un modelo de evolución cósmica como el aquí propuesto. Encontrar todas las leyes fundamentales así como las leyes emergentes, más complejas, debe ser el principal objetivo de la ciencia.

