

“... Y LA LUZ SE HIZO”

AMÍLCAR J. FUNES

*Y dijo Dios: Que exista la luz.
Y la luz existió. Génesis*

*Si alguien ama una flor de la cual no existe nada más que
un ejemplar entre los millones y millones de estrellas, con esto
tiene bastante para ser feliz, si se dedica a contemplarla.*

Con el Dr. Jorge Testoni compartimos la habitación

como estudiantes en el Instituto Balseiro, ex Instituto de Física Bariloche. A pesar de las exigencias teóricas y experimentales de la carrera, solíamos dedicar algún tiempo a intercambiar ideas “a la oración”, como llamábamos los provincianos al atardecer. Más de una vez nos detuvimos frente al enigma de la rosa: ¿cómo se combinan las moléculas del abono de estiércol para llegar a constituir los pétalos fragantes de la flor?

Jorge fijaba su mirada –tan clara como su mente– en la ventana, y barruntaba infinitésimos con la misma facilidad que infinitos. Íbamos desde el aparente vacío que existe entre los núcleos y sus electrones orbitales, hasta los límites del espacio exterior. Y en esas sesiones informales solía asomar la noción del espíritu creador y ordenador que no temíamos llamar Dios.

La Física, impulsada por el Dr. Balseiro y otros científicos soñadores y capaces como él, se había adueñado de las aulas y de nuestras ansias de saber, hasta constituir el célebre “espíritu del Instituto”. Con esa frase, el Director defendía aquella ciudadela de los embates externos y de nuestra rebeldía ante la carga de trabajo. Él escuchaba las quejas con benevolencia y declaraba amigablemente:

“Admito que me digan que hay momentos en que uno no está para nada; pero no me vengan con que hay días en que uno no está para nada”. Y al día siguiente las clases empezaban a las ocho en punto, como de costumbre; tan densas como de costumbre.

Cuando le preguntaban a Enrico Fermi qué podía decir sobre la física, solía responder: “Física es lo que hacen los físicos, tarde por la noche”. La respuesta tiene que ver con el citado “espíritu del Instituto” de Balseiro; porque ni una clase ni una lectura ocasional pueden entusiasmar a alguien para que se adentre en reflexiones más o menos profundas sobre la física. Lo mismo vale para cualquier otra ciencia.

Y si se tratara de incluir en la reflexión la idea del espíritu creador y ordenador, el de Dios, otra vez uno podría quedarse con la lectura ocasional de algún texto sagrado y declararlo insolvente y anacrónico para comprender el universo.

El Capitán de Fragata (R) Amílcar J. Funes completó, durante su carrera en la Armada, los estudios en Física (licenciatura y doctorado) contribuyendo a la creación del Servicio Naval de Investigación y Desarrollo (SE- NID) y del Laboratorio Naval de Ensayos Acústicos (LANEA). Instauró el Programa de Investigación y Desarrollo de la ex SEGBA y actuó más de tres lustros en la Comisión Nacional de Energía Atómica, donde ayudó a establecer el programa de agua pesada, entre otras actividades. Ha publicado un par de libros técnicos (Residuos Radiactivos y Termodinámica Técnica), poesías y cuentos “Pandora enCaja”, que obra en la Biblioteca del Centro Naval y numerosos artículos científicos y de interés general.



BOLETÍN DEL CENTRO NAVAL

Número 812

Septiembre/diciembre de 2005

Recibido: 27.4.2005

Algunas preguntas

Los seres pensantes seguimos preguntándonos: más allá de la rosa, ¿cómo surgió el universo?, ¿qué es lo real?, ¿tiene sentido nuestra noción del mundo material?, “¿por qué hay **algo** en vez de **nada**?” (1).

(1)
Pregunta atribuida
a G. W. F. Leibnitz.

El sol, la luna, las estrellas y todos los fenómenos naturales en general, demandaron explicaciones que fueron surgiendo de la religión y de la filosofía. La separación entre ambas fue importante. Luego aparecieron filósofos más inquisidores, que no solamente pensaron, sino que intentaron cimentar sus ideas con observaciones cada vez más detalladas del mundo circundante, apoyadas en algunas mediciones y cálculos. Ellos se hicieron acreedores al nombre relativamente moderno de *científicos*. Me gustaría citar por lo menos a uno: Eratóstenes de Cirene, muerto en Alejandría en 194 a.C., a los 92 años, quien midió por primera vez la circunferencia terrestre mediante la sombra proyectada en el suelo por dos estacas.

El avance de la ciencia fue intimidando primero a la religión (que hubo de reinterpretar sus textos a medida que se iban sucediendo los descubrimientos) y luego a la filosofía, a la cual cuestionó, entre otros aspectos, por el principio de causalidad. La ciencia, en este sentido, me recuerda al famoso caballo de Troya admitido a una fortaleza que logró jaquear desde adentro. En particular, podría decirse que también había dentro del caballo metafórico pensadores cristianos como Duns Scoto, Nicolás de Cusa, Copérnico y otros, cuyas referencias se pueden obtener fácilmente en la Internet.

La resistencia ha sido tan tenaz como el asedio. Todas las grandes religiones tienen sus Escrituras (Biblia, Talmud, Corán, Upanishads) y sacerdotes que defienden tenazmente su primacía en la exégesis. Las opiniones discrepantes han arrancado ayes de dolor en el tormento o en la pira, o exclamaciones asordinadas como el célebre *jeppur' si muove!* de Galileo.

En el otro extremo del fundamentalismo religioso está el alarde científico desmedido, como el de Pierre Simon de Laplace, matemático francés (1749-1827). Después de haberle explicado su teoría del universo mecánico a Napoleón, éste le preguntó qué lugar había en ella para Dios. Laplace respondió: “No he tenido necesidad de esa hipótesis”. Hoy la ciencia es menos presuntuosa.

Es importante destacar, sin embargo, que los mismos religiosos y también los filósofos han salido beneficiados ante el acoso de la ciencia. Sus ponencias son ahora más firmes y claras, como lo revela el trabajo de algunos miembros de sus respectivas comunidades. Sin salir del marco de mi experiencia vernácula, recuerdo que un religioso jesuita estudiaba con nosotros en el Instituto de Bariloche. Y en cuanto a los filósofos tengo presente el nombre familiar de Víctor Massuh, filósofo tucumano que ha publicado reflexiones muy interesantes sobre conceptos de física moderna (2).

(2)
Víctor Massuh, La Flecha
del Tiempo.

De todos modos, creo que no es posible proponer respuestas equilibradas entre la razón y la fe a esas preguntas formuladas anteriormente, sin hacer un esfuerzo sincero para comprender un poco el espíritu de búsqueda de la verdad que anima a las comunidades científica y religiosa.

(3)
William G. Pollard, Physicist
and Christian, London S.P.C.K.
(1962).

Es notorio el caso del Dr. William G. Pollard (3), quien fue simultáneamente director ejecutivo del Instituto de Estudios Nucleares de Oak Ridge (EE.UU. de América) y sacerdote de la Iglesia Episcopal. En sus palabras:

“Es imposible para alguien que no sea un físico conocer realmente la verdad de la física; cualquier otra persona tiene que hacer un acto de fe. Del mismo modo, no es posible que alguien conozca la verdad del Cristianismo si no es un cristiano completamente involucrado y comprometido”.

Por mi parte, a partir de mis conocimientos sobre física y de mi fe católica, no ceso de buscar las respuestas a esas preguntas sobre el universo y la existencia consciente.

Naderías: el átomo

Para intentar una visión panorámica sobre el universo y sus misterios es necesario conocer algunos hilos del entramado de conocimientos tejido hasta el presente.

Según la teoría actual, nosotros –y cuanto nos rodea– somos aparentemente espacio vacío en la mayor parte del volumen visible. Estamos formados por moléculas, y las moléculas por átomos. Éstos están constituidos por un núcleo rodeado de una “nube” de electrones. Entre el núcleo y los electrones hay (relativamente hablando) mucho “espacio vacío”, el cual tiene propiedades que preferimos ignorar en este momento, porque nos llevarían a cuestionar su carácter de “vacío”.

Para dar una idea más precisa, expresemos la estructura de un átomo típico en números. El diámetro es de 1 Angström, una diezmilésima de millonésima de metro, o sea 10^{-10} metro (ver Apéndice I sobre potencias de 10); en tanto que el núcleo mide solamente 10^{-15} m de diámetro.

Si el núcleo fuese una guinda de un centímetro de diámetro, la “frontera” de ese átomo se extendería diez cuadras a la redonda. ¿Y el intervalo? ¿Vacío?

Y si todos mis átomos fuesen comprimidos hasta eliminarles el espacio interior vacío... ¡mi ser aparecería como la cabeza de un alfiler!

Los libros elementales dicen que el núcleo es un agregado de protones (partículas con carga eléctrica positiva) y neutrones (partículas con carga neutra). La carga eléctrica positiva del núcleo, debida solamente a los protones, es neutralizada por la carga negativa de los electrones que lo circundan. De modo que el átomo normal no presenta carga eléctrica en su conjunto.

Pero la historia es más compleja. Los protones y neutrones no son partículas fundamentales; tienen estructura interna. Parecen estar formados por “quarks”, de los cuales se conocen seis tipos (¡les llaman “sabores” a los “tipos” de quarks!); y de ellos hay sólo dos que son estables, llamados “up” (arriba) y “down” (abajo). El protón aparece como formado por dos quarks “up” y uno “down” (uud). El neutrón se arma como (udd), o sea con un quark “up” y dos “down”.

Ahora, cuando pensábamos que el núcleo estaba constituido por quarks up y down... estábamos dejando de lado –entre otras– a las partículas que funcionan como el cemento que une a los quarks, bautizadas como “gluones” (pegamento se dice “glue” en inglés).

El mismo Dr. Testoni solía decir que las partículas “intermedias” como los gluones (hoy diríamos ‘partículas de fuerza’) podían ser pensadas como la pelota que vincula a dos jugadores en un partido de tenis. Los gluones serían entonces la pelota de tenis que “expresa” la fuerza fuerte que vincula a los quarks. Otro ejemplo: se sabe que dos cargas eléctricas del mismo signo se repelen. En la repulsión de dos electrones negativos, podemos ver el brevísimo partido de tenis que ambos juegan con una pelota que en este caso es el fotón. Decimos entonces que la interacción entre los dos electrones se realiza por el intercambio de un fotón (virtual). Como las preguntas que se vienen son: ¿de dónde sale ese fotón?, ¿qué pasa después con él?, aquí van las respuestas.

Existe en mecánica cuántica el principio de incertidumbre (ver último punto del Apéndice II), según el cual se puede “pedir prestada” (¿a la nada, al vacío?) una cierta cantidad de energía, siempre que sea por un tiempo tal que el producto energía por tiempo no supe-

(4)

G. Fanti y R. Maggiolo,
The double superficiality of the
frontal image of Turin Shroud, *J.
Opt. A: Pure and Appl. Op.* 6,
April 13, (2004).

re el valor denominado constante de Planck (Apéndice I-d). Es como tomar un libro su brepticiamente de una biblioteca, leerlo, y devolverlo después de un lapso tan pequeño como para que nadie se haya dado cuenta de la sustracción (la metáfora es de James Trefil); ¡parece imposible, pero ésa es la única explicación que tenemos por ahora! (y es más difícil que aceptar la autenticidad del Sudario de Turín, ¿no es cierto?) (4).

Hay otros constituyentes que aparecen y desaparecen (!) dentro del núcleo atómico, pero podemos quedarnos con la receta básica: un núcleo formado por quarks y gluones.

Con respecto al átomo, tenemos entonces los siguientes diámetros, en orden creciente: el quark; luego el núcleo que es mil veces más grande; y cien mil veces más grande que el núcleo, es el átomo que lo contiene ¡El átomo es casi una burbuja de nada, con algunas nadas inquietas en el centro!

¿Partículas u ondas?

Antes de que alguien se reponga del “empréstimo de energía” para formar partículas de la nada (que son devueltas a la nada casi instantáneamente), hay otro truco fascinante que describiré después de mencionar su raíz histórica.

Es conocimiento corriente que cuando la luz atraviesa —en ciertas condiciones— un par de ranuras, proyecta sobre una pantalla franjas de interferencia (Apéndice III, experimento con luz). Las franjas de interferencia pueden ser explicadas suponiendo que la luz está constituida por ondas; la interferencia es un “fenómeno ondulatorio”, es la consecuencia de la manera en que se superponen las ondas.

A principios del siglo XX, Max Planck arribó a la conclusión de que la energía electromagnética (la que transportan desde los rayos-X hasta el calor, pasando por la luz), se propaga por “gránulos”. Esos gránulos son los fotones que ahora nos resultan familiares. Por su parte, Albert Einstein interpretó otros experimentos sobre la corriente eléctrica generada cuando la luz incidía sobre ciertos metales (efecto fotoeléctrico). Él pensó que el efecto era debido al choque de fotones contra átomos de algunos elementos (p. ej. zinc). El choque podía hacer saltar electrones, algo que era detectable en forma de corriente eléctrica.

El joven Louis de Broglie pensó (1924) que si las ondas (electromagnéticas) se podían comportar como partículas (que chocaban contra electrones) en el efecto fotoeléctrico, sería posible que, a la inversa, las partículas se comportaran también como ondas.

Los experimentos con electrones confirmaron su propuesta. Todavía se siguen haciendo refinamientos del “experimento de las dos ranuras” con electrones porque, como en la buena música, siempre parece posible una ejecución mejor. El Apéndice III incluye una nota acerca de la demostración realizada en el laboratorio de investigación de Hitachi Co. en Japón.

En este caso se han enviado electrones, uno a uno, hacia las “ranuras”; lo cual permitió ver, al cabo de media hora, la formación de las franjas de interferencia sobre la pantalla, donde habían ido incidiendo los electrones pasantes.

El truco prometido consiste en hallarle una respuesta **definida** a la pregunta: ¿los electrones son ondas o son partículas? Como dice el título de aquella obra de Pirandello, *Cosí é se vi pare*; así es, si os parece. Depende de cómo miremos. Si es en una experiencia de difracción por ranuras, veremos franjas de interferencia cuya única interpretación está dada por el comportamiento de ondas que interactúan entre sí. Si es por el efecto que vemos en la pantalla de un tubo de televisión, son partículas que chocan contra electrones de átomos de fósforo y los hacen pasar a una órbita de energía mayor (fenó-

meno de excitación); desde allí vuelven casi enseguida a una órbita de energía menor (de-sexcitación), con emisión de luz. ¿Entonces el resultado depende del observador? Respuesta: depende del experimento que el observador haya planeado para observar su comportamiento. En cualquier experimento con partículas de dimensiones atómicas, la intervención del observador (sin el cual no hay experimento) altera el resultado. En ese mundo infinitesimal, *medir implica perturbar* (ver último punto del Apéndice II).

Cuando están confinados en el átomo, los electrones se mueven en órbitas alrededor del núcleo (como los planetas alrededor del sol), y ocupan niveles de energía bien determinados. Al igual que espectadores de un cine, no ocupan posiciones intermedias, como podrían hacerlo si se sentaran sobre un tablón, sino que cada uno ocupa una butaca. Cada órbita es una butaca, con su número correspondiente, que se vincula con el nivel de energía.

Se hizo necesaria una nueva mecánica para interpretar fenómenos como la “granulosidad” de la energía, la dualidad onda-corpúsculo y también las líneas características observadas en los espectros luminosos. El Apéndice II incluye una breve caracterización de la *mecánica cuántica*.

¿En qué medida esta mecánica es diferente de la de Newton? La mecánica cuántica corrobora la de Newton cuando se aplica a objetos macroscópicos. La receta simple dice: “aplicarla a ‘objetos’ y espacios microscópicos, de tamaño atómico o menor”.

Con algunas fórmulas al pie de esa receta, uno podría sentirse preparado para hacer cálculos sobre el comportamiento íntimo de la materia. Si las partículas se pueden considerar como ondas, no es extraño que se emplee una ecuación de onda de la cual la función de onda (simbolizada con la letra griega Ψ [psi]) resulta ser la solución, porque permite calcular los niveles de energía. Esos niveles de energía bien separados existen sólo para partículas confinadas dentro de una “caja” (por ejemplo el átomo), pero no para partículas libres, para las cuales no existen energías prohibidas.

El problema radica en la interpretación de los resultados. ¿Acaso las órbitas de los electrones están vibrando dentro del átomo como las cuerdas de un violín, o como el aire dentro de una esfera hueca? Esos números cuánticos que permiten calcular los niveles de energía, ¿representan nodos de vibración fijos? ¿Qué representa la función de onda Ψ ? ¿Describe un camino, una trayectoria? ¿Es un documento DNI que identifica algo?

Después de algunos congresos, reuniones y discusiones geniales, se ha adoptado la “interpretación de Copenhague”, según la cual “el cuadrado del módulo de la función de onda representa la probabilidad de hallar a la partícula en cuestión en cierto lugar y con cierta energía”.

Se advierte la ruptura de las relaciones causa-efecto de la física clásica. En ésta, cuando chocan dos bolas de billar, si se conocen las condiciones iniciales, se pueden calcular las trayectorias y las energías resultantes. En una interacción entre partículas microscópicas interactúan las funciones de onda de cada una, y la función de onda resultante permite calcular... ¡la probabilidad del resultado!

Si usted se siente extraño con estos conceptos, tenga presente que a Einstein le costó aceptar esa interpretación probabilística: “Dios no juega a los dados con el universo”, dijo.

De todos modos, la sensación que a uno le queda es la de ir adquiriendo apenas un asomo de la realidad; y aun así, se trata de un asomo posible solamente para quienes alcanzan a comprender un lenguaje matemático que no es elemental. Vuelve a mi mente la obra de Pirandello: *Cosí é se ví pare*. Las cosas, para nosotros, son solamente como parecen ser. Hay una realidad que se nos muestra como si fuera el aroma de una verdad que no podemos saborear por completo...

Otra pieza importante del juego de la mecánica cuántica es el *principio de incertidumbre*, mencionado anteriormente (ver el Apéndice II). En un problema de partículas, no se pueden conocer al mismo tiempo los valores exactos de ciertos pares de variables denominadas conjugadas, tales como impulso y coordenada (p y x), o energía y tiempo (E y t). (El impulso p está dado por el producto de la masa por la velocidad). En cada par, a mayor exactitud del valor conocido de una variable, corresponde mayor "borroneo" del valor de la otra variable.

"EI" experimento

Antes de abandonar el dominio de lo extremadamente pequeño para ocuparnos de algunos aspectos del universo grandioso, quiero insistir sobre el comportamiento ondulatorio de los electrones a su paso por dos ranuras convenientemente dispuestas (Apéndice III, segunda parte). Nada menos que Richard Feynmann, Premio Nobel de Física, dijo que "nadie entiende la mecánica cuántica" y que en el experimento de las dos ranuras, "ahí está contenido todo el misterio" (5).

(5)
Richard Feynmann, El carácter de la ley física, pág. 111, Ed. Muy Interesante (1988).

En efecto, se entiende qué sucede cuando los electrones van pasando a través de UNA SOLA ranura abierta. Pero si LAS DOS ranuras están abiertas simultáneamente y se siguen enviando hacia ellas los electrones de uno en uno... ¡el resultado es como si cada electrón pasara UN POCO POR CADA RANURA, del mismo modo en que lo hace un haz de luz escindido! (Apéndice III, Fig. 2, por favor)

Si la partícula no es divisible –y no hay evidencia de que lo sea– podría pensarse que el electrón "sabe" qué va a encontrar delante de sí.

Ante UNA SOLA ranura abierta, si yo fuese electrón, me dejaría ir tranquilamente hasta pasar por ella. Después de que muchísimos electrones hayamos pasado por la única ranura disponible, la imagen obtenida en una pantalla adecuada mostraría una figura de difracción con una franja central importante y otras, secundarias, mucho menos brillantes. Repito: **una franja principal**, flanqueada por otras secundarias más débiles.

Pero ante DOS ranuras, yo tendría que considerar, al igual que los otros electrones que me han precedido y los que me siguen, que DEBEMOS proyectar una figura de difracción con **interferencia** y mostrar al cabo de un buen rato, cuando hayan pasado muchos miles de "congéneres", **varias franjas brillantes, aproximadamente de la misma intensidad**, separadas por franjas oscuras. Esa figura no hubiera podido ser obtenida por suma de aquellas logradas primero con una sola ranura abierta, y luego con la otra. (La imagen de la interferencia de electrones por dos ranuras del Apéndice III, Fig. 4 es tan buena, que de veras lamento no haber contribuido a su obtención.)

Me pregunto si acaso hay algún atisbo de conciencia en las partículas, como lo estarían mostrando los electrones que intervienen en el pasaje a través de dos ranuras... *Cosí é, se vi pare.*

Y ahora, un "bocadillo" acerca de la biología molecular. Francis Crick fue uno de los descubridores de la estructura en doble hélice de la molécula del ADN. Durante los últimos veinte años de su vida estuvo dedicado a investigar acerca de las bases moleculares de la conciencia. Le interesó el funcionamiento del cerebro, regido, en última instancia, por interacciones entre electrones que entran, salen, se intercambian o son compartidos por los átomos de moléculas de células cerebrales y de neurotransmisores. ¿Los mismos electrones capaces de "distinguir" si lo que tienen delante es una ranura abierta o dos? ¿No hay atisbos de una conciencia que va más allá, "inmanente al mundo", como diría Espinoza?

Formaciones estelares y fuerzas

Ahora me propongo saltar del minúsculo universo atómico al universo grandioso entrevistado en las noches estrelladas.

Las estrellas son entes sociables y su reunión por millones constituye las galaxias. Una de ellas es la Vía Láctea, cuyo borde de tul da un aire de liviandad al cielo.

Desde la antigüedad los hombres han unido a las estrellas más notables con líneas caprichosas, cuyo conjunto forma las constelaciones (¿el arte rupestre del cielo?).

Orión es la más grande. Representa a un cazador, que vemos cabeza abajo desde este hemisferio. Su cinturón lo forman las Tres Marías y de él se desprende (hacia arriba, para nosotros) la Nebulosa de Orión, que es una verdadera fábrica de estrellas. Los astrónomos llegan a ver en ella cómo el gas primordial (principalmente hidrógeno) se está comprimiendo, por acción de la fuerza de gravedad, en glóbulos que son estrellas en formación.

En todo el universo, además de la **fuerza de gravedad** están obrando otras que, como dije antes, pueden asimilarse a partículas virtuales (las pelotas de tenis, ¿recuerda?). Ellas son:

- la **fuerza fuerte**, que mantiene a los quarks unidos (mediante los gluones) para formar los neutrones y protones de los núcleos atómicos;
- la fuerza **electromagnética**, responsable de mantener a los electrones alrededor de los núcleos en los átomos y, en gran medida, de la cohesión de la materia.
- la **fuerza débil**, que permite que algunos núcleos atómicos se desintegren produciendo radiactividad y que, además, ha permitido hallar una explicación sobre el brillo de las estrellas como nuestro sol.

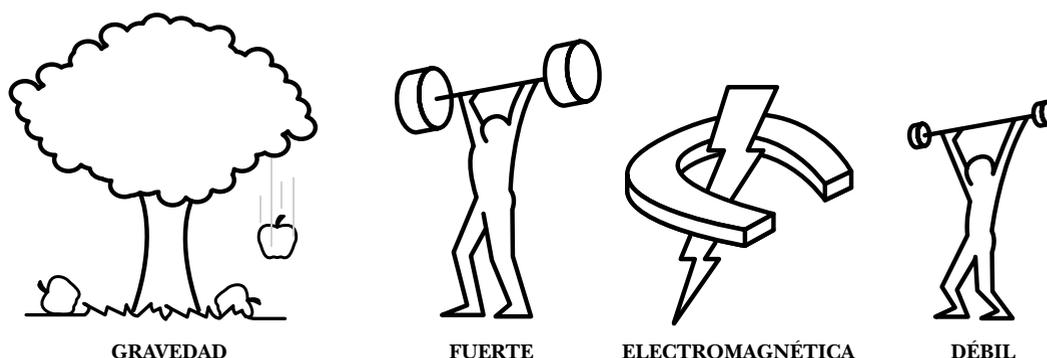


Fig. 1 - Cuatro interacciones fundamentales

La Vía Láctea fue nuestra “patria grande” hasta que Edwin Hubble, un abogado que optó por la astronomía, descubrió que esas nubecitas apenas iluminadas eran también galaxias; eso fue al principio de los años veinte del siglo pasado. Hoy sabemos que existen incontables “cúmulos” de galaxias y que en cada uno las hay por millones. Otro hallazgo de Hubble fue el movimiento de las galaxias, que van alejándose unas de otras, como lo harían los puntos marcados con tinta sobre la superficie de un globo de cumpleaños a medida que lo fuéramos inflando.

El universo iba apareciendo cada vez mayor y la curiosidad por conocer su origen crecía más rápido que el tamaño de los telescopios.

Entre quienes se destacaron en la búsqueda de respuestas figura Georges Lemaitre, ex estudiante de ingeniería y luego capitán de artillería en la Primera Guerra Mundial. Cuando terminó la contienda, Lemaitre ingresó a un seminario arquidiocesano de Bélgica. Allí,

mientras seguía los estudios religiosos del programa, realizó lecturas profundas sobre matemáticas y ciencias. Se ordenó como sacerdote en 1923 y pasó a la Universidad de Cambridge (Inglaterra), donde siguió estudiando matemáticas y ciencia. Uno de sus profesores fue Arthur Eddington, el director del observatorio.

Lemaitre estudió Relatividad General y sus cálculos le mostraron que el universo podría estar expandiéndose o contrayéndose. Ya existía por lo menos un estudio anterior del meteorólogo ruso Alexander Friedman, quien había empleado las ecuaciones originales de Einstein en 1920 para mostrar que si la tela del universo (el espaciotiempo) se expandía, debía llevar consigo a las galaxias, alejándolas unas de otras.

Einstein retrocedió incómodo ante estos resultados, aunque los aceptó después. Lemaitre también corroboró el descubrimiento de Hubble y le pareció ver un "desplazamiento hacia el rojo" (hacia una longitud de onda mayor), en ciertas líneas características de sus espectros luminosos. Eso significaba que las galaxias estaban en alejamiento. (En acústica existe una analogía con el tono de una sirena de bomberos, que se hace más grave cuando el vehículo se aleja; es el efecto Doppler). Lemaitre publicó sus cálculos y conclusiones en los Anales de la Sociedad Científica de Bruselas (1927), pero no despertaron mayor interés. Ese mismo año, hablando con Einstein en Bruselas, éste le dijo que sus cálculos eran correctos, pero que "su comprensión de la física era abominable". Ahí nomás, en 1929, las observaciones sistemáticas de Hubble confirmaron el corrimiento hacia el rojo de la luz de varias galaxias.

La mayoría de los científicos aceptaron el "universo en expansión", pero no su implicación de que había tenido un origen. El mismo Eddington escribió en la revista *Nature* que la noción del principio del mundo era "repugnante" (¡el mundo debía ser eterno!).

En enero de 1933 Einstein y Lemaitre se encontraron en un congreso en California. Después de haber oído la exposición del belga, Einstein se levantó, aplaudió y dijo: "Ésta es la explicación más hermosa y satisfactoria que haya oído jamás sobre la creación".

Según la idea de Lemaitre, "el mundo habría empezado con un *quantum*. Las ideas de espacio y de tiempo no tendrían ningún sentido al principio; ellas empezarían a tener significado cuando el *quantum* original se hubiera dividido en un número suficiente de *quanta*."

En la década de 1940-50, Cambridge se transformó en un centro opositor de la teoría del "principio" de Lemaitre, y fue allí donde el astrónomo Fred Hoyle acuñó sarcásticamente el apelativo de "Big Bang". Él hubiera querido ver algún signo, algún remanente de esa explosión primigenia. El signo apareció en 1964, cuando Arno Penzias y Robert Wilson, ante la imposibilidad de eliminar una "radiación de fondo molesta" que entraba por la antena de un radiotelescopio, hallaron justamente eso: una radiación omnidireccional que, después de mucho análisis, fue asignada a un remanente de la explosión inicial, el Big Bang.

Einstein murió en 1955, antes de conocer la existencia de la radiación de fondo. Lemaitre recibió la noticia mientras se recobraba de un ataque cardíaco (murió poco después, en 1966). Solamente Fred Hoyle alcanzó a ver el auge del nombre que había inventado en su juventud.

Intervalo de revisión

Mientras dejamos transcurrir una pausa merecida, convendría recordar cuatro conceptos expuestos precedentemente:

- las teorías físicas que se han elaborado para el estudio del universo (desde el átomo a la galaxia) son la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad;

- las partículas elementales presentadas en este trabajo son: fotón, electrón, quark, gluón y sus asociaciones (protón y neutrón). El número de partículas elementales va camino de la centena, aunque podría ser reducido a la mitad, según los estudios teóricos corrientes. Varias partículas fueron propuestas para explicar diversas interacciones (¿'pelotas de tenis'?) y algunas tienen vidas efímeras (no es el caso del protón, que parece tener una vida media no menor que 10^{32} años);
- hay evidencia del alejamiento de las galaxias (es observable en todas direcciones y lo mismo se vería desde cualquier otro punto del universo);
- se ha detectado una radiación cósmica de fondo que nos llega con la misma intensidad desde todas las direcciones. Las mediciones indican que es una radiación de microondas a la cual corresponde una temperatura absoluta de 2,7 Kelvin.

Espacio curvo y agujeros negros

En el inventario de entidades astronómicas (estrellas, planetas, galaxias, cúmulos, nebulosas, cometas) hay una variedad cuya existencia fue deducida por su influencia de atracción gravitacional: los agujeros negros (denominación propuesta por John Wheeler en 1968). Tienen masa muy grande; tanto que su atracción fenomenal no deja escapar la luz y por eso no pueden ser observados con telescopios. Aquí aparece una sutileza. Sabemos que el fotón tiene masa nula (prácticamente). Entonces, ¿cómo puede experimentar la atracción gravitatoria, que sólo se manifiesta entre cuerpos con masa distinta de cero?

Einstein había explicado la atracción de la gravedad mediante la curvatura que experimenta el espaciotiempo alrededor de una masa ubicada en él.

El símil clásico lo podemos reproducir sobre un colchón de agua, cuya superficie representa un espaciotiempo de dos dimensiones solamente. Colocamos una bocha en su centro; la superficie del colchón se curva alrededor de la bocha formando un pozo central. Si hacemos rodar una bolita lejos de la bocha, seguirá la línea del impulso inicial casi sin desviarse. Pero si la hacemos pasar cerca de la bocha, se acercará a ella y terminará cayendo en el pozo central. Denominamos atracción gravitatoria entre ambos cuerpos a ese efecto; la bolita también deforma la superficie, pero podemos ignorarlo en un primer análisis.

El astrónomo alemán Karl Schwarzschild, quien hacía cálculos de artillería en el frente ruso (1916), le escribió a Einstein más o menos lo siguiente:

“Hice algunos cálculos con tu teoría de la relatividad. Como podrás ver, consideré una estrella perfectamente esférica y fui aumentándole paulatinamente el radio y, consecuentemente, la masa.

Llego a la conclusión de que para cierta relación crítica entre la masa y el radio, la deformación del espaciotiempo es tan grande (quiero decir que se curva tanto), que no hay nada que pueda pasar junto a la estrella sin caérsele adentro. Y cuando digo nada, es nada: ni tan siquiera un rayo de luz, o los fotones, como quieras llamarle.”

A lo cual Einstein respondió más o menos así:

En cuanto recibí tus líneas me puse a calcular y he llegado a la misma conclusión. Si el espaciotiempo se curvara suficientemente, los fotones no podrían 'pasar de largo' al lado del cuerpo que produce esa curvatura. Si se tratara de un cuerpo que emite luz, ni sus propios fotones podrían abandonar su superficie. Estoy redactando una comunicación para la Academia Prusiana, que presentaré en tu nombre.

El 29 de marzo de 1919 hubo un eclipse de sol y se tomaron fotografías de los rayos de luz de una estrella, tangentes al disco solar. Comparando la posición aparente de la estrella con su posición astronómica en el mismo instante, se comprobó que los rayos se habían desviado por la curvatura del espacio debida a la masa del sol.

El tiempo enorme y el tiempo minúsculo

Mirar al cielo es mirar al pasado. La luz que llega desde el sol en este instante es la que emitió su superficie ocho minutos atrás. La luz de la estrella alfa de la constelación Cruz del Sur (la estrella más brillante, ubicada al pie de la cruz) está llegándonos para decirnos cómo era... hace 320 años (el tiempo de viaje); más o menos cuando Fernando Mate de Luna, gobernador de Buenos Aires, fundaba por segunda vez la ciudad de Catamarca.

¿En qué pasado tan remoto están los cuerpos celestes brillantes más lejanos que se han detectado? Respuesta: a unos quince mil millones de años (15×10^9 años). Puesto que todas las configuraciones visibles (nebulosas, galaxias, cúmulos) están alejándose unas de otras, y que lo mismo vería un observador desde una cualquiera de ellas, ¿dónde estaban hace quince mil millones de años? Respuesta: se supone que estábamos todos juntos, usted, yo, la casa, el auto, los dinosaurios: en el quantum de Lemaitre. Porque todo habría empezado con el Big Bang, incluyendo el espacio y el tiempo.

Saber qué sucedía antes del principio que hoy denominamos Big Bang (BB), preocupó a San Agustín en el siglo VI. El tiempo, según él, había empezado con el origen cósmico. No hubo un "antes", ni un océano de tiempo sin fin para que un dios, o un proceso físico, se desgastara en una preparación infinita. Hay científicos que sostienen actualmente lo mismo.

La teoría sobre el origen del universo no ha podido ser completada satisfactoriamente, porque al ir "corriendo la película hacia atrás", comprimiendo al universo hasta encajarlo en el "punto singular" cuya explosión constituye el Big Bang, hay que considerar distancias más pequeñas que las atómicas, donde rigen las leyes de la mecánica cuántica. Hasta antes de ese punto singular se puede emplear la teoría de la relatividad para hacer los cálculos. Pero en lo que sería la zona de "empalme" entre la relatividad y la cuántica, la mayoría de los teóricos se debate en la incertidumbre.

Trataré de resumir qué se sabe sobre el desarrollo del universo que va desde un lapso muy pequeño después del Big Bang (DBB), hasta los quince mil millones de años DBB, en cuya punta del presente se insertan nuestras vidas.

En líneas muy generales, entre los 300.000 y los 500.000 años DBB ya existían las estrellas y había galaxias, unas formadas y otras en formación. La mayoría de las partículas con carga eléctrica no andaba vagabundeando por ahí; se hallaban estructuradas dentro de átomos eléctricamente neutros. Por eso los fotones de la radiación pudieron viajar sin demasiadas colisiones perturbadoras: el universo se volvió transparente y es cuando se puede decir que "...; la luz se hizo !", aunque nuestro propio sol fue a nacer unos miles de millones de años más adelante.

La historia del universo que la física nos presenta (por ahora) no empieza a la distancia cero del punto origen, en el tiempo cero. La distancia infinitesimal desde la cual se empieza a describir cómo crece el punto inicial se denomina "longitud de Planck". Ninguna distancia menor que ésta tiene sentido para la física actual.

El tiempo infinitesimal correspondiente es el denominado "tiempo de Planck", y es el que tarda un cuanto de luz (fotón) para atravesar la longitud de Planck. Ningún lapso menor tiene algún sentido para la física actual. Este tiempo es como el "cuanto de tiempo".

Hacia adentro de esa especie de frontera hecha de espacio y de tiempo mínimos, los análisis son muy especulativos.

Los cambios físicos más importantes tuvieron lugar en menos de tres minutos DBB. Como es necesario referirse a tiempos muy pequeños, inferiores al milisegundo, y la notación en potencias de diez suele desalentar la lectura, he incluido una tabla en el Apéndice IV, donde se indican tiempos, temperaturas y sucesos principales durante la evolución del universo.

El método de estudio seguido consiste en invertir la evolución partiendo de la dimensión, densidad y temperatura actuales e ir retrocediendo en el tiempo. De modo que se empieza en 15.000 millones de años y se llega hasta el tiempo de Planck.

De la misma manera que al inflar un neumático de bicicleta se advierte en el inflador el calentamiento del aire comprimido, la temperatura del universo va aumentando con la compresión partir de 2,7 Kelvin (grados absolutos, cuyo cero corresponde a -273°C), que es la temperatura de la radiación de fondo en el presente.

A medida que se hace involucionar al universo, se comprime el espaciotiempo de Einstein (para nosotros se comprimen las dimensiones del espacio y se cuenta el tiempo hacia atrás), aumenta la densidad (cantidad de materia por unidad de volumen) y también se eleva la temperatura.

Los cálculos han sido complementados con observaciones recientes sobre cómo evolucionan algunas regiones del universo que todavía están en etapas muy anteriores a la nuestra. Por ejemplo, se dispone de fotografías obtenidas a través de las “ventanas transparentes” que existen en la Nebulosa de Orión, ya mencionada, y que la muestran como una especie de Fragua de Vulcano donde se forman (¿forjan?) estrellas y galaxias. Para quienes desean obtener una vista panorámica de los tiempos, temperaturas y sucesos de la evolución del Universo desde el Big Bang, se han preparado tablas como la del Apéndice IV, ya mencionada.

Desde los 3 minutos DBB, retrocediendo hacia el tiempo de Planck, pasa de todo. A 0,1 segundo DBB, la temperatura ha subido a 10.000 millones de grados (K o $^{\circ}\text{C}$, como prefiera). Las fuerzas pierden identidad; sólo la gravedad es reconocible. Los quarks, que estaban pegados con gluones, se sueltan. Es como una sopa donde la materia se ha recocado y dado lugar a un caldo espeso de radiación.

Al llegar al tiempo de Planck (10^{-43} segundos DBB), la temperatura es de un trillón de trillones (10^{32}) de grados. Éste es el límite cuántico de la teoría clásica de la relatividad general. Las cuatro fuerzas conocidas pueden estar reducidas a una sola.

Recursos extremos: las cuerdas

Es difícil que la mente inquieta de los astrofísicos acepte la imposibilidad absoluta de “mirar” adentro mismo de la singularidad, que se quede más acá de la distancia de Planck y del tiempo de Planck. Los desvela la conclusión de que ya antes de esos límites, las fuerzas diferenciadas (gravedad, fuerte, débil y electromagnética) van perdiendo sus individualidades.

Quienes se adentran en la física no cesan de preguntarse por qué, cuando dos objetos interaccionan, hay que tratar esa interacción con la teoría de Maxwell si están electrificados o magnetizados, o con la de Newton-Einstein si tienen masa, o con la teoría cuántica de Planck, Bohr, Born y varios más, si se trata de partículas nucleares. ¿Por qué no hay una teoría unificada, con una sola fuerza, aquí, todos los días, como parecen indicar los estudios a medida que nos vamos acercando al “origen de todo”, al punto inicial?

Desde Einstein hacia delante no han cesado los intentos de unificación de las fuerzas. Si ya la relatividad y la mecánica cuántica requieren una estructura matemática complicada, el intento de hallar una Teoría del Todo (TOE, Theory of Everything) está requiriendo el desarrollo de una matemática nueva que considere no sólo las cuatro dimensiones del espaciotiempo, sino algunas más. Un intento, la Teoría de las Cuerdas (String Theory) requiere 10 dimensiones para ocuparse de lo que sucede dentro de la minúscula dimensión de Planck (10^{-35} metro) que rodea al "punto inicial". Seis de esas dimensiones se "enroscan", colapsan enseguida después del Big Bang (DBB). Nuestro compatriota Juan Maldacena (físico formado en Bariloche) aparece en las noticias por los desarrollos que viene realizando en la teoría de las cuerdas.

Esta teoría tiene una belleza intrínseca que es innegable. Ella supone que en el universo no hay otra cosa que unos entes filamentosos, las cuerdas, que pueden hallarse formando rizos o como filamentos extendidos. Las cuerdas –sometidas a unas tensiones realmente enormes– están vibrando como las cuerdas de una guitarra o de un violín. Según la forma (rizo o extensión), las cuerdas pueden vibrar con frecuencias características; y según en qué frecuencia vibren, dan lugar a una partícula, sea un electrón, un quark, un fotón, etc. ¿Y las interacciones? Como ellas pueden ser pensadas mediante el intercambio de partículas (vimos, como ejemplo, la interacción de dos electrones por medio del intercambio de un fotón que representa la fuerza ejercida por el campo eléctrico), entonces también la partícula de interacción sería una cuerda vibrante. Parece una maravilla. Todas las partículas y sus fuerzas de interacción, reemplazadas por un solo ente: la cuerda, con una configuración variable, cerrada o abierta, vibrando con una frecuencia característica. Pero las dificultades que son echadas por la puerta suelen reaparecer por la ventana. El tamaño de las cuerdas resulta "imposible de digerir" para muchos críticos de la teoría. Si la tierra tiene una dimensión que es cien trillonésimos la del universo (10^{-20}), y el núcleo atómico es como 10^{-20} del diámetro terrestre, resulta que, a su vez, la dimensión típica de una cuerda es 10^{-20} del diámetro del núcleo atómico. ¡Inimaginable!

Hasta el presente no hay posibilidades de realizar experimentos que den soporte a la teoría de las cuerdas. Sin embargo, los teóricos trabajan tenazmente para llegar a alguna propuesta que pueda ser corroborada mediante las grandes máquinas aceleradoras de partículas que pueden reproducir, por fugaces instantes, fragmentos infinitesimales del universo en su etapa primigenia.

Una cuestión de principio

¿Para qué nos sirven los conocimientos sobre el universo, desde los átomos hasta el Big Bang? Las respuestas pueden ser muy diversas. Como parte del universo, me interesa cuanto me rodea, me interesa mi propia estructura, desde mis huesos hasta mi mente y mi conciencia. Me interesa saber quién soy, por qué estoy aquí, por qué hay algo en lugar de nada.

La información científica es parte de la catarata de noticias diarias. Hace poco oí por radio la lectura de un artículo sobre los agujeros negros y la curvatura del espacio. Creo que es auspicioso transmitir aunque sea esbozos de cultura científica por todos los medios.

¿Por qué todo es como es?

La versión judeo-cristiana del principio de todo es la del Génesis, libro escrito en el tiempo del Rey Salomón (siglo X a.C.). El autor es un escritor desconocido, al que se acostumbra llamar *el Yavista*. Para la primera parte utilizó la literatura de los Babilonios, quienes tenían desde siglos atrás poemas referentes a la Primera Pareja, el Paraíso Perdido, el Diluvio, que fueron empleados parcialmente. Mucho más tarde, en el siglo V a.C., cuando los judíos volvieron del Destierro babilónico, sus sacerdotes añadieron muchos párra-

fos al Génesis; y fueron ellos quienes compusieron el poema de la *creación en siete días*, principio del libro y de toda la Biblia (6).

(6)
Biblia latinoamericana, Ed. Paulina, pág. 38.

Sin restarle belleza al poema, nos hallamos en condiciones de reflexionar más profundamente sobre “el principio del cielo y la tierra”.

No obstante haber llegado a las ideas actuales sobre el universo circundante –y sobre nosotros mismos– con el apoyo de teorías que siguen evolucionando, aparece un orden subyacente que gobierna la evolución de lo real. La realidad entera es descrita numéricamente por unas pocas constantes cosmológicas: la de gravitación universal, la velocidad de la luz, el cero absoluto de temperatura, la constante de Planck, la carga del electrón ... no llegan a quince (Apéndice I). Si se modificara una cualquiera de ellas, no habría aparecido el universo como lo conocemos.

Si la **densidad inicial** del universo se hubiese apartado ligeramente del valor crítico que tenía a partir de 10^{-35} segundos DBB, el universo no se habría constituido.

El uno por ciento de aumento de la intensidad de la **fuerza fuerte** hubiese impedido que quedaran libres los núcleos de hidrógeno, los cuales se habrían combinado prontamente con otros protones y neutrones para formar núcleos pesados. Al no existir hidrógeno, tampoco habría agua (¡el 80% de nuestro cuerpo!). Por el contrario, la disminución leve de la fuerza fuerte haría imposible la fusión de los núcleos de hidrógeno. Sin fusión nuclear no habría soles, ni fuentes de energía, ni vida.

En cuanto a la **fuerza electromagnética**, un pequeño aumento daría por resultado un mayor atrapamiento del electrón alrededor del núcleo, y las reacciones químicas que resultan de la transferencia de los electrones hacia otros átomos no serían posibles. Muchos elementos no podrían formarse. No aparecerían las moléculas de ADN.

Con una **fuerza de gravedad** algo más débil durante la formación del universo, las nubes de hidrógeno primitivas no habrían llegado a condensarse hasta llegar a la compresión necesaria para iniciar la fusión nuclear; las estrellas no se habrían encendido. En cambio, una fuerza de gravedad más intensa hubiera conducido a la aceleración de las reacciones nucleares; las estrellas hubieran sido –para la evolución– como efímeras bengalas: demasiado breves para permitir el desarrollo de la vida.

Parece demasiada casualidad que todos estos factores mencionados –constantes universales y fuerzas– se hallaran ajustados para permitir la evolución de los seres vivos, algunos con la conciencia de su existencia propia y la inteligencia para preguntarse sobre su origen.

Éstos son los conocimientos principales adquiridos en el siglo XX acerca del universo. Ellos abarcan desde los constituyentes básicos del átomo, hasta el esbozo de un origen plausible, al que se llega mediante el empleo retrospectivo de teorías físicas modernas. Me queda la sensación de haber presentado una comida, después de la cual habrá seguramente un discurso corto para todos los participantes. Habría que agregarle un “postre siglo XXI”. El objeto de la descripción siguiente no es abrumar al lector con particularidades de la física actual, sino establecer otro punto de apoyo para razonar sobre el universo y sus enigmas (de todos modos, se puede omitir el postre).

Correlaciones inexplicables (el postre)

La base de los experimentos descriptos a continuación puede ser hallada en uno de los famosos experimentos mentales de Einstein, quien lo formuló hacia 1935, juntamente con sus colegas Rosen y Podolsky. Él mismo dijo: “No creo en la acción fantasmagórica de las partículas, debe haber algo extraño en la mecánica cuántica que conduce a esos resultados”.

Una partícula subatómica (p. ej. un electrón) puede girar sobre sí misma, sea hacia la derecha o hacia la izquierda. Es lo que se denomina spin (o espín) en las publicaciones científicas. Si la partícula se halla desvinculada, puede estar como en el limbo, girando a la derecha y a la izquierda *al mismo tiempo*. Sólo cuando es medida u observada elige una dirección de giro y la mantiene. Esta extraña condición, comprobada experimentalmente, *se puede transmitir instantáneamente entre dos partículas que hayan sido generadas juntas*. Se habla entonces de *partículas enredadas*.

Siguiendo la idea de Mark Staffman (Universidad de Wisconsin, EE.UU.), recorro a un ejemplo sencillo a modo de introducción:

Alguien toma una moneda y la divide en dos con un corte que separa la "cara" de la "ceca". Luego, sin testigos, coloca las mitades en sendos sobres idénticos y nos entrega uno a mí y otro a usted, que se aleja con su sobre. Una hora después abro el mío y advierto que mi media moneda es "cara". Lógicamente, no necesito hablarle para saber que cuando abra su sobre, esté donde estuviere, usted hallará la mitad que tiene "ceca".

Pero hay una diferencia entre las dos caras de una moneda y dos partículas cuánticas como dos electrones "enredados". Antes de mirar uno de ellos no es ni "cara" ni "ceca", sino ambas cosas a la vez. Al mirarlo, se materializa en una de esas condiciones; la curiosidad del observador es la que cambia su condición. Y si él ve una partícula como "cara", la otra partícula del par enredado se verá, necesariamente, como "ceca".

Para precisar la idea con un lenguaje más propio de la física, se puede hacer referencia al espín, interpretado como vector rotación del electrón. Dos electrones enganchados deben tener espines opuestos: uno para arriba (up, indica rotación derecha) y otro hacia abajo (down, indica rotación izquierda), aunque en cada instante, como se dijo, cada uno puede tenerlo up o down. La cuestión es que no pueden estar *simultáneamente ambos up o down*.

Es verdaderamente muy extraña esta propiedad de las partículas enredadas. Aun cuando ambas se hallaren distantes, el cambio de una afectaría a la otra.

La influencia se transmite instantáneamente. A este resultado se lo denomina *teleportación*. Es importante remarcar que *no hay traslado de partículas, sino de un estado cuántico*, en este caso el spin.

En junio de 2003, Markus Aspelmeyer y sus colegas de la Universidad de Viena (Austria) lograron mantener enredadas dos partículas, dos fotones en este caso, a través de una distancia de 600 metros, entre dos edificios ubicados en sendos márgenes del río Danubio. El experimento se realizó de noche, con viento de 50 km/h. En lugar del spin de los electrones, el estado cuántico observado fue la polarización de los fotones (el plano de vibración de la onda correspondiente), que puede ser horizontal o vertical (no se sabe hasta que se observa). Al cambiar el estado de uno de ellos, cambió instantáneamente el del otro.

Cuando logremos reponernos de la sorpresa, quizá nos interese leer sobre las posibles aplicaciones de la teleportación a la criptografía y a las comunicaciones en general.

Entretanto, podemos desvelarnos pensando en dos fotones enredados, uno en cada extremo del diámetro de la galaxia, como dos enamorados que se amaran más allá del tiempo y la distancia.

Universos múltiples, otros mundos... ¿Habrá correlaciones posibles?

Cuando se piensa en los otros mundos propuestos por la física, subyace la idea de la posible conexión entre ellos y también con el nuestro. Querríamos que el barrilete de la ima-

ginación (el imaginario puro) pudiera permanecer vinculado a la tierra por un hilo de realidad. Aunque lo hubiésemos concebido suelto entre las nubes, desearíamos que existiera algo tenue como el ritmo de la respiración o el latido del pulso o el zumbido de un insecto volador que se me aproximara a curiosar, para que la realidad asomara. Sin el hilo, el barrilete sería una ilusión deshojada. La idea de la conexión, del enredo, es encantadora. Cuando aparecen puntos de corte definitivos nos sentimos frustrados.

Lord Carnavon, al ingresar al recinto donde el cuerpo de Tutankamón había venido eludiendo la corrupción final por milenios, se halló frente a los tres sarcófagos estatuarios sucesivos, encerrados como cajas chinas. Ellos mostraban al faraón con el báculo y el látigo –los símbolos del poder– aferrados contra el pecho, en una disputa vana por retener después del tránsito lo que fue la significación de su vida. Y vio también en el muro la pintura de Horus. Quizás imaginó que del otro lado del muro habría otro mundo donde el dios con cabeza de chacal –el gran hurgador de tumbas– podría estar pesando vísceras en una balanza de patillos.



El intento por hallar otros mundos y conectarlos ha seguido acumulando siglos. El famoso Harry Houdini, cuya caracterización como mago, escapista, mentalista es tan difícil como sus pruebas, vivió obsesionado por obtener alguna señal del “más allá” desde la muerte de su madre, con quien se había sentido siempre muy unido en espíritu. Houdini se prestó a muchas pruebas frente a quienes decían ser capaces de establecer contacto con los espíritus de los muertos pero –para su decepción profunda– solamente logró desenmascarar a impostores.

La física moderna, en su relación simbiótica con las matemáticas, viene proponiendo la existencia de otros espacios para explicar algunos hechos observados que requieren interpretaciones cada vez más complejas. El matemático Minkowski alcanzó a concebir que los trabajos de su ex alumno Einstein y los de Lorentz se podrían comprender mejor en un espacio tiempo continuo, obtenido mediante el acoplamiento del tiempo al espacio común, en la forma de una cuarta dimensión. Esto permitió el desarrollo de la teoría de la relatividad. El hilo que conecta a esa teoría con la realidad se ha hecho visible con el advenimiento de los relojes atómicos –extraordinariamente precisos– y de los vehículos espaciales de muy alta velocidad. Se trata del atraso de los relojes y del acortamiento de dimensiones, que se hallan explicados en libros especializados y hasta en algunos artículos de divulgación.

No menos sorprendente resulta la tesis de Hugo Everett III ⁽⁷⁾ sobre los universos múltiples, que intento resumir en pocas palabras.

(7) <http://everythingforever.com/everett.ht>

Se parte de que cada partícula del dominio subatómico puede ser descripta como una onda (recordar la dualidad partícula-onda). La función de onda Ψ (psi) correspondiente a cada partícula permite calcular la probabilidad de hallarla en cada punto del espacio, con cierta energía. Everett considera que si se aplica esta formulación simultáneamente al conjunto de resultados posibles de un suceso cuántico (con una función Ψ para cada uno), el universo no está limitado a la realidad que observamos. Todos los otros mundos posibles se abren, uno para cada suceso en el que intervengan las partículas. De este modo, según él, existen muchos otros mundos o ramas del tiempo tan reales como nuestro mundo y nuestro tiempo.

En otras palabras: tengo bolillas negras, blancas y rojas mezcladas dentro de una caja cerrada. Llamo suceso cuántico (evento) a la agitación de la caja. Al cabo de cada agitación, destapo la caja y observo la distribución de las bolillas. Una vez las hallo al azar: universo número uno. Otra vez, hallo las blancas más agrupadas hacia la izquierda y las rojas reunidas hacia el centro: universo número dos. Y así, sucesivamente, voy produciendo

eventos cuánticos (agitaciones de la caja) y observando los resultados (universos). Lo que Everett propone es que desde el principio todas las distribuciones posibles existen. Sólo que al destapar la caja una sola es evidente, y las demás están en otros espacios. Otro ejemplo: tengo ante mí un vaso de agua fresca, y dos alternativas: beberlo o no beberlo. Si lo bebo, la persona que no lo bebió, exactamente igual a mí, pasa a otro universo. Soy yo mismo, viviendo la vida de quien no bebió. Pero yo, el primero, el que sí bebió, no llego a saberlo, ni tengo manera alguna de comunicarme con el otro (el que no bebió) porque él ya está viviendo una vida separada y por su cuenta.

Dicho de otro modo: según la teoría de los universos múltiples, *todo cuanto tiene alguna probabilidad de suceder en cada instante, sucede en algún universo.*

Tiempo para pensar

"Cosas **veredes...**" habría dicho Don Quijote a Sancho.

Por lo pronto, en esta revisión incompleta y fugaz, nosotros **hemos visto** que el espacio tridimensional por donde dimos nuestros primeros pasos se ha convertido en el espacio-tiempo de cuatro dimensiones; y ahora nos hallamos prontos para aceptar el espacio de una decena de dimensiones donde se desarrolla la teoría de las cuerdas.

También vimos un vacío potente del que pueden salir brotes de energía que se transforman en partículas, que obran en interacciones con otras partículas y luego se desvanecen al instante. Y electrones que, frente a un par de ranuras, saben qué hacer cuando están abiertas de a una, o cuando están abiertas simultáneamente las dos. Y partículas (fotones, electrones) que son creadas juntas, con estados cuánticos vinculados (polarización, spin), y que se comunican sin demora cuando una es forzada a cambiar de estado. Además, hemos considerado los factores (energía, fuerzas, cargas, y sus valores) que influyeron para que la evolución de los seres vivos, y de la nuestra en particular, haya llegado a producir seres conscientes. ¿Sería muy aventurado pensar, mediante esa conciencia obtenida, en un orden infuso, en una verdad última sobre nuestro origen y nuestro destino? O bien, ¿podría justificarse todo esto por medio de una evolución casual?

Aunque tal vez provisionarias, tenemos algunas respuestas de la ciencia sobre las preguntas iniciales: ¿cómo surgió el universo?, ¿qué es lo real?, ¿tiene sentido nuestra noción del mundo material?, ¿por qué hay **algo** en vez de **nada**? Y cuando la matemática nos desborda, llegamos a hacer un acto de fe, como cuando aceptamos y usamos la mecánica cuántica sin haberla entendido completamente.

Sin embargo, no hacemos lo mismo frente a sucesos que, de todos modos, han venido influyendo sobre nuestra civilización. Sucesos que, para algunos, están relacionados con el fin de cada hombre, de cada mujer. Me refiero a aquéllos narrados en los Evangelios. Por ejemplo:

- Los dos discípulos en la tumba vacía: "Aún no habían comprendido la Escritura, según la cual *Jesús debía resucitar de entre los muertos*". (Juan, 20:10)
- "La tarde de ese mismo día, el primero de la semana, los discípulos estaban a *puertas cerradas* [...]. *Jesús se hizo presente allí, de pie en medio de ellos*." (Juan, 20:19)
- En Emaús: "Una vez que estuvo en la mesa con ellos, tomó el pan, lo bendijo, lo partió y se los dio. En ese momento se les abrieron los ojos y lo reconocieron, *pero ya había desaparecido*". (Lucas, 24:30-31)
- En Betania: "Y mientras los bendecía, se alejó de ellos y *fue llevado al cielo*". (Lucas, 24:51)

Universos múltiples, espacios de dimensiones inusuales, partículas que pueden ser ondas; partículas que pueden “decidir” frente a opciones de pasaje por ranuras; partículas que permanecen vinculadas y se comunican *instantáneamente* aunque estén muy alejadas... ¿Y si alguien estudiara la “física de los milagros”? ¿Se podría llegar también a la fe religiosa por ese camino? ¿Se igualarían en ella el investigador escéptico y el simple creyente? En la actualidad, el Sudario de Turín se mantiene como un campo propicio para intentarlo.

Sería bueno que siguiéramos pensando en estas cosas y también acerca de los sucesos aparentemente más comunes: que lo hiciéramos cada vez que nazca un niño o aspiremos el perfume de una rosa bajo el cielo estrellado... ■

APÉNDICE I

Expresión de múltiplos y submúltiplos de diez por medio de potencias, y otras consideraciones numéricas.

a) Múltiplos de diez

Se ha convenido que cualquier número elevado a la potencia uno sea igual a sí mismo. De modo que $10^1 = 10$; (el exponente “uno” se sobreentiende en todos los casos, no se lo escribe)

- $10 \times 10 = 100$, se representa por 10 elevado a la potencia dos, o sea 10^2
- $10 \times 10 \times 10 = 1000 = 10^3$

-
- $1.000.000 = 10^6$
 - Un billón (un millón de millones) = $10^6 \times 10^6 = 10^{12}$
 - Un trillón (un millón de billones) = 10^{18}

Receta: Para escribir como potencia de diez cualquier múltiplo de ese número, se cuentan los ceros a la derecha del número uno (1) y se escribe el 10 elevado a la potencia igual a ese número de ceros.

Un último ejemplo: $100.000 = 10^5$; (hay cinco ceros a la derecha del 1)

NOTA: En los EE.UU. el billón son mil millones, o sea 10^9 (en vez de 10^{12} , como en el sistema internacional de escritura numérica).

b) Submúltiplos (números menores que 10)

Un décimo = $\frac{1}{10} = 0,1$, se representa por 10^{-1}

Un milésimo = $\frac{1}{1.000} = 0,001 = 10^{-3}$

Un millonésimo = $\frac{1}{1.000.000} = 0,000001 = 10^{-6}$

En estos ejemplos, ¿qué lugares ocupa la primera cifra significativa (el uno) a la derecha de la coma decimal?

En el décimo, el primer lugar; en el milésimo, el tercer lugar; en el millonésimo, el sexto lugar. ¿Y en el diezmilésimo = 0,0001? El cuarto lugar, ¿no es así? De modo que un diezmilésimo lo escribimos como 10^{-4} de acuerdo con la siguiente...

Bibliografía

- Paul Davies, Dios y la nueva física, Ed. Salvat (1986).
- Jean Guilton, Igor y Grichka Bogdanov, Dios y la ciencia, Emecé (1992).
- Brian Geene, The elegant universe, Ed. Vintage (Random House) N. York, (2000).
- James S. Trefil, El momento de la creación, Ed. Salvat (1986).
- Steven Weinberg, Los tres primeros minutos del Universo, Ed. Alianza (1980).
- Internet, Varias horas, varios días. varias semanas, (2004).
- A. J. Funes, “Atraverse con la Mecánica Cuántica”, Boletín del Centro Naval N° 809 (2004)

Agradecimientos

A los doctores Jorge Testoni (físico) y Leopoldo Becka (químico) por sus observaciones oportunas.
A la Sra. Susana Daprà por su ayuda en la edición.

Receta. Para escribir como potencia de diez cualquier submúltiplo de ese número, se cuenta el número de lugares a la derecha de la coma decimal, incluyendo a la primera cifra significativa (el uno), y ese número, **precedido del signo menos**, se escribe como exponente de 10.

Último ejemplo:

$0,00000000000001 = 10^{-14}$ (13 ceros a la derecha de la coma, más el lugar del 1).

c) Algunos datos numéricos de interés en cosmología

- Se llama Unidad Astronómica (U.A.) a la distancia promedio Tierra-Sol, que es:
1 U.A. = 149.597.870,61 km $\approx 15 \times 10^7$ km.
- Velocidad de la luz en el vacío = $c = 299.792.458$ m/s $\approx 3 \times 10^8$ m/s.
- 1 año luz (distancia que recorre la luz en un año) = 63.239,7 Unidades Astronómicas = 9.460.530.000.000 km (nueve billones, cuatrocientos sesenta mil quinientos treinta millones de km) $\approx 9,46 \times 10^{12}$ km $\approx 10^{13}$ km.

d) Algunas "constantes" de la física

- Aceleración de la gravedad, $g = 9,80$ m/s²
- Masa de la Tierra, $m_T = 5,9737 \times 10^{24}$ kg $\approx 6 \times 10^{24}$ kg
- Masa del autor, $m_a \approx 69$ kg
- Masa del electrón, $m_e \approx 9 \times 10^{-31}$ kg
- Constante de Planck, $h = 6,6 \times 10^{-34}$ Joule segundo
- Diámetro típico de un átomo ≈ 1 Angström = 10^{-10} metro
- Diámetro típico de un núcleo atómico: entre 10^{-14} y 10^{-15} metro.

APÉNDICE II

Notas características de la Mecánica Cuántica

La Mecánica Cuántica nació con ese nombre a partir de los estudios de Planck. Después de los trabajos de Bohr, Luis de Broglie y Schrödinger, se publicaron muchos textos con el título de Mecánica Ondulatoria. Actualmente, los títulos de los libros más destacados han vuelto a la denominación Mecánica Cuántica (M.C.).

En el texto principal están incluidos los siguientes conceptos:

- 1- La M.C. es aplicable a cualquier partícula de tamaño comparable con el diámetro atómico, que es del orden de 1 Angström (10^{-10} m). En el texto se ha hecho referencia principalmente al electrón por un motivo didáctico.
- 2- Toda vez que el electrón esté confinado en un espacio de dimensión atómica, solamente dispone de niveles discretos de energía para ubicarse. Cualquier cambio de energía acontece por un salto cuántico, ya sea desde un nivel más alto a otro menor (con emisión de un cuanto de radiación de valor $E = h \cdot \nu$), o desde un nivel inferior de energía a otro superior (con absorción de un cuanto de radiación).
(h = constante de Planck; ν = frecuencia).
- 3- A cualquier partícula –atómica o macroscópica– animada de un impulso $p = m \cdot v$, se le puede asociar una longitud de onda $\lambda = h/p$. Las partículas atómicas (como los electrones) se mueven con velocidades que son fracciones de la velocidad de la luz. A un tercio de esa velocidad la longitud de onda del electrón llega a ser del orden de 10^{-1} Angström. Una longitud de onda típica de la luz visible es de 5000 Angström.

- 4- Los electrones, a su paso por orificios o ranuras de dimensión comparable con su longitud de onda, se comportan como ondas o como partículas, según fuere el instrumental empleado para efectuar la observación. El comportamiento ondulatorio produce fenómenos de interferencia como los observados al emplear la radiación electromagnética (e.g. luz). En el efecto fotoeléctrico, los electrones emitidos se comportan esencialmente como partículas (ver también el Apéndice III).
- 5- A cada partícula se le puede asociar una función de onda Ψ (psi) cuya característica principal es que el cuadrado de su módulo representa la probabilidad de hallar a la partícula en un espacio dado. Mediante una ecuación característica (ecuación de Schrödinger), las funciones de onda pueden ser calculadas “como por receta” y los resultados permiten hallar los niveles de energía permitidos de las partículas confinadas. Las partículas libres no tienen niveles discretos de energía.
- 6- Hay variables cuánticas que, tomadas de a pares (e.g. coordenada e impulso o energía y tiempo), cumplen con una relación de incertidumbre descubierta por Heisenberg. Esa relación implica que no pueden conocerse exactamente, al mismo tiempo, los valores de ambas variables. El aumento de la precisión en la medición de una de ellas, “borronea” el valor de la otra, sin que esto esté relacionado de ningún modo con algún error en la medición. La medición altera el estado del sistema observado. Medir implica perturbar.

APÉNDICE III

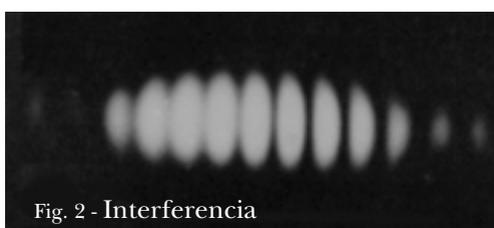
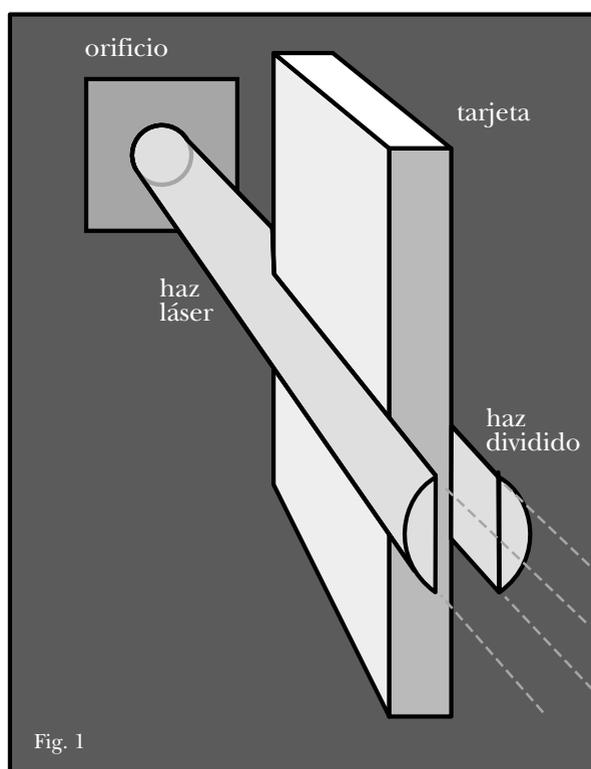
Experimentos de difracción

1- Experimento de la “doble ranura” realizado con luz

El 24 de noviembre de 1803 el señor Thomas Young presentó ante la Sociedad Real de Londres este experimento para demostrar que la luz estaba compuesta por ondas, en contraposición a lo propuesto por Newton, quien decía que la luz estaba constituida por corpúsculos que viajaban en línea recta sin “desparramarse”. Young no utilizó dos ranuras, sino que consiguió crear dos haces de luz por el simple expediente de dividir en dos uno solo con una tarjeta, como se muestra en la Fig. 1. Con la colaboración de un ayudante, Young utilizó un rayo de luz solar, dirigido por medio de un espejo. De ese modo obtuvo franjas de interferencia como las mostradas en la Fig. 2.

En la actualidad se emplea un haz de láser (luz de un solo color). Además de ser más cómodo, se eliminan algunos efectos secundarios derivados de la luz solar, que es una mezcla de ondas de distinta frecuencia (como se puede apreciar por los colores del arco iris). Según las palabras de Young, “ni el más prejuicioso podrá negar que las franjas son producidas por la interferencia de dos porciones de la luz”.

<http://www.cavendishscience.org/phys/tyoung/tyoung.htm>,
fuente de las Figs. 1 y 2



2- Experimento de la "doble ranura" realizado con electrones

Como se ha dicho en el texto principal, una de las realizaciones más ingeniosas de este experimento fue realizada hace varios años en el laboratorio de investigación de Hitachi Co. en Japón. En la Fig. 3 se muestra el arreglo experimental.

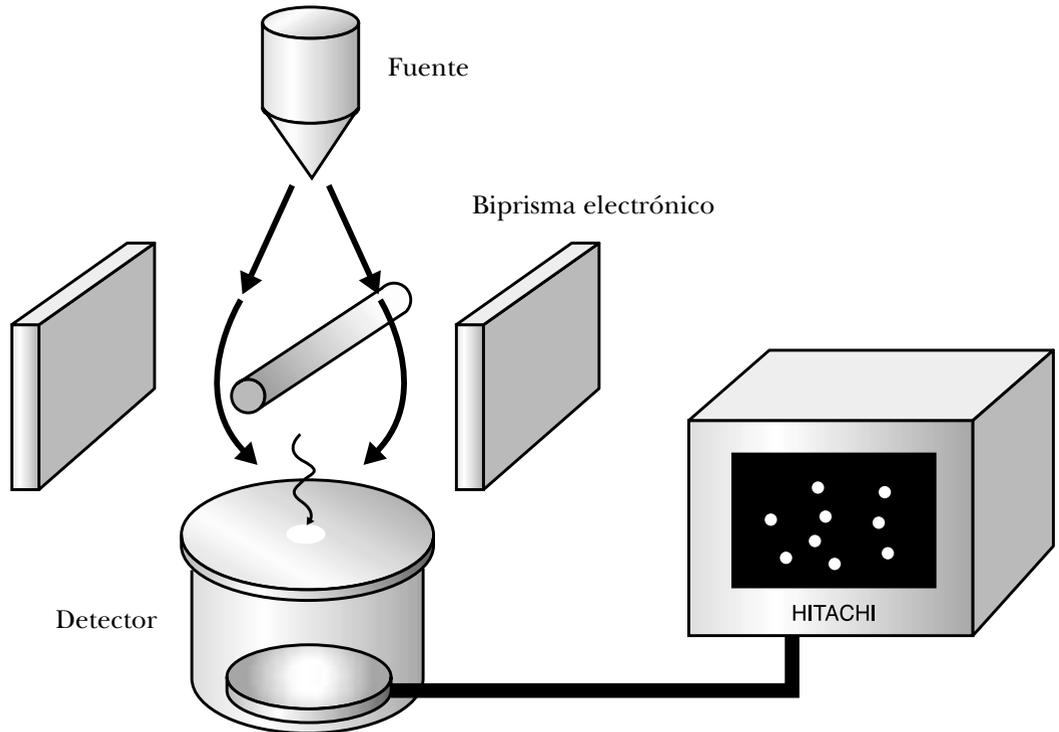


Fig. 3 - La difracción de electrones por dos "ranuras".

Con gran ingenio, los japoneses colocaron un hilo de un micrón de diámetro, bañado en oro, en el lugar de la tarjeta Young. De este modo crearon la condición de las dos ranuras. Cada electrón tiene dos opciones para "decidir" por dónde pasar.

El biprisma electrónico sustituye a cualquier dispositivo de dos ranuras. Todo el conjunto está montado dentro de un microscopio electrónico, en el alto vacío que caracteriza a esos aparatos.

La fuente emite, de uno en uno, 10 electrones por segundo, que son acelerados hasta 120.000 km/s por un potencial de 50.000 Volts. La imagen obtenida en 30 minutos se muestra en la Fig. 4.

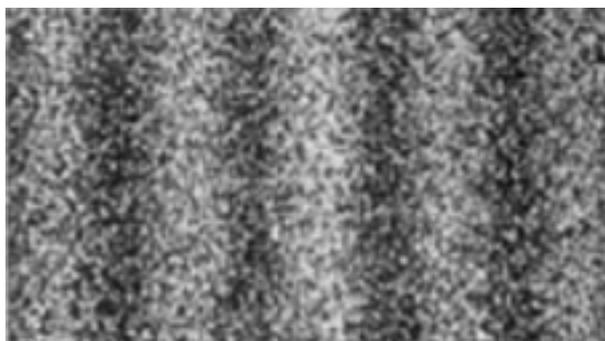


Fig. 4

Figura de difracción obtenida al cabo de 30 minutos con 18.000 electrones.
A good picture is worth one thousand words, ¿no es cierto?

APÉNDICE IV**Cronología desde el Big Bang hasta el presente**

TIEMPO	TEMPERATURA En Kelvin	SUCESO	LONGITUD CARACTERÍSTICA	NOTAS
10 ⁻⁴³ seg. Tiempo de Planck	10 ³²	Dentro de esa esfera la física se desmorona. Fuerzas indiferenciadas.	10 ⁻³⁵ metro Distancia de Planck.	La materia es una sopa de alta densidad, muy caliente.
10 ⁻³⁷ a 10 ⁻³² seg.	10 ²⁹	Era de expansión llamada inflacionaria.	10 ⁻²⁹ metro.	Expansión más importante que la que siguió desde ahí hasta el presente.
10 ⁻³² seg.	10 ²⁷	Transición de fase. La fuerza fuerte se desprende de la electrodébil.	El diámetro aumenta algo así como 10 ³⁰ veces.	Esfera homogénea, sólo campo de fuerzas, sin porción de materia.
10 ⁻³¹ seg.		Se originan los quarks, electrones, fotones, neutrinos y sus antipartículas.		Fluctuaciones de densidad. Irregularidades de todo tipo. Estrías que originarán galaxias, estrellas, planetas.
10 ⁻¹¹ seg.	10 ¹⁵	La fuerza. electrodébil se divide en débil y electromagnética.	2 minutos luz.	Los fotones se diferencian de los quarks, gluones y electrones.
10 ⁻⁵ seg.	10 ¹³ (un millón de veces más caliente que el interior del sol)	Quarks. Se agrupan de a 3 para formar protones y neutrones.		La mayoría de las antipartículas desaparecen.
3 minutos	10 ⁹ (mil millones)	Las partículas elementales se juntan.	55 años luz.	Se forman núcleos de hidrógeno y de helio.
30 minutos	300 millones	Plasma		Agregados de partículas con carga eléctrica.
300.000 a 500.000 años	3.500 3.000	Átomos	Universo transparente.	Los fotones pueden moverse con menos tropiezos.

¡ ... Y LA LUZ SE HIZO !

100 millones de años		Se forman las primeras estrellas en torbellinos de gas.		Hidrógeno y helio se fusionan en elementos más pesados que llegarán a la Tierra miles de millones de años después.
1000 millones de años (10 ⁹)	20	Formación de galaxias.		
7000 millones de años		Formación del Sistema solar.		
8500 millones de años		Aparece la vida en la Tierra.		
1,5 x 10 ¹⁹ años	2,73	Grupos de galaxias.		Hic et Nunc.