

La Tierra informe.

Este artículo pretende contestar lo más satisfactoriamente posible la siguiente pregunta, basada en el libro del Génesis: ¿Cómo era y cómo surgió la Tierra prebiótica más primitiva?

Según el Génesis: "En el principio Dios creó los cielos y la tierra. Ahora bien, **resultaba que la tierra se hallaba sin forma y desierta y había oscuridad sobre la superficie de la profundidad acuosa**; y la fuerza activa de Dios se movía de un lado a otro sobre la superficie de las aguas" (capítulo 1, versículos 1 y 2). Esta situación, referida a nuestro planeta y desde el punto de vista del relato sagrado que estamos considerando, corresponde a un tiempo anterior al surgimiento de cualquier forma de vida.

Si leemos detenidamente el capítulo 1 del Génesis, veremos que los primeros seres vivientes terrestres que se mencionan pertenecen al reino vegetal, y no se habla de ellos hasta bien entrado ya el Tercer Día Creativo.

Por tanto, se supone que los dos primeros Días Creativos, cuya duración ignoramos pero que sospechamos debieron haberse extendido al menos por muchos miles de años, entraban dentro de lo que pudiéramos denominar LA TIERRA PREBIÓTICA, es decir, la etapa de la historia natural de nuestro planeta anterior al apareamiento de la vida en él.

Pues bien, todavía más remoto en el pasado que el Primer Día Creativo debió ser el periodo mencionado en el Génesis con las siguientes palabras: "**La tierra se hallaba sin forma (es decir, informe) y desierta y había oscuridad sobre la superficie de la profundidad acuosa**".



La Tierra informe.

En el artículo G005 (La creación del universo) se explica lo siguiente: «Cuando Moisés escribió las primeras palabras del Génesis no hay evidencia alguna de que él supiera más de astronomía de lo que era común en su época, es decir, lo que la gente entendía que son la "tierra" (en minúsculas) o suelo plano que pisan los pies del hombre y los "cielos" o todo aquello que podía verse sobre el aire y hacia arriba (respecto a la tierra firme). Tampoco los devotos antepasados de Moisés, de quienes quizá él recibió una porción más o menos grande del atesorado relato ancestral del Génesis, debieron poseer lógicamente mejores y más adelantadas nociones del cosmos, a juzgar por el legado intelectual que transmitieron y por los hallazgos arqueológicos antiguos que se han descubierto. Así, pues, lo que Moisés declaró en las primeras palabras del Génesis fue, a todas luces, que la tierra que pisan nuestros pies y los cielos que ven nuestros ojos tuvieron un comienzo o principio en la corriente del tiempo, o sea, que son elementos creados y no han existido siempre».

En consecuencia, cuando Moisés escribió que "**la tierra se hallaba sin forma y desierta y había oscuridad sobre la superficie de la profundidad acuosa**" (Génesis, capítulo 1, versículo 2, primera parte), dicha "tierra" debe ser, según el artículo G005 supracitado: «El "suelo" que pisan nuestros pies, y también el que pisó Moisés y sus ancestros, [...] una fina capa que recubre a la denominada "corteza" terrestre. Su espesor es mínimo en comparación con el de la "corteza", pero a él está ligada la vida en general y la existencia del hombre en particular».

Así, pues, el que el "suelo" terrestre estuviera "sin forma" (informe) da a entender que carecía de los elementos que habitualmente componen un paisaje: montañas, valles, ríos, lagos, playas, bosques, vegetación, poblados, manadas de animales, bandadas de aves, etc. Nada de esto existía, o sea, ninguna cosa que un pintor paisajista pudiera dibujar en un cuadro. Tal vez por ello, el versículo sigue diciendo que "la tierra (el suelo)" estaba "desierta"; pues, como sabemos, un "desierto" constituye un paisaje muy pobre, especialmente si lo único que hay es arena y nada más.

El versículo también dice que "había oscuridad sobre la superficie de la profundidad acuosa". Por lo tanto, cabe preguntarse: ¿Qué "profundidad acuosa" era ésa, y qué "oscuridad" es la que menciona el texto?

El vocablo hebreo para "profundidad acuosa" es "thehóhm", que también puede significar "aguas agitadas" u "océano primitivo". En griego el término es "abýssou", que se traduce "abismo"; y en latín, que en este caso es tributario del griego, es "abýssi". Éstos son, por orden decreciente de antigüedad, los idiomas en los que nos ha llegado el Génesis.

Para tratar de averiguar algo más respecto a ello, nos vemos obligados a buscar información en las fuentes geológicas que explican la cosmogonía terrestre, pero con la precaución de no dar pábulo a teorías arbitrarias y dogmáticas que colisionan contra el registro sagrado.

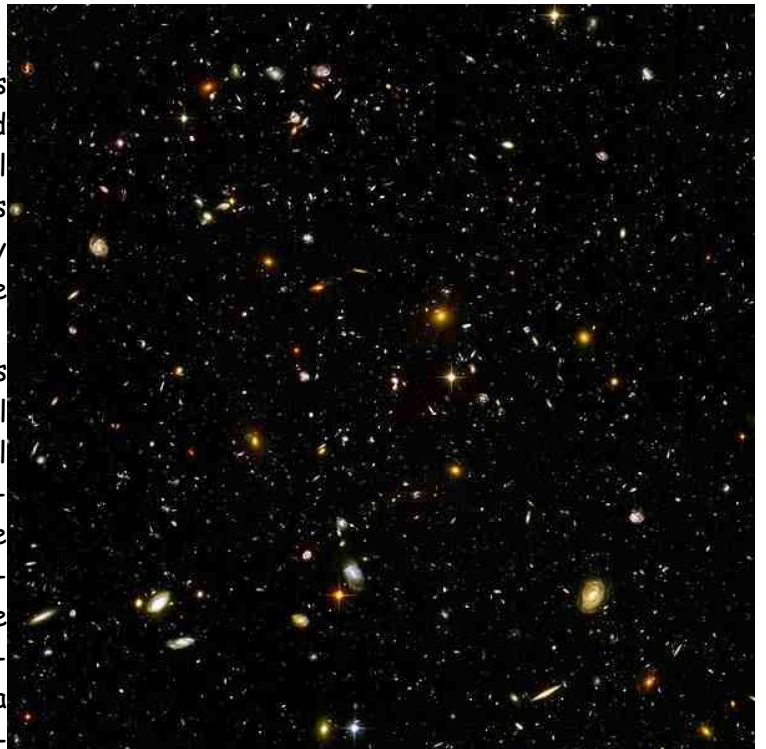
El universo material.

Con auxilio de la Wikipedia, podemos decir que el Universo Material es la totalidad del espacio y del tiempo que pertenecen al dominio de la materia, así como todas las formas de materia, energías e impulsos, y también las leyes y las constantes físicas que las gobiernan.

Las observaciones astronómicas más recientes indican que el Universo Material tiene una edad de aproximadamente 14 mil millones de años, y por lo menos 93 mil millones de años luz de extensión. El evento que se cree que dio inicio a dicho universo se denomina Big Bang (Gran Explosión): un instante en el que toda la materia y la energía del universo observable pasó de estar concentrada en un punto cuasi adimensional (o singularidad cósmica de densidad infinita) a expandirse inflacionariamente creando el espacio y el tiempo del susodicho universo.

Después del Big Bang, el Universo Material comenzó a expandirse para llegar a su condición actual, y, al parecer, lo continúa haciendo. Los últimos datos astronómicos han demostrado que esta expansión se está acelerando, y que la mayor parte de la materia y la energía de dicho universo es fundamentalmente diferente de la observada en la Tierra, y además no es directamente observable. Por este motivo, se les denomina "materia oscura" y "energía oscura". Por otra parte, la imprecisión de las observaciones actuales ha limitado las predicciones científicas sobre el destino final del susodicho universo.

Los experimentos sugieren que el Universo Material se ha regido por las mismas leyes físicas, constantes a lo largo de su extensión e historia. La fuerza dominante en las grandes distancias cósmicas es la Gravedad, y la Relatividad General es actualmente la teoría más exacta en describirla. Las otras tres fuerzas fundamentales (nucleares débil y fuerte, y electromagnetismo), y las par-



tículas en las que actúan, son descritas por el Modelo Estándar. Este universo tiene por lo menos tres dimensiones del espacio y una del tiempo, aunque experimentalmente no se pueden descartar dimensiones adicionales muy pequeñas. El espacio tiene una curvatura media diminuta, de manera que la geometría euclidiana es, como norma general, exacta en todo el susodicho universo.

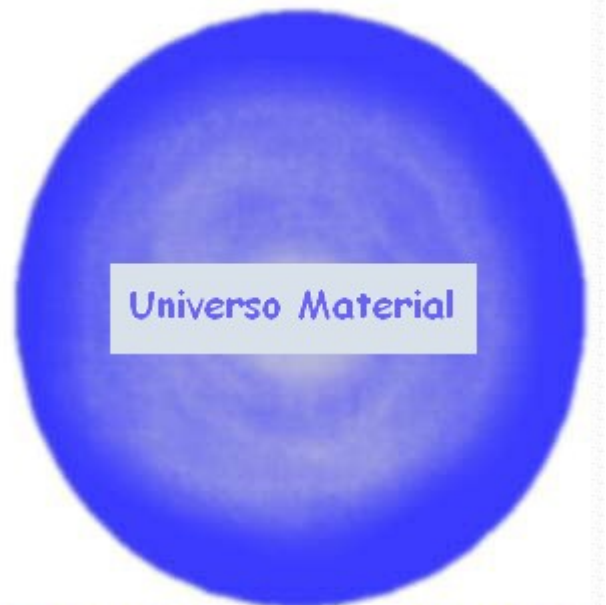
Durante la era más temprana del Big Bang, se cree que el Universo Material era un caliente y denso plasma. Según avanzó la expansión, la temperatura cayó a ritmo constante hasta el punto en que los átomos se pudieron formar. En aquella época, la energía de fondo se desacopló de la materia y fue libre de viajar a través del espacio. La energía sobrante continuó enfriándose al expandirse el mencionado universo y hoy forma el fondo cósmico de microondas. Esta radiación de fondo es remarcablemente uniforme en todas direcciones, circunstancia que los cosmólogos han intentado explicar como reflejo de un periodo temprano de inflación cósmica después del Big Bang.

Hasta hace poco, la primera centésima de segundo tras el inicio del Big Bang era más bien un misterio, impidiendo a los científicos describir exactamente cómo era el Universo Material más primitivo. Los nuevos experimentos en el RHIC, en el Brookhaven National Laboratory, han proporcionado a los físicos una luz en esa cortina de alta energía, de tal manera que pueden observar directamente los tipos de comportamiento que pueden haber tenido lugar en ese instante. En estas energías, los Quarks que componen los protones y los neutrones no estaban juntos, y una mezcla muy densa supercaliente de Quarks y Gluones, con algunos Electrones, era todo lo que podía existir en los microsegundos anteriores a que se enfriaran lo suficiente para formar el tipo de partículas de materia que observamos hoy en día.

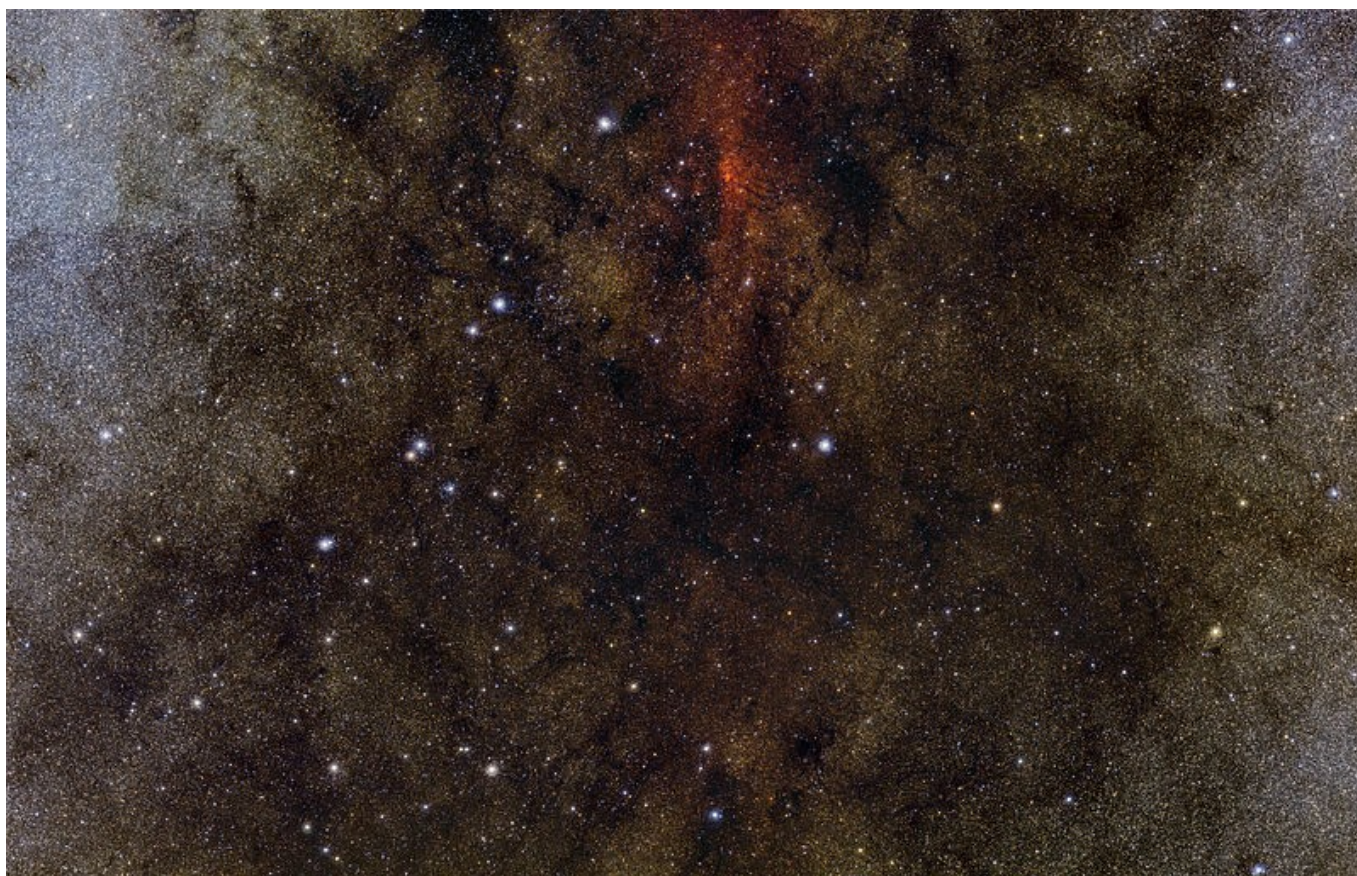
Los rápidos avances acerca de lo que pasó después aportan mucha información sobre la formación de las galaxias. Se cree que las primeras galaxias (protogalaxias primitivas) eran débiles "galaxias enanas", que emitían tanta radiación que separarían a los átomos gaseosos de sus electrones. Este gas, a su vez, se estaba calentando y expandiendo, y tenía la posibilidad de obtener la masa necesaria para formar las grandes galaxias que conocemos hoy. Dichas galaxias primigenias (protogalaxias primigenias o primitivas) iniciarían su formación unos mil millones de años después del Big Bang, o hace aproximadamente $13 \cdot 10^9$ años.

La cronología cosmogónica, según los datos científicos disponibles actualmente, quedaría esquematizada así, a grandes rasgos:

- Hace aproximadamente $14 \cdot 10^9$ años dio comienzo el Big Bang.
- Hace aproximadamente $13 \cdot 10^9$ años dio comienzo la formación de protogalaxias primitivas .
- Hace aproximadamente $5 \cdot 10^9$ años dio comienzo la formación del Sistema Solar, al presente formado básicamente por el Sol y sus planetas, entre los que se encuentra la Tierra.
- Hace aproximadamente $4'5 \cdot 10^9$ años dio comienzo la formación del planeta Tierra.
- Hace aproximadamente $2 \cdot 10^9$ años dio comienzo la formación del océano primitivo, que aparentemente coincide con lo que el Génesis llama "la profundidad acuosa".



Regido por las 4 fuerzas fundamentales: Electromagnetismo, Fuerza nuclear débil, Fuerza nuclear fuerte y Gravedad. Sujeto al Principio de Causalidad. Continente de redes energéticas llamadas "Materia". Surgido hace aproximadamente $14 \cdot 10^9$ años, a partir de un supuesto Big Bang.



El Universo observable (o visible), que consiste en toda la materia y energía que podía haber-nos afectado desde el Big Bang, dada la limitación de la velocidad de la luz, es ciertamente finito. La distancia (más exactamente, "distancia comóvil"; véase el artículo G007, "Antes del principio", página 3) al extremo del Universo visible ronda los 46 500 millones de años luz en todas las direcciones desde la Tierra. Así, el Universo visible se puede considerar como una esfera perfecta con la Tierra en el centro, y un diámetro de unos 93 000 millones de años luz.

En nuestro Universo las distancias que separan los astros son tan grandes que, si las quisiéramos expresar en metros, tendríamos que utilizar cifras extremadamente grandes. Debido a ello, se utiliza como unidad de longitud el año luz, que corresponde a la distancia que recorre la luz en un año en el vacío (unos 300 000 kilómetros por segundo).

Actualmente, el modelo de Universo Material más comúnmente aceptado es el propuesto por Albert Einstein en su teoría de la Relatividad General, en la que ofrece un universo "finito pero ilimitado", es decir, que, a pesar de tener un volumen medible, no tiene límites; de forma análoga a la superficie de una esfera, que es medible pero ilimitada (sin límites definibles). En otras palabras, el Universo Material no tiene cotas espaciales, de acuerdo al modelo estándar del Big Bang, pero sin embargo debe ser espacialmente finito (compacto). Esto se puede comprender utilizando una analogía en dos dimensiones, como hemos dicho: la superficie de una esfera que no tiene límite, pero tampoco tiene un área infinita. Es una superficie de dos dimensiones, con curvatura constante en una tercera dimensión.

El Universo observable actual parece contener una densidad masa-energía equivalente a $9,9 \times 10^{-30}$ gramos por centímetro cúbico. Los constituyentes primarios parecen consistir en un 73% de energía oscura, 23% de materia oscura fría y un 4% de átomos. Así, la densidad de los átomos equivaldría a un núcleo de hidrógeno sencillo por cada cuatro metros cúbicos de volumen. La naturaleza exacta de la energía oscura y la materia oscura fría sigue siendo un misterio. Actualmente se especula con que el Neutrino (una partícula muy abundante en nuestro universo), tenga, aunque mínima, una masa. De comprobarse este hecho, podría significar que la energía y la materia oscuras no existen (esto es, corresponderían a la multitud de neutrinos).

Durante las primeras fases del Big Bang, se cree que se formaron las mismas cantidades de materia y antimateria. Materia y antimateria deberían eliminarse mutuamente al entrar en contacto, por lo que la actual existencia de materia (y la ausencia de antimateria), en nuestro universo, supone una violación de la simetría CP (véase Nota abajo), por lo que puede ser que las partículas y las antipartículas no tengan propiedades exactamente iguales o simétricas, o puede que simplemente las leyes físicas que rigen nuestro universo favorezcan la supervivencia de la materia frente a la antimateria. En este mismo sentido, también se ha sugerido que quizás la materia oscura sea la causante de la bariogénesis (véase la misma Nota, abajo) al interactuar de distinta forma con la materia que con la antimateria.

NOTA:

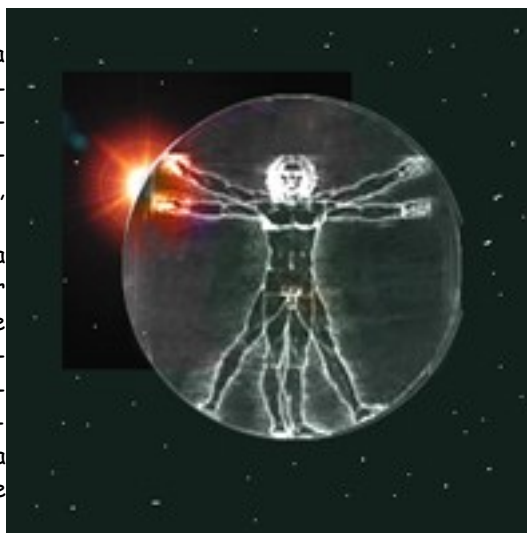
En física de partículas, la violación CP es una violación de la simetría CP, que representa un papel importante en cosmología. Esta violación puede explicar, por ejemplo, por qué existe más materia que antimateria en nuestro Universo. La violación CP fue descubierta en 1964 por James Cronin y Val Fitch, quienes recibieron el Premio Nobel por este descubrimiento en 1980.

La simetría CP se basa en la composición de la simetría C (de carga) y la simetría P (de paridad). La primera afirma que las leyes de la física serían las mismas si se pudiesen intercambiar las partículas con carga positiva con las de carga negativa. La simetría P dice que las leyes de la física permanecerían inalteradas bajo inversiones especulares, es decir, el universo se comportaría igual que su imagen en un espejo. La simetría CP es una suma de ambas. La interacción fuerte, la gravedad y el electromagnetismo tienen simetría CP, pero no así la interacción débil, lo cual se manifiesta en ciertas desintegraciones radiactivas.

En cosmología física, la "bariogénesis" es el término genérico utilizado para referirse a los hipotéticos procesos físicos que produjeron una asimetría entre bariones (éstos son básicamente los neutrones y los protones, aunque también otras partículas inestables o de vida muy corta, pero todas ellas constituyen la materia de nuestro universo o materia bariónica, la cual puede dar átomos de todo tipo, y, por tanto, cualquier tipo de materia. Su contraria es la materia no bariónica, que puede estar formada por neutrinos o electrones libres, o incluso por especies extrañas de materia oscura no bariónica, tales como partículas supersimétricas, axiones o agujeros negros) y anti-bariones durante los primeros instantes de la creación del universo material, resultando en cantidades elevadas de materia ordinaria residual en nuestro universo hoy en día.

Es de notar que si no fuera por la disparidad observada entre bariones y anti-bariones, es cuestionable que realmente existiera materia que permitiera vida capaz de observarla. Éste es un argumento común presentado en respuesta a preguntas del tipo "¿Por qué el universo es así?", conocido como el Principio Antrópico.

El principio antrópico (de "anthropos", que significa "hombre", en griego) es un principio que se suele enunciar como sigue: "El mundo es necesariamente como es porque hay seres humanos que se preguntan por qué es así". Es decir, nuestro universo tiene que ser consistente con la existencia del ser humano. En otras palabras: "Si en el Universo Material se deben verificar ciertas condiciones para nuestra existencia, dichas condiciones se verifican ya que nosotros existimos".



La revista DESPERTAD de fecha 22-1-1996, páginas 11 a 14, editada por la Sociedad Watchtower Bible And Tract, comenta, en relación con el Principio Antrópico:

«DESPUÉS de contemplar las estrellas en una noche oscura y despejada, entramos en casa, deslumbrados y con frío, cavilando sobre esa inmensa belleza y sobre una multitud de preguntas. ¿Por qué existe el universo? ¿De dónde surgió? ¿Cuál es su destino? Muchos han tratado de responder a estas preguntas.

Tras cinco años de investigaciones cosmológicas que lo llevaron a conferencias científicas y centros de investigación por todo el mundo, Dennis Overbye, escritor de artículos científicos, aludió a una conversación que tuvo con Stephen Hawking, físico de fama mundial: "En el fondo, lo que yo quería saber era lo que siempre había deseado saber de Hawking: adónde vamos cuando morimos"...

John Boslough, otro escritor de artículos científicos, dijo que como la gente ha abandonado la religión, los cosmólogos y otros científicos se han convertido en "el sacerdocio perfecto de una era secular. Ellos, y no los líderes religiosos, revelarían gradualmente todos los secretos del universo, no a modo de

manifestación espiritual, sino en la forma de ecuaciones indescifrables para todos, menos para los escogidos". Ahora bien, ¿revelarán los cosmólogos todos los secretos del universo y responderán a todas las preguntas [fundamentales] que han inquietado a la humanidad por siglos?

¿Qué están revelando actualmente? La mayoría de ellos defienden alguna versión de la "teología" del Big Bang —que se ha convertido en la religión secular de nuestra época—, aunque no dejan de discutir sobre los detalles. "Sin embargo —comentó Boslough—, en el contexto de las nuevas y contradictorias observaciones, la teoría del Big Bang empieza a parecerse cada vez más a un modelo demasiado simplista que busca un suceso inicial. A principios de los años [1990], el modelo de Big Bang era [...] cada vez más incapaz de responder a las preguntas más fundamentales". Y añadió que "bastantes teóricos han expresado la opinión de que no resistirá hasta el fin de la década".

Tal vez algunas de las conjeturas cosmológicas actuales acabarán siendo ciertas, o tal vez no; así como tal vez estén formándose planetas en el misterioso resplandor de la nebulosa de Orión, o quizás no. Lo que no puede negarse es que nadie en la Tierra lo sabe a ciencia cierta. Hay muchas teorías, pero los que son observadores sinceros se hacen eco de la observación sagaz de Margaret Geller de que a pesar de toda la palabrería, parece que se ha olvidado algo fundamental en el concepto que la ciencia tiene hoy día del cosmos...

La mayoría de los científicos —lo que incluye a la mayoría de los cosmólogos— concuerdan con la teoría de la evolución. Les cuesta aceptar que la creación revela inteligencia y propósito, y se estremecen con la simple mención de que Dios es el Creador. Se niegan a pensar siquiera en semejante "herejía"... Su deidad creativa es la Casualidad. Pero a medida que aumenta el conocimiento, y que bajo el creciente peso de éste se derrumban la casualidad y la coincidencia, los científicos empiezan a recurrir cada vez más a palabras prohibidas como "inteligencia" y "diseño". Veamos los siguientes ejemplos:

"Resulta evidente que se ha olvidado una componente en los estudios cosmológicos. El origen del Universo, como la solución del cubo de Rubik, requiere una inteligencia", escribió Fred Hoyle en la página 189 de su libro "El Universo inteligente".

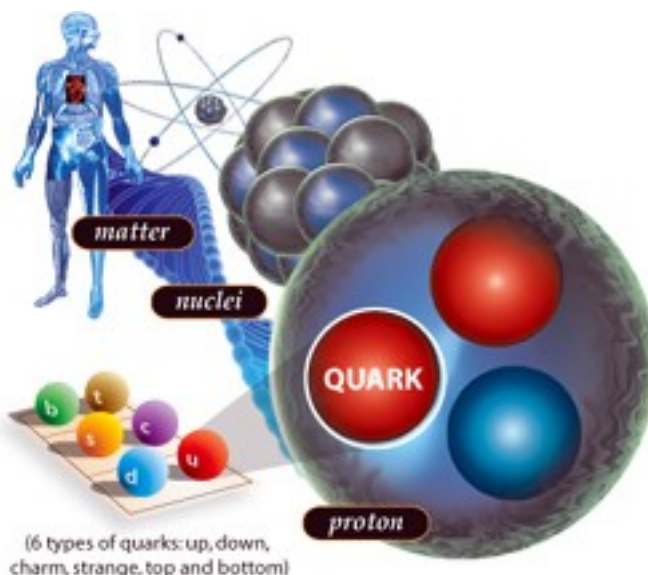
"Cuanto más examino el universo y estudio los detalles de su arquitectura, más prueba hallo de que de alguna manera el universo sabía que veníamos". (Disturbing the Universe [Perturbación del Universo], de Freeman Dyson, página 250.)

"¿Cuáles son las propiedades fundamentales necesarias para que surjan criaturas como nosotros? ¿Es una casualidad que se tengan esas propiedades o existe alguna razón más profunda? [...] ¿Existe algún plan complejo que garantice que el universo [material] está hecho a la medida de nuestras necesidades?" ("Coincidencias cósmicas" de John Gribbin y Martin Rees, páginas 14 y siguientes).

Fred Hoyle también comenta sobre estas propiedades en las páginas 219 y 220 de su libro ya citado: "Estas propiedades se van prodigando en el mundo natural como una madeja de accidentes afortunados. Existen tantas coincidencias esenciales para la vida, que debe haber alguna explicación para ellas".

"No se trata sólo de que el hombre esté adaptado al universo [material]. El universo [material] está adaptado al hombre. ¿Se imagina un universo en el que alguna de las constantes adimensionales y fundamentales de la física sufriera la más mínima alteración en una dirección u otra? El hombre jamás habría podido llegar a existir en semejante universo. Éste es el punto central del 'principio antrópico', según el cual, un factor dador de vida es el origen de todo el mecanismo y diseño del mundo". (The Anthropic Cosmological Principle [El principio antrópico cosmológico], de John Barrow y Frank Tipler, página VII).

¿Cuáles son algunas de estas constantes fundamentales de la física que son esenciales para que exista vida en el universo [material]? En un informe publicado en el periódico The Orange County Register, del 8 de enero de 1995, se incluyó una lista de algunas de estas constantes y se recalcó lo bien sintonizadas que deben estar, diciendo: "Los valores cuantitativos de muchas constantes físicas básicas que definen el universo [material] —por ejemplo, la carga de un electrón o la velocidad fija de la luz o la relación de las intensidades de las fuerzas fundamentales de la naturaleza— son extraordinariamente precisos, algunos hasta la centésimo vigésima [(ordinal del cardinal 120)] cifra decimal. El desarrollo de un universo donde se reproduce la vida es sumamente sensible a estas especificaciones. La más mínima variación —un nanosegundo aquí, un ángstrom allí—, y el universo [material] estaría muerto y yermo".



A continuación, el autor de este informe mencionó algo que normalmente no puede mencionarse: "Parece más razonable suponer que en el proceso ha influido algún factor misterioso, tal vez ha intervenido una fuerza inteligente e intencionada que ajustó el universo [material] para nuestra llegada".

George Greenstein, profesor de Astronomía y Cosmología, publicó una lista aún más larga de estas constantes físicas en su libro *The Symbiotic Universe* (El universo simbiótico). Entre ellas había algunas tan bien sintonizadas que ante el más mínimo grado de variación, no existirían ni átomos ni estrellas ni universo [material]...

Al ver lo extensa que se iba haciendo la lista, Greenstein abrumado, dijo: "¡Tantas coincidencias! Cuanto más leía más me convencía de que era muy difícil que tales 'coincidencias' se hubieran producido por casualidad. Pero al aumentar mi convencimiento, había algo más que también aumentaba. Incluso ahora me resulta difícil expresar con palabras este 'algo'. Era una intensa repulsión, a veces casi de naturaleza física. Me sentía muy incómodo [...]. ¿Es posible que, de repente y sin proponérselo, hayamos tropezado con prueba científica que apoye la existencia de un Ser Supremo? ¿Fue Dios quien intervino y quien hizo el cosmos de manera tan providencial para nuestro beneficio?".

Irritado y horrorizado por esa idea, Greenstein enseguida se retractó, recuperó su ortodoxia científicamente religiosa y declaró: "Dios no es una explicación". No lo veía lógico. Aceptar la existencia de Dios era una idea tan difícil de digerir que no pudo admitirla...

Algunas de las constantes físicas imprescindibles para la vida [son] las cargas del electrón y el protón [que] deben ser iguales y opuestas; el peso del neutrón debe ser ligeramente superior al del protón; a fin de que se produzca la fotosíntesis tiene que existir una correspondencia entre la temperatura del Sol y las propiedades de la clorofila para absorber radiaciones; si la fuerza nuclear fuerte fuese un poco más débil, el Sol no podría generar energía mediante reacciones nucleares, pero si fuese un poco más fuerte, el combustible necesario para generar energía sería violentamente inestable; sin dos resonancias notables e independientes entre núcleos en el centro de las gigantes rojas, no podría haberse formado ningún otro elemento aparte del helio; si el espacio hubiese tenido menos de tres dimensiones, las interconexiones para la circulación de la sangre y el sistema nervioso serían imposibles, y si hubiese tenido más de tres dimensiones, los planetas no podrían describir órbitas estables alrededor del Sol (*The Symbiotic Universe*, páginas 256 y 257)...

Andrómeda, como todas las galaxias espirales, gira majestuosamente en el espacio como si fuera un gigantesco huracán. Los astrónomos pueden calcular la velocidad de rotación de muchas galaxias partiendo de su espectro de luz, y cuando lo hacen descubren algo desconcertante. Las velocidades son increíbles. Todas las galaxias espirales parecen rotar demasiado deprisa. Parece como si las estrellas visibles de la galaxia estuvieran incrustadas en un halo mucho mayor de materia oscura, invisible al telescopio. "No sabemos en qué consiste la materia oscura", admite el astrónomo James Kaler. Los cosmólogos calculan que hay un 90% de masa perdida, de la que no se tiene noticia, y están buscándola desesperadamente, ya sea en la forma de neutrinos con masa propia, o de algún tipo de materia desconocida, pero superabundante».



Antes de la formación de las primeras estrellas, la composición química del Universo Material consistía primariamente en hidrógeno (75% de la masa total), con una suma menor de helio-4 (4He) (24% de la masa total) y el resto de otros elementos. Una pequeña porción de estos elementos estaba en la forma del isótopo deuterio (2H), helio-3 (3He) y litio (7Li) (Nota: los isótopos son átomos con igual cantidad de protones y electrones, pero distinto número de neutrones). La materia interestelar de las galaxias ha sido enriquecida sin cesar por elementos más pesados, generados por procesos de fusión en las estrellas, y diseminados como resultado de las explosiones de supernovas, los vientos estelares y la expulsión de la cubierta exterior de estrellas maduras.

El Big Bang dejó detrás un flujo de fondo de fotones y neutrinos. La temperatura de la radiación de fondo ha decrecido sin cesar con la expansión del Universo y ahora fundamentalmente consiste en la energía de microondas equivalente a una temperatura de 2'725 grados Kelvin. La densidad del fondo de neutrinos actual está alrededor de los 150 por centímetro cúbico.

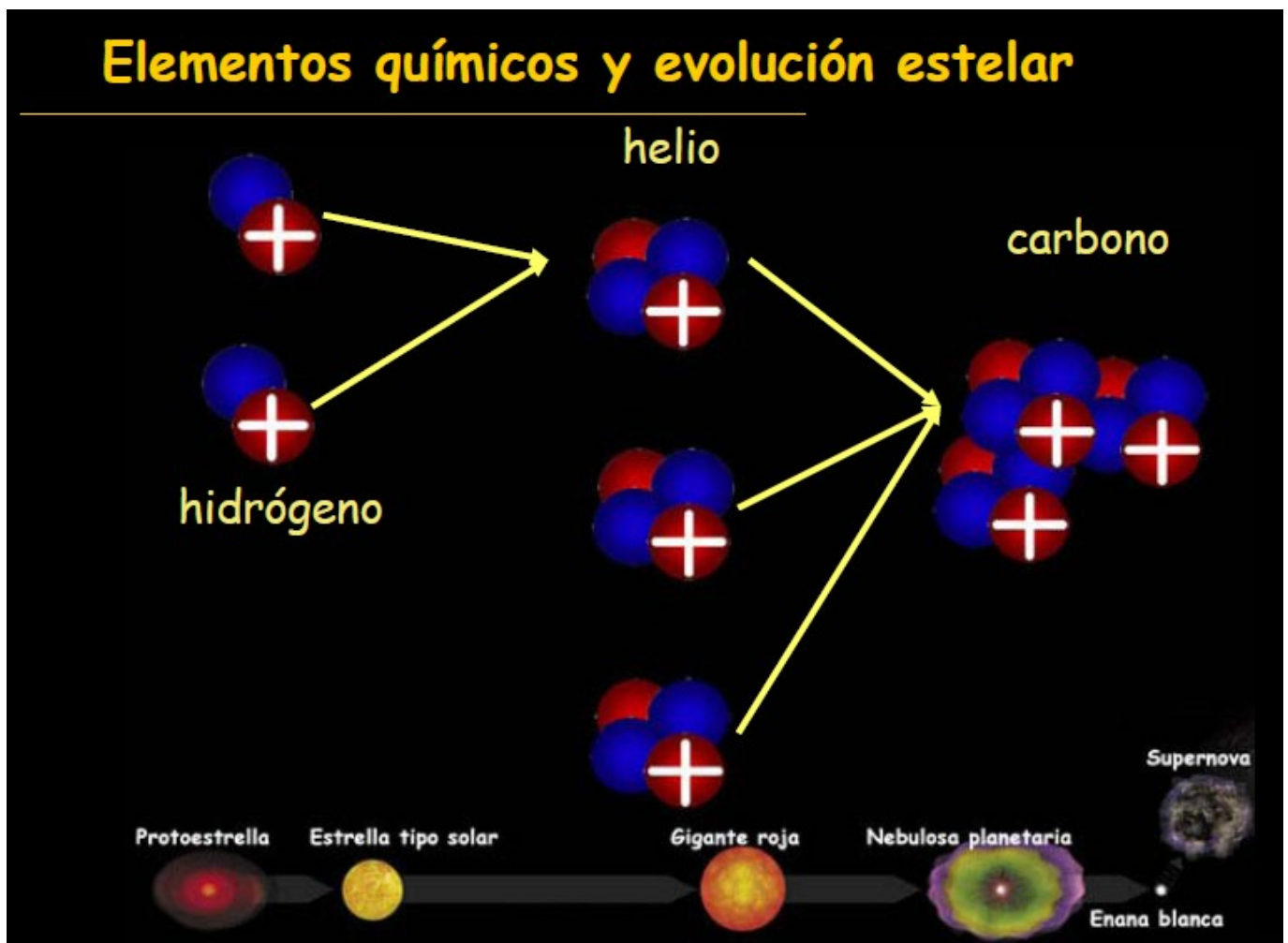
Protogalaxias primitivas.

Patrocinado por el Ministerio de Educación y Ciencia de España, El IAC (Instituto de Astrofísica de Canarias) ha desarrollado una experiencia piloto denominada "Cosmoeduca", que pretende ayudar a los profesores de la Enseñanza Secundaria Obligatoria y el Bachillerato en el desarrollo de temas que puedan tratarse haciendo uso de conceptos y contenidos del ámbito de la Astronomía, para lo cual ha contado con el trabajo en equipo de profesores y divulgadores. De los cinco temas seleccionados para el proyecto, el del "Origen y Evolución del Universo" es el que trataremos aquí en parte, puesto que se ajusta a la información que nos interesa:

«¿Cómo se originó todo lo que observamos en el cielo: los planetas, las estrellas, las galaxias? ¿Cómo se ha ido transformando el Universo [a lo largo del] tiempo? ¿Qué tenemos que ver los seres humanos con todo esto?

[En realidad, todos los elementos químicos que componen nuestro cuerpo proceden de las estrellas:] Somos polvo de estrellas... Cada uno de [los elementos químicos que nos rodean] se generó durante la vida o la muerte de [más de] una estrella. Pero ¿qué son las estrellas?

Las estrellas son grandes masas de gas a temperaturas muy altas, formadas principalmente por hidrógeno y helio. El hidrógeno y el helio de las estrellas reaccionan para formar elementos químicos más pesados que, a su vez, reaccionan entre sí y así sucesivamente. En la parte inferior de la imagen [siguiente] vemos distintas fases de la vida y muerte de una estrella:



Las estrellas no viven y mueren solas, sino que forman parte de una gran estructura llamada "galaxia". Las galaxias son conjuntos de miles de millones de estrellas que se distribuyen en formas diversas y presentan distintos colores. Son los ladrillos o piezas fundamentales que conforman el Universo [material].

Nuestra galaxia, la Vía Láctea, tiene forma de espiral. Pues bien, desde una galaxia como la

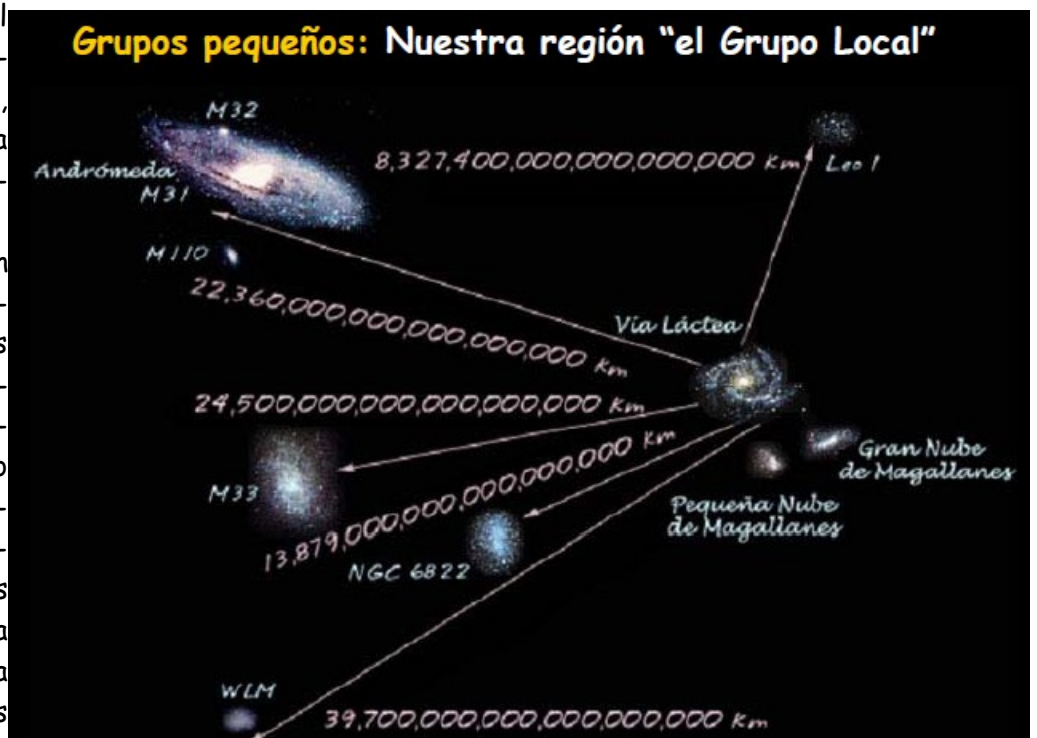
de la imagen [siguiente], estamos nosotros en un planeta alrededor de una estrella investigando el Universo:



La Tierra forma parte de un sistema planetario: el Sistema Solar. El Sistema Solar forma parte de una galaxia: la Vía Láctea. La Vía Láctea forma parte de un grupo de galaxias: el Grupo Local. El Grupo Local se mueve globalmente en el espacio. Los astrofísicos han podido medir este movimiento, en dirección a otros cúmulos de galaxias.

Vivimos en un Universo lleno de galaxias. En el Universo [material] hay cientos de miles de millones de galaxias. ¿Cómo se distribuyen? Forman grupos: los hay pequeños, de decenas de galaxias o menos (como el Grupo Local, al cual pertenecen nuestra galaxia, la Vía Láctea, la galaxia de Andrómeda y las Nubes de Magallanes).

[También forman grupos] de miles de galaxias, y a estas grandes agrupaciones se las denomina "cúmulos de galaxias". ¿Cuál es el tamaño de los cúmulos de galaxias? Los cúmulos de galaxias son tan grandes que la luz, que viaja a 300.000 km/s, tardaría varios millones de años en atravesarlos de un



extremo a otro.

¿Cómo se han formado las galaxias, los cúmulos y la materia que contienen?

Para que los astrónomos pudieran dar una respuesta a estas preguntas fue fundamental el conocimiento de un fenómeno muy importante que se observó por primera vez en la primera mitad del siglo XX: la expansión del Universo [material].

Las galaxias no están fijas en los puntos donde las observamos. Aparentemente, se mueven a grandes velocidades, a miles de kilómetros por segundo. Hubble, un astrónomo estadounidense, fue el primero en apreciar este fenómeno alrededor de los años 20 del siglo XX. Se dio cuenta de que el movimiento de las galaxias seguía ciertas reglas. Si comparamos las velocidades de galaxias lejanas con respecto a nosotros, vemos que cuanto más lejanas son mayor es la velocidad con la que parecen alejarse de nosotros.

Pero ¿por qué se alejan las galaxias de nosotros? ¿Acaso somos el centro del Universo [material]? Realmente es el espacio que nos separa el que se expande. Por ello, cualquier observador, situado en cualquier lugar del Universo [material], apreciaría que las galaxias se alejan de él de ese modo. No somos el centro del Universo [material].

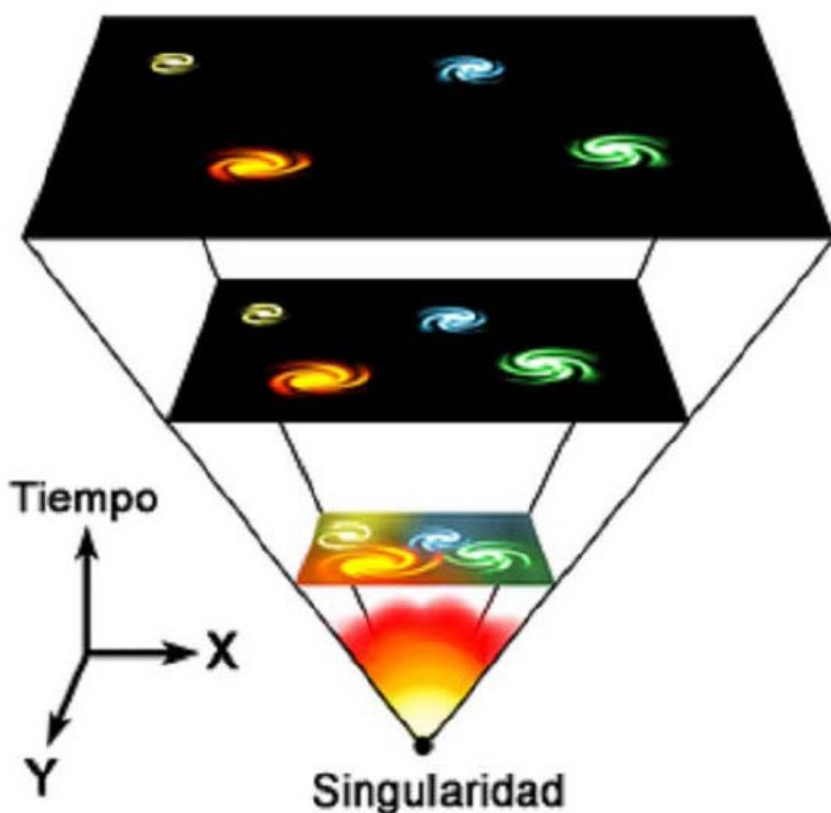
En la [figura siguiente] vemos cómo, a medida que hinchamos un globo, los puntos se van alejando unos de otros. Algo parecido es lo que suponemos que está sucediendo con las galaxias de nuestro Universo debido al Big Bang:



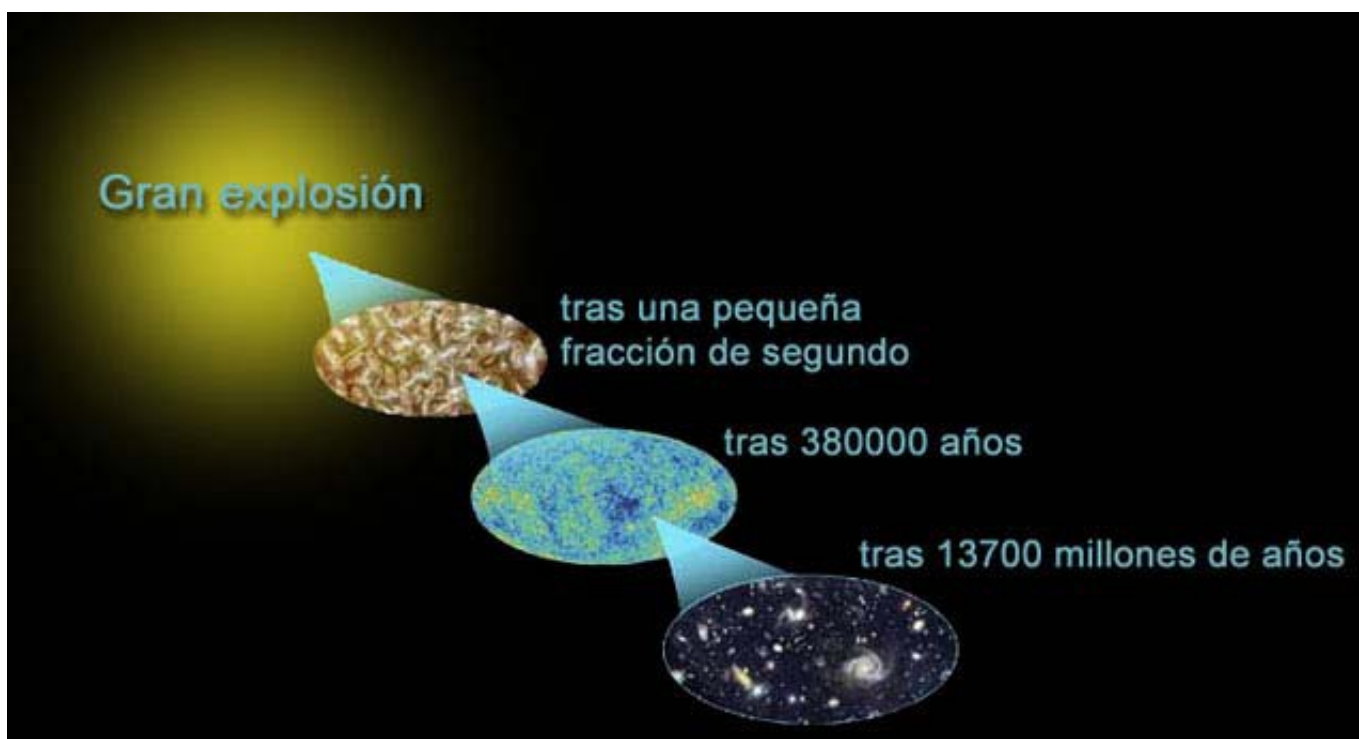
Si esta expansión ha ocurrido desde el principio, ¿estaba todo mucho más comprimido en el origen? Eso es efectivamente lo que piensan [muchos] astrofísicos. Cuando el Universo [material] se

originó, todo estaba mucho más comprimido, mucho más denso y mucho más caliente. ¿Cuánto? Tanto que el tamaño pudo ser extraordinariamente pequeño, infinitesimal. Incluso más pequeño que el núcleo de un átomo. Algo que sólo podemos concebir matemáticamente, ya que no habría nada en [nuestro] Universo actual que fuese comparable. [Este] Universo al principio tuvo que ser de una manera muy distinta a como lo vemos ahora. ¿Cómo podemos imaginarlo? Lo más parecido que podemos imaginar de aquellas condiciones es el propio interior de las estrellas como el Sol, donde la temperatura es enorme. [Es un] horno nuclear, donde la materia se transforma por reacciones de partículas más elementales aún que los protones y los neutrones. Estas partículas "elementales" son conocidas como quarks, leptones y bosones. Los quarks, junto con los electrones (leptón), los fotones (bosón) y otras partículas, como los neutrinos (leptón), formaban una mezcla con una temperatura y una densidad enormes, llamada "plasma primordial".

La evolución del Universo [material es realmente] la evolución de su materia... La materia [de] entonces no era como la materia de ahora, aunque sus componentes elementales fueran los mismos. [Nuestro] Universo se ha transformado, precisamente debido a que está en expansión, y su temperatura y densidad han ido disminuyendo progresivamente hasta alcanzar las que observamos ahora:



Origen y evolución de nuestro universo a partir de un punto infinitesimal hiperdenso e hiperenergético (singularidad) inicial.

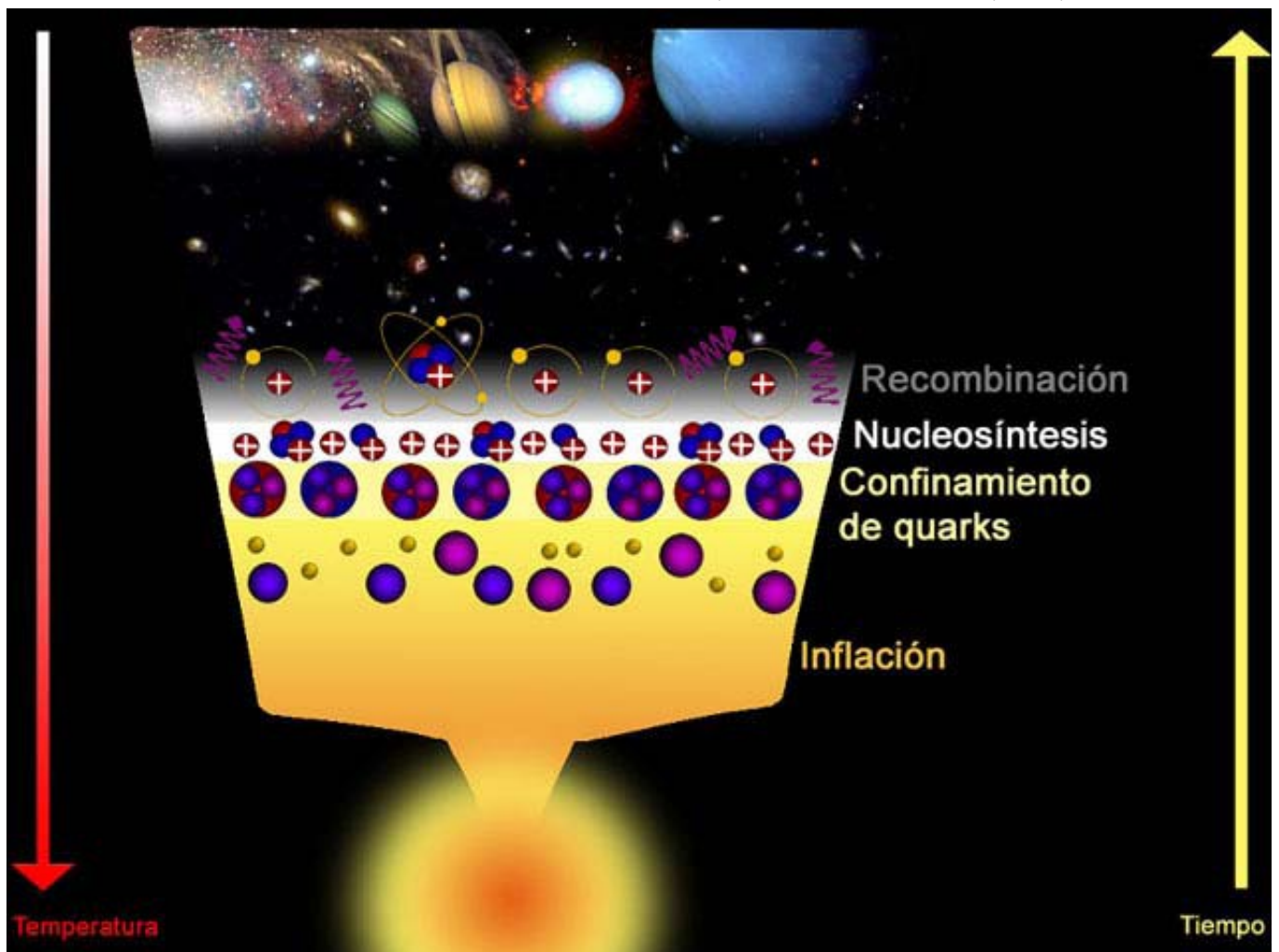


¿Cómo se denomina este modelo del origen del Universo [material que estamos considerando,

el cual es el más aceptado hoy día por la comunidad científica]? ¿Cuáles son sus características principales? [Es un] modelo matemático [que] ha trascendido a la sociedad [humana contemporánea] con un nombre muy llamativo: el Big Bang, o la Gran Explosión. Su rasgo principal es que la expansión lleva asociada un enfriamiento y una transformación de la materia. Las etapas [iniciales y sucesivas] del origen del Universo [material] según el modelo del Big Bang [son] cuatro:

1. Inflación.
2. Confinamiento de quarks.
3. Nucleosíntesis primordial.
4. Recombinación.

Etapa 1, la inflación. Inicialmente, [nuestro] Universo estuvo comprimido en un estado muy denso, que se expandió muy rápidamente. El Universo [material] amplió su tamaño miles de millones de veces en un tiempo extraordinariamente pequeño, inferior a micromillonésimas de segundo. Como cuando se intenta inflar un globo: al principio no se hincha por la resistencia que ofrece el material elástico, pero luego empieza a inflarse y lo hace muy rápidamente. En esta etapa, llamada "inflación", [nuestro] Universo debió de ser una sopa de partículas y radiación de muy alta energía. Tras esa etapa, el [susodicho] Universo siguió expandiéndose, pero ya a un ritmo más lento. A partir de entonces es cuando verdaderamente tenemos una descripción fiable de lo que pudo pasar.



Etapa 2, el confinamiento de quarks. Una cienmilésima de segundo después del instante inicial, la temperatura era lo suficientemente baja para que todos los quarks se confinaran en protones y neutrones. Los elementos de la tabla periódica se diferencian entre sí por el número de protones de su núcleo. A este número se le llama "número atómico". El número atómico representa una propiedad fundamental del átomo: su carga nuclear. El elemento más abundante del Universo, el hidrógeno, es el más simple de todos. De número atómico 1, su núcleo está compuesto de un sólo pro-

tón.

Según el modelo del Big Bang no quedaron quarks libres en [nuestro] Universo y, efectivamente, lo que observamos hoy en día es que los quarks forman siempre parte de protones y neutrones.

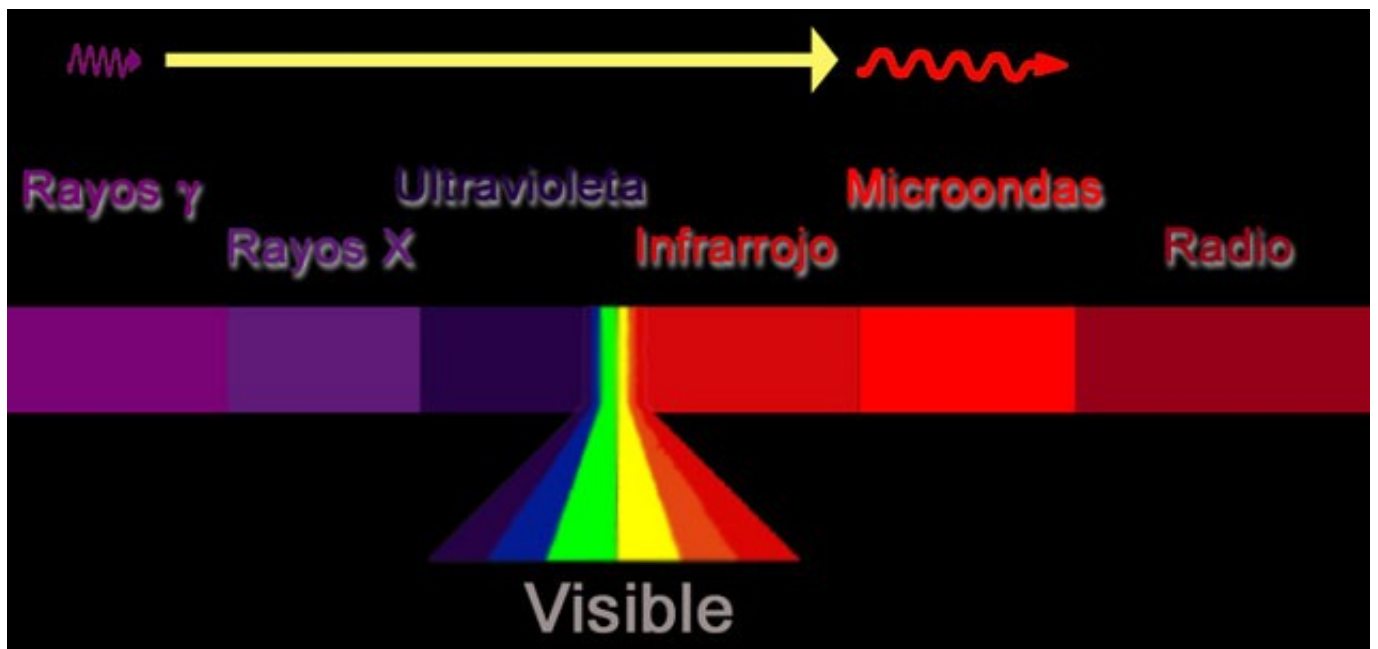
Etapa 3, la nucleosíntesis primordial. La "nucleosíntesis" es un proceso en el que los protones y neutrones reaccionan para dar lugar a núcleos de otros átomos. Pero la mayor parte de los protones quedaron libres: casi el 75% del Universo seguía siendo núcleos de Hidrógeno. El Hidrógeno tiene un solo protón en su núcleo.

¿Qué nuevos núcleos se formaron en esta etapa? Núcleos de helio: aproximadamente un 25%. El helio tiene dos protones en su núcleo. En una proporción inferior se formaron: Núcleos de deuterio (un protón con un neutrón) y núcleos de litio (con tres y cuatro protones).

El deuterio es un isótopo del hidrógeno. Si bien cada elemento químico se distingue de otro por el número de protones de su núcleo, un mismo elemento químico puede tener diferentes isótopos según el número de neutrones de su núcleo. El isótopo del hidrógeno más común en la naturaleza es el protio (un solo protón y ningún neutrón).

Etapa 4, la recombinación. Cuatrocientos mil años después [del inicio del Big Bang], los núcleos de hidrógeno capturaron electrones convirtiéndose en átomos neutros, en la etapa que se llama "recombinación". [Pues para] que un átomo sea eléctricamente neutro, el número de protones ha de ser igual al de electrones.

Los fotones [de esta etapa] ya no tienen la energía suficiente para ser absorbidos por los electrones (a su vez, los electrones ya no pueden absorber fotones que les liberen de los átomos neutros). Los fotones pueden viajar desde entonces por el Universo [material] sin ser absorbidos por la materia y [así poder] llegar hasta nosotros. El Universo [material] se ha hecho transparente, es decir, lo podemos observar.

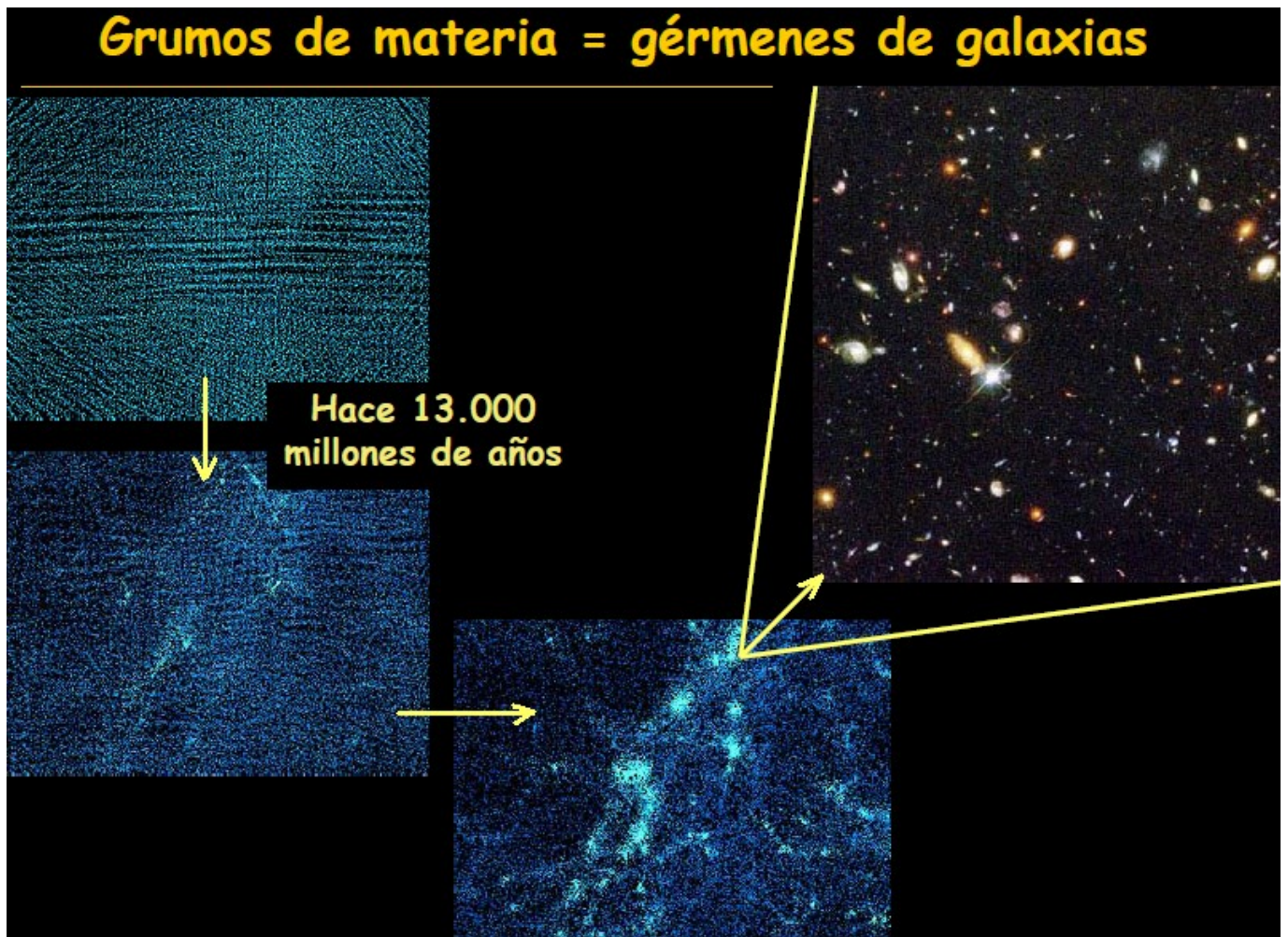


La energía de estos fotones irá disminuyendo con el transcurso del tiempo y su longitud de onda aumentando (se estima que hasta nuestros días habría aumentado en un factor cercano a mil). De esta manera, la luz queda "estirada".

Según esto, los fotones que llenarían [nuestro] Universo tendrían ahora longitudes de onda en torno al milímetro, es decir, el Universo [material] sería un inmenso horno de microondas (aunque éstas tendrían una intensidad extraordinariamente baja comparada con la de los hornos de nuestras cocinas).

Al final de la etapa de recombinación del Big Bang, la formación de los átomos hace que la radiación viaje libremente. Es decir, el Universo [material] se hace detectable. Y nosotros hemos desarrollado instrumentos para poder ver la primera radiación libre: la radiación del Fondo Cósmico de Microondas. Al observar el Fondo Cósmico de Microondas detectamos irregularidades que indican que la materia no estaba distribuida uniformemente.

Había grumos con mayor densidad de materia. Por efecto de la gravedad, la materia empieza a acumularse donde hay un poco más de materia. Las regiones con mayor densidad atraen a la materia de su alrededor. Con el paso de cientos de millones de años se van formando estructuras de materia y vacíos. La gravedad va dando forma a estas estructuras: son los gérmenes de galaxias primitivas [(protogalaxias primigenias)] detectables hoy en día:



Durante mucho tiempo, la fuerza de la gravedad hizo que nubes masivas de hidrógeno y helio colapsaran sobre sí mismas. A medida que el gas se iba concentrando, la presión en el centro aumentaba, y con la presión aumentaba también la temperatura. Cuando la presión y la temperatura fueron lo suficientemente altas comenzaron las reacciones de fusión. En ese momento, hace unos 13 000 millones de años, apenas 1 000 millones de años después del [inicio del] Big Bang, [coincidiendo con la formación o los rudimentos de las primeras galaxias (protogalaxias primitivas),] nacieron las primeras ESTRELLAS, estrellas con mayúsculas, pues se piensa que eran GIGANTES.

Se cree que las primeras estrellas fueron muy masivas, de al menos unas cien veces la masa de nuestro Sol... Desde entonces, el nacimiento y la muerte de las estrellas no han dejado de suceder. Hoy en día podemos ver cómo se forman [estrellas] en distintas nubes de gas... En ocasiones, vemos también la muerte de algunas estrellas en forma de "supernovas".

Apenas 1000 millones de años después del Big Bang, como hemos dicho, empezaron a formarse las primeras galaxias. Nuestra galaxia tiene unos 13 000 millones de años, casi tantos como el U-

niverso [material]».

El Sistema Solar.

Según la información expuesta en el proyecto Cosmoeduca: «Nuestro sistema solar [se cree que comenzó a formarse] hace [aproximadamente] unos 5 000 millones de años, a partir de una misma nube [intragaláctica (situada en el interior de la Vía Láctea)] de gas y polvo ya enriquecida con los elementos producidos en otras estrellas y supernovas que fueron expulsados al espacio [circundante]».

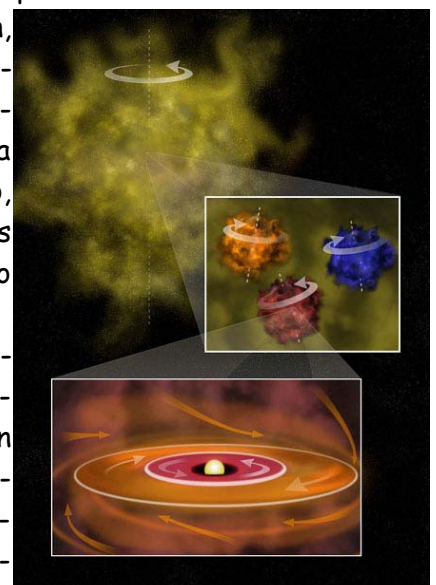
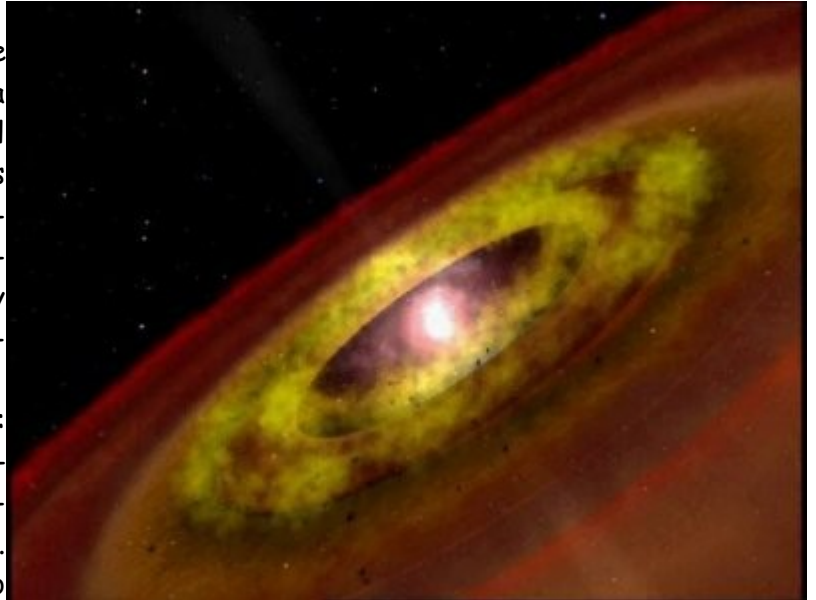
Según la Wikipedia, «[esta] nube de gas y de polvo [...] formó la estrella central y un disco circumestelar en el que, por la unión de las partículas más pequeñas, primero se habrían ido formando, poco a poco, partículas más grandes, posteriormente planetesimales, y luego protoplanetas hasta llegar a los actuales planetas».

La Wikipedia explica también: «Se denomina "disco circumestelar" a una estructura material con forma de anillo o toro situada en torno a una estrella. El disco circumestelar está constituido

por gas, polvo y objetos rocosos o de hielo, denominados "planetesimales". Los discos circumestelares pueden originarse durante la fase de formación de la estrella, a partir de la misma nube de gas y polvo de la que se forma ésta (discos protoplanetarios), y, aunque la mayor parte del material es finalmente acretado (atraído hacia sí) por la estrella, expulsado por el viento estelar o capturado en forma de planetas, una cantidad residual puede sobrevivir en forma de Cinturón de asteroides o Cinturón de Kuiper».

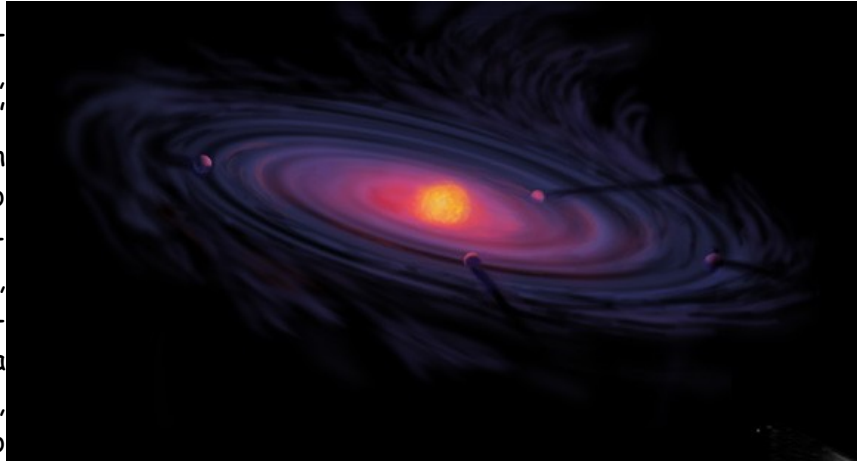
Arriba hemos citado del proyecto Cosmoeduca, diciendo que nuestro Sistema Solar comenzó a formarse hace aproximadamente unos $5 \cdot 10^9$ años, a partir de una nube intragaláctica de gas y polvo. Pues bien, Cosmoeduca añade: «Debido a la gravedad, esta nube comenzó a colapsar y a rotar cada vez más deprisa, al igual que [hace una patinadora artística o] una bailarina [de ballet,] cuando baja sus brazos. La nebulosa se aplanó en forma de disco [circumestelar], en cuyo centro, la zona más densa y caliente, se formó el Sol; mientras en las partes externas se crearon pequeños grumos de gas y polvo, que poco a poco acumularon materia suficiente hasta convertirse en planetas».

La Wikipedia informa: «Los "planetesimales" son objetos sólidos que se estima que existen en los discos protoplanetarios [o discos circumestelares]. En esa primitiva nebulosa de gases y polvo en forma de disco, las partículas sólidas más masivas actuarían como núcleo de condensación de las más pequeñas, dando lugar a objetos sólidos cada vez más grandes que, en el curso de millones de años, aca-



barían creando los planetas...

En la teoría comúnmente aceptada de la formación de los planetas, la denominada "hipótesis nebular" sostiene que los planetas se forman por la agregación de granos de polvo que chocan y se van uniendo para formar cuerpos cada vez más grandes, denominados "planetesimales". Cuando alcanzasen una medida aproximada de un kilómetro [de diámetro medio],



podrían atraerse unos a otros debido a su propia gravedad, ayudando a un crecimiento mayor hasta la creación de "protoplanetas" de un tamaño aproximado al de la Luna. Los cuerpos más pequeños que los planetesimales no ejercen una atracción gravitatoria suficiente sobre las partículas vecinas como para agregarlas, pero aún así se producen colisiones debido al movimiento browniano de las partículas o a turbulencias en el gas. Alternativamente, algunos planetesimales también podrían haberse formado dentro de una espesa capa de granos de arena situada en el plano medio de un disco protoplanetario, y que experimentase una inestabilidad gravitacional colectiva. Muchos de los planetesimales se destruirían debido a colisiones violentas, pero unos cuantos de los más grandes podrían sobrevivir a esos encuentros y continuar creciendo hasta convertirse primero en protoplanetas y posteriormente en planetas.

Está generalmente aceptado que hace aproximadamente 3 800 millones de años, tras un período conocido como el "Bombardeo intenso tardío" (Late heavy bombardment), muchos de los planetesimales dentro del Sistema Solar habían sido o bien expulsados del mismo, a distantes órbitas excéntricas tales como la Nube de Oort, o bien habrían colisionado con objetos más grandes debido a la atracción de los grandes planetas gaseosos (particularmente Júpiter y Neptuno). Unos pocos planetesimales podrían haber sido capturados como lunas, tales como Fobos y Deimos (las lunas de Marte), o muchas de las lunas pequeñas y de gran inclinación de los planetas jovianos. En la actualidad se están observando diversas zonas que, según los indicios recogidos, estarían en plena formación de planetesimales.

Los planetesimales que han sobrevivido hasta nuestros días son muy valiosos para la ciencia, ya que contienen información acerca del nacimiento de nuestro Sistema Solar. Aunque su exterior haya estado sujeto a una intensa radiación solar (lo que habría alterado su composición), su interior contiene un material prístino, esencialmente idéntico desde la propia formación del planetesimal. Esto convierte a cada planetesimal en una "cápsula del tiempo", y su composición podría contarnos mucho acerca de las condiciones de la Nebulosa Protosolar desde la que nuestro sistema planetario se formó».

La Tierra.

Desde el punto de vista científico actual, no se puede asegurar gran cosa con respecto a lo que ocurrió durante los primeros dos tercios de la historia del Universo Material, sólo suposiciones más o menos bien fundadas. Pero en algún momento, dentro de esos dos primeros tercios, se formó una galaxia espiral que llamamos Vía Láctea. En uno de sus brazos se condensó una estrella, nuestro Sol, hace aproximadamente 4 500 millones de años, a la vez que a su alrededor quedaron girando diversos cuerpos, entre ellos la Tierra primitiva o Prototierra. Al principio, dicha Prototierra era una masa incandescente, que, lentamente, se fue enfriando y adquiriendo una forma más cercana a la que hoy conocemos. Aunque los cambios en esas primeras épocas debieron ser más bruscos y abundantes, la Tierra no ha dejado de evolucionar geológicamente, y lo sigue haciendo.

La Tierra debió, pues, comenzar a originarse hace aproximadamente $4'5 \cdot 10^9$ años, es decir, unos pocos millones de años después de que se formase los rudimentos del Sol. Al parecer, el planeta se formó a partir de una nebulosa inicial, al tiempo que lo hacía el resto de los planetas de nuestro Sistema Solar.

Se cree que la materia de la nebulosa se colocó según su densidad alrededor del Sol, por su atracción gravitatoria, de manera que la materia más ligera se alejó del Sol y la más densa quedó más cerca del mismo. Esta última es la que sirvió de materia prima para formar la Tierra.

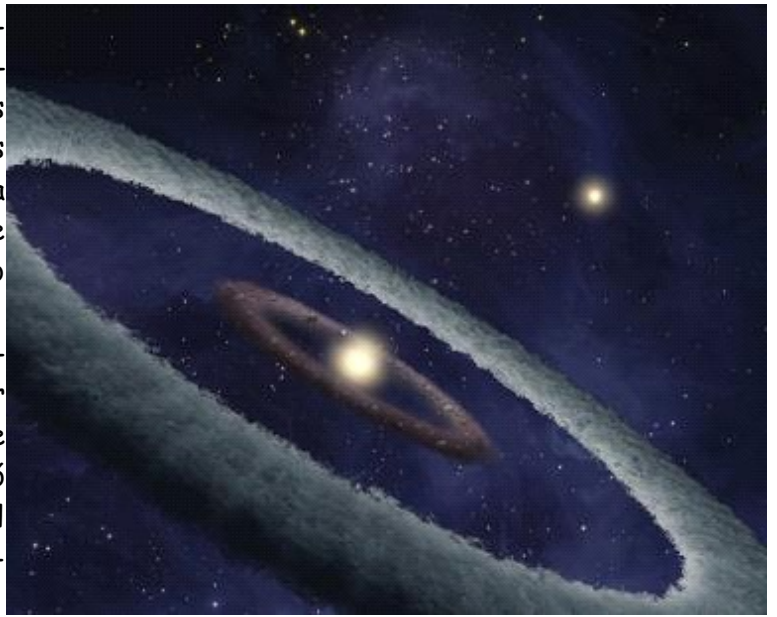
Los fragmentos de esa materia densa (planetesimales) debieron empezar a acumularse por atracción gravitatoria y así se originó una enorme masa de material incandescente y fundido, por efecto de las colisiones: la Prototierra.

Los materiales terrestres se acoplaron según su densidad: los más densos se hundieron hacia el interior del planeta y los más ligeros se fueron hacia el exterior. De este modo la Prototierra quedó estratificada en varias capas, siendo la más externa de carácter gaseoso.

La serie de cambios experimentados por el planeta Tierra, desde su origen nebuloso hasta la actualidad, podría esquematizarse en 5 etapas, de acuerdo a la mayoría de las teorías que hoy dominan en el ambiente académico de la geología cosmogónica. Tocante a dichas etapas, el tomo 15 de la obra "Viaje a través del Universo", publicado en 1995 por Ediciones Folio (Barcelona, España), nos servirá de guía.

Primera etapa cosmogónica terrestre.

Durante la Primera Etapa, cuyo comienzo se estima en unos $4'5 \cdot 10^9$ años atrás, tendríamos la nebulosa Protosolar a partir de la cual se opina que surgió el entero Sistema Solar. El tomo 15 de la obra "Viaje a través del Universo", en su página 7, comenta: «[En aquel tiempo lejano], una enorme nube de gases y polvo que derivaba por la Vía Láctea chocó contra una potente onda [...] explosiva que señala[ba] la muerte de una enorme estrella. Unidas violentamente por este "puño" cósmico, las dispersas partículas de la nube (en su mayor parte hidrógeno y helio, con rastros de elementos más pesados, residuos de otras muertes estelares) concentraron su atracción gravitatoria mutua e hicieron que la nube empezara a contraerse. Pequeñas masas turbulentas al azar se



convirtieron en diminutos flujos y remolinos que se fueron formando por sí mismos. Cuando uno de esos fragmentos de nube siguió condensándose y contrayéndose, empezó a girar más aprisa sobre sí mismo, como hacen los patinadores cuando juntan los brazos. Gradualmente, la esfera gaseosa se extendió en un delgado disco de $[80 \cdot 10^9]$ kilómetros de diámetro, el nebuloso antepasado del Sistema Solar.

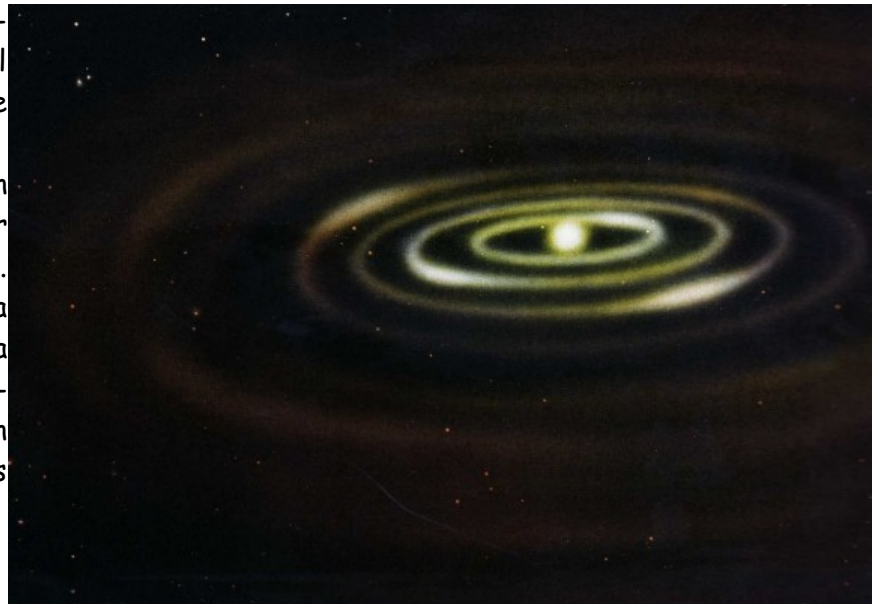
[Poco tiempo después,] los elementos pesados (hierro, níquel y silicio) cayeron hacia el centro de la nebulosa solar, calentándolo [a la vez] que las regiones más alejadas se enfriaban. Pequeñas partículas se solidificaron, se unieron por colisión y se convirtieron en partículas más grandes, lo cual

llevó a la nebulosa a estados cada vez más densos y finalmente a una serie de corpúsculos espaciales, pequeños cuerpos de unos pocos kilómetros de diámetro.

A lo largo de mucho más tiempo, los corpúsculos espaciales, que giraban alrededor de un cuerpo central, o Protoestrella, que crecía por momentos, fueron acumulando materia hasta convertirse en embriones planetarios que barrieron los restos de la nebulosa en sus inmediaciones. Tras decenas de millones de años, la Protoestrella contenía más del 90% de

la materia original de la nebulosa solar. Ya con masa suficiente para fusionar los átomos de hidrógeno en su núcleo, prendió una explosión nuclear continua... y el joven Sol empezó a brillar sobre su cohorte de orbitantes planetas.

Estos pequeños cuerpos, sin embargo, distaban mucho de haber terminado su evolución [geológica]. El tercero de ellos, por ejemplo, era poco más que una vapuleada roca. La transformación de este yermo guijarro en la Tierra, el planeta jardín del Sistema Solar, requeriría otros [3] mil quinientos millones de años».



Segunda etapa cosmogónica terrestre.

El tomo 15 de la obra "Viaje a través del Universo", en su página 9, sigue diciendo: «Tras modelarse grano a grano a partir de los restos estelares, la nueva Tierra giró bajo un cielo surcado por el paso de los cometas que viajaban en órbitas alocadamente excéntricas. Muchos de estos cuerpos celestes errantes se estrellaron contra la fría y rocosa superficie del joven planeta, llenando su rostro de cráteres y añadiendo la nueva masa y la energía calorífica del impacto.

Antes de eso, una tenue atmósfera de hidrógeno de corta vida había rodeado el vapuleado globo, pero frente al fuerte viento solar (la corriente de partículas cargadas que brotaba del Sol), la gravedad de la Tierra fue incapaz de retener los volátiles gases. La mayor parte de la provisión original de hidrógeno y helio de la nebulosa solar había sido lanzada [tiempo atrás] hacia el [espacio cercano] exterior, en parte por la fuerza centrífuga [y] en parte por el viento solar; a su debido tiempo, cuajaría en un conjunto de gigantes planetas gaseosos.

Durante decenas de millones de años, la Tierra no mostró ningún signo vital [es decir, ningún cambio geológico]. El yermo planeta si limitó a girar en silencio en su órbita, mientras su corteza se cuarteaba y encogía a medida que su superficie se solidificaba en el profundo frío del espacio. Pero, aunque la capa más externa del globo pareciera marchitarse, en su interior las fuerzas seguían trabajando. La



contracción de la corteza empezó a comprimir los minerales del núcleo del planeta y a hacer que su temperatura se elevara. A medida que seguía la contracción, el interior se volvía cada vez más caliente, hasta que el oculto almacén de metales empezó a fundirse, el inicio de un proceso que finalmente aceleraría a la Tierra hacia la vida geofísica».

Esta etapa parece coincidir con el inicio de lo que los libros de geología llaman la "Era Arcaica" del "Eón Precámbrico", la cual se especula que debió acontecer hace aproximadamente $3 \cdot 5 \cdot 10^9$ años. Un periodo en el que la Tierra se transformaría en una bola incandescente y terminaría convertida en un planeta con núcleo y corteza. Al mismo tiempo, la Tierra sería visitada por asteroides que, al chocar contra ella, aportarían nuevos materiales y una gran energía calorífica, por efecto del impacto. Así la Tierra, según los geólogos, se mantuvo durante millones de años en un estado incandescente, lo que provocaría, bajo la influencia de la gravedad, que los elementos más pesados, sobre todo el hierro y el níquel, cayeran hacia el centro de la Tierra para formar el núcleo, y los silicatos más ligeros se moverían hacia arriba para formar la corteza y el manto. De esta manera, se supone que la Tierra iría ganando en masa, mientras que su núcleo, rico en hierro, se iría magnetizando.



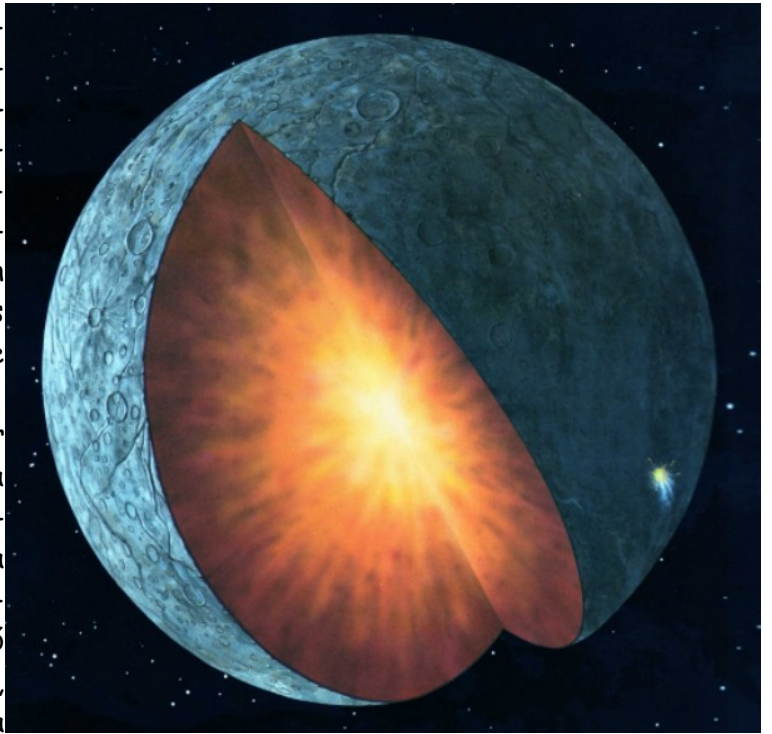
Finalmente, la temperatura debió bajar lo suficiente como para permitir la formación de una corteza terrestre estable, la Litosfera. La Tierra poco a poco se iría estabilizando, aunque la corteza terrestre, al final de este periodo, seguiría siendo muy frágil y con una enorme cantidad de movimientos provocados por terremotos y erupciones volcánicas.

Tercera etapa cosmogónica terrestre.

El tomo 15 de "Viaje a través del Universo", páginas 11 a 13, expone: «Tranquila por fuera, la Tierra ocultaba un activo interior bajo el cascarón de su corteza exterior. Mezclados con silicatos y

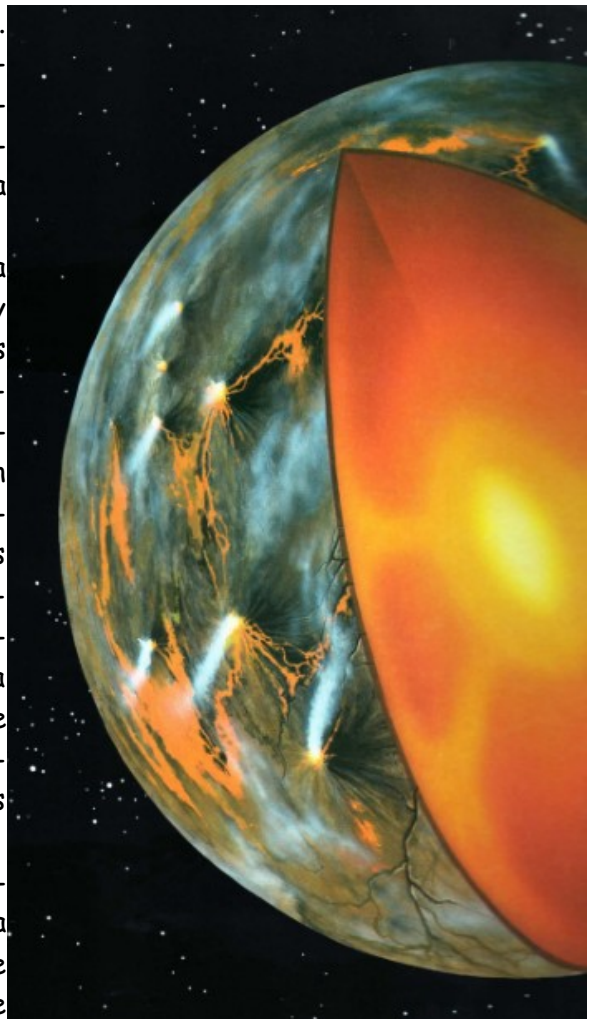
metales propios del planeta estaban los restos dispersos de una antigua supernova, elementos pesados como el uranio y el torio, cuyos masivos átomos pueden forjarse solamente en el corazón de una estrella en explosión. Estos átomos son inestables, y a medida que se desintegraban gradualmente en el corazón de la Tierra, liberaban partículas de alta energía y radiaciones en forma de calor.

Combinada con el calor generado por el incesante impacto de los meteoros y la constante compresión gravitatoria del planeta, la radiactividad empezó a licuar la roca debajo de la corteza, haciendo que sus componentes se separaran. La gravedad empujó el hierro y el níquel hacia abajo, al centro,



para formar un primitivo núcleo. La escoria al rojo blanco de los menos densos silicatos no metálicos flotó hacia arriba, formando una esfera cubriente de roca fluida conocida hoy como el "manto". Los elementos radiactivos, cuyos grandes átomos no se acomodan fácilmente en metales rígidamente estructurados como el hierro, fueron empujados también hacia arriba con los silicatos, y siguieron generando calor a medida que se desintegraban.

La liberación de la energía gravitatoria, a medida que los metales se hundían hacia el núcleo de la Tierra, y la constante desintegración radiactiva de los elementos pesados produjo suficiente calor como para fundir el hierro que derivaba hacia el centro. Este flujo de calor provocó corrientes de convección que se alzaban y hundían en la roca fluida, o magma, del manto. Bajo la presión hacia arriba del magma, la corteza empezó a ceder en sus puntos más delgados, y por primera vez la lava se desparrramó por la superficie, salpicando el paisaje con los ásperos conos de los volcanes y con charcas y lagos de roca licuada. La corteza primordial desapareció a medida que el fiero diluvio alisaba los cráteres y planchaba las arrugas de un mundo de unos mil [quinientos] millones de años de edad.



Del mismo modo que al removerlo se enfría un plato humeante de sopa, la lenta circulación de la roca fluida enfrió el planeta, y una nueva corteza se solidificó sobre el manto. En sus profundidades, la materia del núcleo se separó más cuando la gravedad comprimió los metales más internos y los solidificó por pura presión, dejando un núcleo externo de hierro fundido. La convección en el ardiente hierro fluido convirtió el corazón de la Tierra en una dinamo que empezó a generar una corriente de electricidad. Como resultado de ello, un campo magnético se abrió al espacio, envolviendo al planeta en invisibles líneas de fuerza, una barrera contra las partículas de alta energía procedentes del Sol.

Fuera, en la superficie, estaba teniendo lugar otra transformación, cuando la lava aventada trajo consigo abundantes gases liberados por las propias rocas del planeta: alzándose de las fundidas profundidades de la Tierra al frío espacio, la mezcla gaseosa empezó a formar la primitiva atmósfera del joven planeta».

Esta etapa parece iniciarse hacia la mitad de la franja temporal que los libros de geología denominan la "Era Arcaica" del "Eón Precámbrico", cuyo comienzo pudo haber ocurrido hace aproximadamente $3 \cdot 10^9$ años.

Cuarta etapa cosmogónica terrestre.

El tomo 15 de "Viaje a través del Universo", página 15, teoriza: «Encerrada en los compuestos de silicio del manto, el agua hizo su debut terrestre como vapor, aventada por los feroces volca-



nes que perforaban la corteza. Más agua se forjó en las interacciones a altas temperaturas entre los hidrocarburos y el oxígeno aprisionado en las moléculas de los silicatos y óxidos de hierro. Al emerger al frío del espacio, el vapor de agua se condensó y cayó al [suelo del] planeta, formando charcos y limando lentamente los bordes de los cráteres dejados por los antiguos bombardeos.

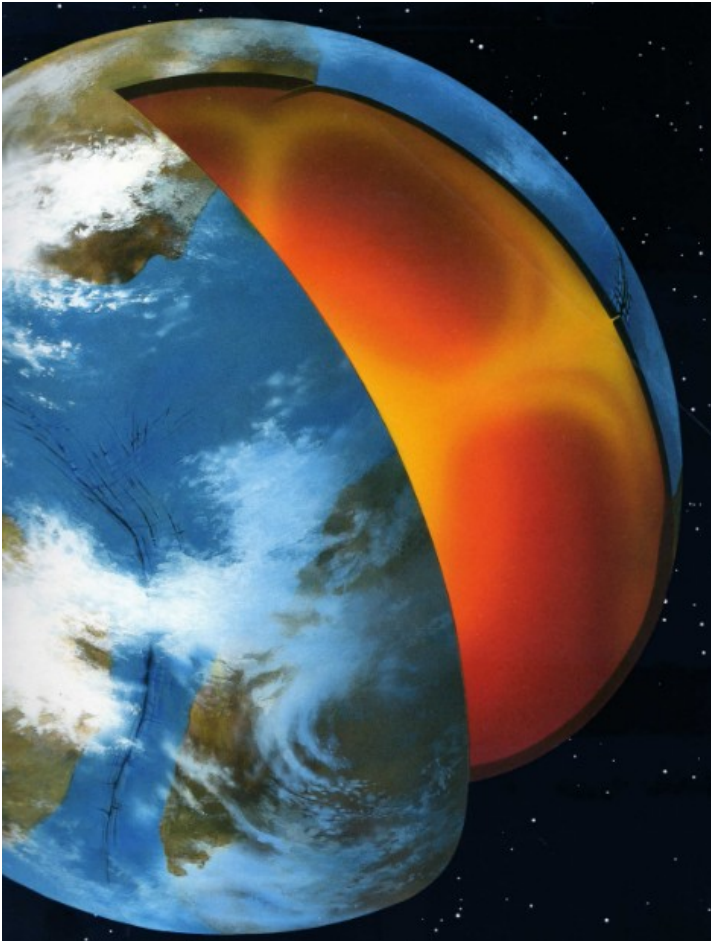
Mientras la lluvia cambiaba y esculpía el rostro de la Tierra, apareció otro subproducto de las reacciones de los hidrocarburos: el dióxido de carbono (CO_2). Puesto que el CO_2 es transparente a las radiaciones de onda corta de llegada pero absorbe el calor de las ondas más largas que emana del propio planeta, la aparición y desaparición de este compuesto crítico en la atmósfera y la corteza ayudaron a modelar [el devenir morfológico] de la Tierra.

Un tercer factor en la atmósfera terrestre fue el nitrógeno, cuya presencia parece ser el resultado de un caso cósmico de error de identidad. Durante la formación de la ancestral nebulosa solar, las moléculas de amoníaco, que están compuestas por nitrógeno e hidrógeno, se acumularon a veces en los entramados de los compuestos de silicato, tomando el lugar de los átomos de potasio, que son aproximadamente del mismo tamaño. En el feroz crisol de la formación planetaria, casi todo el nitrógeno del planeta fue liberado para convertirse en el elemento dominante de la atmósfera de la Tierra».

Esta etapa parece coincidir con el inicio de la franja de tiempo que los libros de geología llaman "Era Proterozoica" del "Eón Precámbrico", cuyo comienzo se ha fechado teóricamente en un pasado de aproximadamente $2'5 \cdot 10^9$ años atrás.

Quinta etapa cosmogónica terrestre.

El tomo 15 de "Viaje a través del Universo", página 16, explica: «Bajo el llanto de los cielos, las rudimentarias cuencas de agua fueron creciendo hasta convertirse en un mar global. En el momento en que la Tierra tenía unos dos mil [quinientos] millones de años de edad, el planeta se había asegurado un status único en el Sistema Solar. Ahora era un mundo oceánico de superficie acciden-



tada y estaba en su mayor parte [(o, tal vez, en su totalidad)] cubierta por una gruesa piel de agua, rematada a su vez por una gasa atmosférica. El dióxido de carbono, en su tiempo un gas prominente en la atmósfera, había empezado a ser absorbido por las capas superiores del mar y, a través de los procesos geológicos, convertido en rocas de carbonato de calcio y magnesio.

La superficie sólida también había sido transformada. A medida que la corteza se enfriaba, engrosaba y cuarteaba, se quebró en un mosaico de enormes placas. Movidas por las ardientes corrientes inferiores, las placas se fueron redistribuyendo lentamente a medida que transcurrian los eones, chocando unas con otras, derivando lejos unas de otras, y abriendo respiraderos que permitían al magma brotar de las profundidades para formar una nueva corteza».

Esta etapa parece coincidir con el final de la franja de tiempo que los libros de geología llaman el "Eón Precámbrico", es decir, un pasado cuyo comienzo ha sido fechado teóricamente en aproximadamente $2 \cdot 10^9$ años atrás.

mente en aproximadamente $2 \cdot 10^9$ años atrás.

Conclusión.

Si bien los libros de ciencia actuales no dejan cabida para la acción de Dios en la historia natural de la Tierra, nosotros, a la luz del relato del Génesis, intuimos que la "fuerza activa" del Creador debió "moverse" no sólo sobre la superficie de las aguas del océano primordial, como dice el versículo 2 del capítulo 1 del libro sagrado, sino al menos también a lo largo de todo el proceso de formación del planeta a partir de la supuesta nebulosa Protosolar que le sirvió de cuna. Por ejemplo, la revista LA ATALAYA del 15-2-2007, editada por la Sociedad Watchtower Bible And Tract, página 4, comenta:

«El singular sistema solar: ¿cómo llegó a existir? Muchos factores se combinan para que la región del universo que habitamos sea singular. Nuestro sistema solar se halla situado entre dos de los brazos en espiral de la Vía Láctea, en una zona con relativamente pocas estrellas. Casi todas las estrellas que podemos ver de noche están tan lejos de nosotros que incluso vistas a través de los telescopios más grandes siguen siendo simples puntos de luz. ¿Es así como debería ser?

Pues bien, si el sistema solar estuviera cerca del centro de la Vía Láctea, sufriría los devastadores efectos de encontrarse en medio de una densa concentración de estrellas. Por ejemplo, la órbita de la Tierra seguramente se trastocaría, con dramáticas consecuencias para la vida humana. Tal como está, el sistema solar parece hallarse en el mejor lugar de la galaxia para evitar éste y otros peligros, como el de sobrecalentarse al atravesar nubes de gas o el de quedar expuesto a estrellas en explosión o a otras fuentes de radiación letal.

El Sol es el tipo ideal de estrella para satisfacer nuestras necesidades. Tiene una combustión estable y una vida larga, y no es ni muy grande ni demasiado caliente. En su inmensa mayoría, las estrellas de nuestra galaxia son mucho más pequeñas, de modo que no desprenden ni la luz ni el calor que se necesitan para sostener la vida en un planeta como el nuestro. Además, casi todas las es-

trellas se hallan en grupos de dos o más, unidas por fuerzas gravitatorias y girando unas alrededor de otras. En contraste, el Sol es un astro solitario. Y podemos agradecer que así sea, ya que es improbable que el sistema solar permaneciera estable si estuviera sometido a la fuerza gravitatoria de dos o más soles.

Otro rasgo que hace especial a nuestro sistema solar es la ubicación de los planetas gigantes exteriores y sus órbitas casi circulares. Debido a estos factores, no presentan ninguna amenaza gravitatoria a los planetas interiores, también llamados telúricos (o terrestres). Al contrario, los planetas exteriores cumplen la función protectora de atraer o desviar los objetos peligrosos. "Aunque asteroides y cometas chocan contra nosotros, eso no sucede demasiado, pues planetas gigantes gaseosos como Júpiter nos guardan las espaldas", explican los científicos Peter D. Ward y Donald Brownlee en su libro *Rare Earth—Why Complex Life Is Uncommon in the Universe* (El singular planeta Tierra: por qué es difícil hallar formas de vida complejas en el universo). Se han descubierto otros sistemas solares que también tienen planetas gigantes. Sin embargo, la mayoría de éstos describen órbitas que pondrían en peligro a un planeta más pequeño como la Tierra».



Abundando en estos datos, la revista DESPERTAD de Febrero-2009, página 5, de la misma Sociedad Watchtower, dice:

«Los datos del domicilio donde uno vive por lo regular incluyen la calle, la ciudad y el país. En el caso de la Tierra, su órbita es, por así decirlo, la calle; el sistema solar (el Sol y sus planetas) es la ciudad, y la galaxia Vía Láctea es el país en que radica. Gracias a los adelantos en física y astronomía, los científicos han logrado entender mejor las ventajas del minúsculo lugar que ocupamos en el universo.

Para empezar, nuestra "ciudad", o sistema solar, se ubica en una franja anular de la Vía Láctea conocida como zona de habitabilidad galáctica, la cual está a 28 000 años luz del centro de la galaxia. En esta zona se reúnen las cantidades exactas de los elementos químicos necesarios para vivir. Fuera de ella, no existen posibilidades de vida: más lejos del centro, los elementos indispensables escasean, y más cerca del centro, una mayor abundancia de radiaciones letales y otros factores convierten a la región en un entorno sumamente peligroso. Por eso, como afirma la revista *Scientific American*, "vivimos en un barrio exclusivo" de la galaxia.

No menos exclusiva es la "calle", u órbita de la Tierra, dentro de la "ciudad", es decir, el sistema solar. Su trazado está a una distancia media de 150 millones de kilómetros del Sol [...] y se ubica dentro de la zona de habitabilidad circunestelar, donde los seres vivos ni se congelan ni se queman. Aunque la órbita de nuestro planeta es elíptica, la distancia que lo separa del Sol es más o menos la misma durante todo el año.

El Sol, por su parte, es la central eléctrica por excelencia, pues además de ser estable, tiene el tamaño óptimo y emite la cantidad de energía que necesita la Tierra. Con razón se dice que es "una estrella muy singular".

De todos los vecinos que la Tierra pudiera tener, no hay ninguno como nuestro satélite: la Lu-

na. Su diámetro mide aproximadamente una cuarta parte del de la Tierra. De modo que, en comparación con otras lunas de nuestro sistema solar, la nuestra es muy grande para la Tierra. Pero lejos de ser un error, es una ventaja.

En primer lugar, la Luna es la causa principal de las mareas oceánicas, las cuales cumplen un papel esencial en la ecología del planeta. En segundo lugar, contribuye a la estabilidad del eje de la Tierra. Si nuestro satélite no fuera como es, el globo terráqueo bailarían como un trompo, quizás hasta se iría de lado al girar. Además, los cambios en el clima y en las mareas, así como otras alteraciones en la naturaleza, resultarían catastróficos.

La inclinación de la Tierra (23'5 grados) hace posible el ciclo anual de las estaciones, regula la temperatura y da lugar a una amplia gama de zonas climáticas. "Parece que el eje de inclinación de nuestro planeta es el idóneo", señala el libro ["El singular planeta Tierra: por qué es difícil hallar formas de vida complejas en el universo" citado anteriormente].

Gracias al movimiento de rotación, la duración del día y la noche también es perfecta. Si el período de rotación fuera mucho mayor, el lado de la Tierra que diera hacia el Sol se quemaría y el lado contrario se congelaría. Por otra parte, si la rotación fuera más rápida y los días sólo duraran unas cuantas horas, se desatarían implacables vientos huracanados y otros fenómenos desastrosos.

En definitiva, todo lo relacionado con nuestro planeta —su "domicilio", la velocidad de su rotación y su extraordinaria "vecina"— demuestra que ha sido diseñado por un Creador inteligente. Paul Davies, destacado astrofísico y evolucionista, declaró: "Hasta los científicos ateos se estremecerán ante la grandeza, la majestuosidad, la armonía, la elegancia, el verdadero ingenio del universo"».

