

El Universo y la Mente



A mi querida esposa, sin cuya ayuda, aliento y ciega confianza
en mí este libro nunca habría podido ver la luz.

GRACIAS

PRESENTACIÓN

El presente libro ha sido confeccionado mediante la unificación de cuatro trabajos independientes a los que el Autor denomina Libretas, ya que su origen se halla en cuatro libretas manuscritas que responden a los números 40, 41, 42 y 43 de las más de sesenta escritas.

Las cuatro que componen este libro, son:

- Pasado, presente y futuro. Una ilusión llamada ¡TIEMPO!
- La expansión del universo. La expansión de la mente.
- Constantes Universales y otros temas de física.
- Física, astronomía y astrofísica.

Que unidas con un glosario de las palabras empleadas, que por su naturaleza específica podrían causar problemas de comprensión para algunos lectores, es lo que conforma el libro.

Al objeto de que todos puedan hacerse una idea exacta y cabal de su elaboración, en el comienzo de cada capítulo (precisamente nombrados con los títulos de las libretas), se han colocado un par de páginas del trabajo original manuscrito.

El que sean obras independientes determina, en alguna ocasión, que se pueda estar hablando de lo mismo en capítulos diferentes, sin embargo, la manera de escribir del Autor, expone esos posibles hechos iguales, bajo puntos de vista distintos y, por lo tanto, el lector tendrá otra visión de una misma cuestión.

Aquí, tratando de llegar a todos, se emplea un lenguaje sencillo, y cada capítulo, nos transporta a un mundo de sensaciones que lo mismo nos lleva al universo de lo muy pequeño en el ámbito de la Mecánica Cuántica dentro de los átomos, que al espacio–tiempo curvado de Einstein en la cosmología de la Relatividad General, a viajes en los que se ralentiza el tiempo a velocí-

dades relativistas o lo mismo nos podemos transportar a nuestros origines y ver como evolucionó nuestra mente y la conciencia de SER.

Cuestiones muy profundas están tratadas aquí con naturalidad y han sido expuestas en un lenguaje que llegue a todos.

El Autor no se limita a hablarnos de física o cosmología, sino que enlaza estos conocimientos con lo cotidiano, relaciona el universo, sus fuerzas fundamentales, las Constantes de la Naturaleza, el tiempo y el espacio, con la materia viva y la materia “inerte”, de tal manera que busca la relación que subyace en lo más profundo de los secretos del cosmos, relacionado de manera ineludible con la vida inteligente, ya que en los centros nucleares de las estrellas se fabricaron los materiales que hicieron posible que estemos aquí, y, siendo así, el universo se expande al mismo tiempo que se expanden nuestras mentes.

El ansia de adquirir conocimientos, la curiosidad por saber el por qué de las cosas que ocurren a nuestro alrededor, del comportamiento de la naturaleza y las fuerzas que la rigen, y del motor inagotable de nuestra ilimitada imaginación. Todo eso está aquí presente.

Universo-Galaxia-Mente, todo conectado por los hilos invisibles que ni podemos ni sabemos comprender (de momento).

Algunos de los trabajos (manuscritos) del Autor y pendientes de preparación para próximos libros, son:

- El conocimiento del Universo.
- La Física, las cosas que nos rodean.
- Los Misterios de la Tierra.
- Cuestiones de Ciencia.
- ¿Qué entendemos por Big Bang?
- Sobre el Modelo Estándar de la Física ¡ El átomo!

- Anotaciones de ciencia, datos y curiosidades Libreta I y II
- La Materia, ¿Viva? ¿”Inerte”?
- ¿Quién sabe la verdad?
- Rumores del saber.
- Curvatura del Espacio-tiempo.
- Hablando de Física I
- Hablando de Física II
- De cómo se formó la vida.
- La vida en otros mundos.
- Lo que ha pasado, lo que pasa y lo que pasará.
- Personajes de la Ciencia I y II
- Pensando con la pluma en la mano.
- La Casa de la Materia Oscura ¿En la quinta Dimensión?.
- Y otras muchas.

Sobre estas y otras muchas preguntas, nos habla el Autor en la presente obra, y se dan respuestas a las que siempre os habéis planteado y que nunca supisteis contestar.

Cuando me pidieron hacer la presentación y para ello tuve que leer el borrador, me quedé gratamente sorprendido del contenido. Pude ver ante mis ojos como nacen y mueren las estrellas y en qué se convierten cuando dejan de brillar y explotan como supernovas esparciendo por el espacio materiales complejos que formaran otras estrellas y, también, la vida.

La lectura puso en mi mente la imagen de un agujero negro. La singularidad y el horizonte de sucesos, ese punto de no retorno que si algo lo traspasa, desaparece. Allí, en el núcleo de la singularidad, el espacio y el tiempo, dejan de existir.

Me he puesto al día con la Teoría de Cuerdas en su última versión, la de Edgar Witten que se conoce como Teoría M. Todos los anteriores modelos conocidos como súper gravedad, súper simetría, la teoría de cuerdas, la cuerda heterótica, han sido unificados en la Teoría M que, de manera brillante, explica en un universo de más altas dimensiones, cómo se unifica la Mecánica Cuántica y la Relatividad General, creando por fin una teoría cuántica de la gravedad donde todas las fuerzas fundamentales del universo están unidas sin que se produzcan infinitos.

Comentarios muy particulares del Autor nos dejan aspectos personales de su sentir en relación a cuestiones que a todos nos afectan, y lo único que puedo añadir a este comentario es que, después de leer el libro, me he sentido agradecido de ser yo el elegido para presentarlo.

Ricardo José Arribas de Paz
Catedrático de la Universidad de Huelva
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

AGRADECIMIENTOS

La Asociación Cultural Amigos de la Física 137 e/hc, ha propiciado, dentro de sus posibilidades, la divulgación de la física y la cosmología, promoviendo y dando impulso a que, de los trabajos realizados por Emilio Silvera Vázquez, encaminados a ese mismo fin divulgativo, se pueda editar este libro que será repartido de manera gratuita entre los centros docentes, institutos, bibliotecas, y otros centros culturales, además de elegidos amantes de la ciencia.

Desde el primer momento, la idea de divulgar una parte de la cultura científica agració a la Asociación antes mencionada, y sin más dio vía libre a un proyecto que, en definitiva, va dirigido a todo aquel que desee adquirir nuevos conocimientos del mundo que le rodea y del universo al que pertenece.

No se podría cerrar este apartado sin agradecer de manera muy especial, la contribución desinteresada, prestada por Juan Manuel Lozano Contreras que, como experto Ingeniero de los medios informáticos, ha contribuido muy notablemente a que esta obra vea la luz; a Don José Manuel Mora Huerta que, con su cariño y amistad, sus consejos y, por qué no decirlo, con su aliento y por su amor a la física, hizo posible que esto fuese una realidad.

Agradecer a mi hija María sus aportaciones como dibujante de mis gráficos y el asesoramiento prestado en los temas relacionados con la música.

Por último (no por ello menos destacado), al Dr. Ingeniero y Catedrático Don Ricardo Arribas por su amable presentación de la obra que, en realidad, valora más de lo que puedo merecer, llevado sin lugar a dudas por el afecto mutuo que nos une.

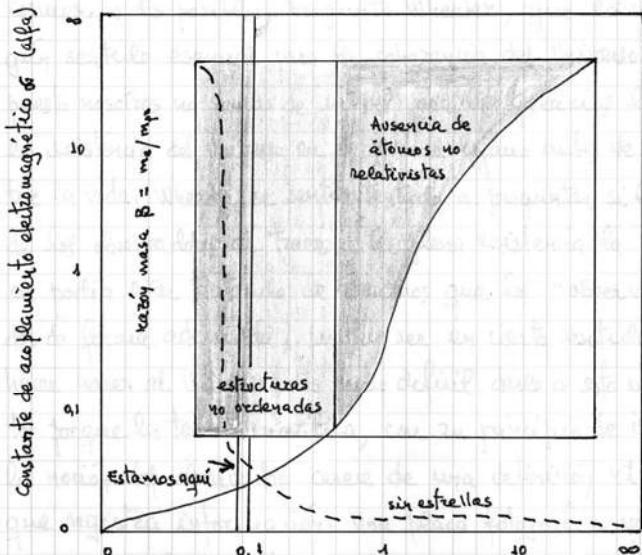
A todos muchas gracias.

El Autor.

ÍNDICE

	Página
<u>Capítulo I:</u> Constantes universales y otros temas de física.	8
La importancia de las Constantes del Universo son aquí explicadas por el Autor de manera clara y sencilla, con todas las implicaciones que conllevan para que el universo sea tal como lo conocemos.	
<u>Capítulo II:</u> Pasado, presente y futuro. Una ilusión llamada Tiempo.	134
Habla de lo que se supone es el Tiempo con interesantes y didácticos comentarios que lo enlazan con el espacio, entropía y con todo el universo mismo.	
<u>Capítulo III:</u> Física, astronomía y astrofísica.	267
Aquí está presente la relatividad de Einstein, se explica cómo la masa y la materia son dos aspectos de la misma cosa, el por qué el tiempo se ralentiza y es relativo, y otras muchas cosas de interés.	
<u>Capítulo IV:</u> La expansión del universo. La expansión de la mente.	393
Aquí se explican cuestiones de profundo calado filosófico y el sentido de la vida, su evolución y de la conciencia, en definitiva, de ser conscientes de SER.	
<u>Capítulo V:</u> Glosario.	502
El Autor ha querido facilitar a los lectores la comprensión de palabras que no pudieran comprender, haciendo una especie de diccionario de ciencia donde encontrará cuanto necesite para esclarecer sus ideas.	

No podrían existir químicos orgánicos, no podrían mantenerse unidos. Si aumentáramos α_p en solo un 4 por 100, aparece un desastre potencial porque ahora puede existir un nuevo núcleo de helio, el helio-2, hecho de 2 protones y ningún neutrón, que permite reacciones nucleares directas y más rápidas que de protón + protón \rightarrow helio-4. Las estrellas agotarían rápidamente su combustible y se hundirían en estados degenerados o en agujeros negros. Por el contrario, si α_p de creviera en un 10 por 100, el núcleo de deuterio dejaría de estar ligado y se bloquearía el camino o los caminos astrotípicos nucleares hacia los elementos biogénicos necesarios para la vida.

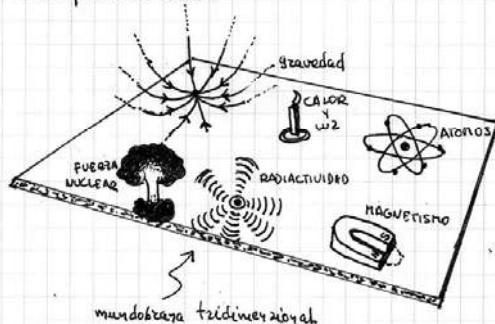


Zona habitable donde la complejidad que sustenta la vida puede existir si se permite que los valores que sustentan B y A varíen indebidamente. En la zona inferior derecha no puede haber estrellas. En la superior derecha estarían ausentes los átomos no relativistas. En la superior izquierda los electrones estarían suficientemente localizados para que existan nucleos que autoreproducción altamente ordenados. Las estrellas "vías de transición" distinguen la región necesaria para que la materia sea estable para evolucionar.

Esto explica el desdoblamiento de los líneas. Al efectuar sus cálculos, Sommerfeld introdujo una "nueva abreviatura" de algunas constantes. Se trataba de $2\pi e^2/hc$, que abrevió con la letra griega alfa (α). No prestad atención a la ecuación. Lo importante es esto: cuando se meten los números conocidos de la carga del electrón, e^- , la constante de Planck, h , y la velocidad de la luz, c , sale $\alpha = 1/137$. Otra vez 137 número puro.

Las constantes fundamentales (constantes universales) están refiriéndose a los parámetros que no cambian a lo largo del Universo. La carga de un electrón, la velocidad de la luz en el espacio vacío, la constante de Planck, la constante gravitacional, la constante eléctrica y magnética se piensa que son todos ejemplos de constantes fundamentales.

hacia mayores dimensiones



Las fuerzas de la naturaleza que gobiernan la electricidad, el magnetismo, la radiactividad y las reacciones nucleares están confinadas a un "mundo brama" tridimensional, mientras que la gravedad actúa en todas las dimensiones y consecuentemente más débil.

CONSTANTES UNIVERSALES

Y OTROS TEMAS DE INTERÉS.

Está muy claro que, nuestro mundo es como es, debido a una serie de parámetros que, poco a poco, hemos ido identificando y hemos denominado Constantes de la Naturaleza. Esta colección de números misteriosos son los culpables, los responsables, de que nuestro universo sea tal como lo conocemos que, a pesar de la concatenación de movimientos caóticamente impredecibles de los átomos y las moléculas, nuestra experiencia es la de un mundo estable y que posee una profunda consistencia y continuidad.

Sí, nosotros también hemos llegado a saber que con el paso del tiempo, aumenta la entropía y las cosas cambian. Sin embargo, algunas cosas no cambian, continúan siempre igual, sin que nada les afecte. Esas, precisamente, son las constantes de la naturaleza que, desde mediados del siglo XIX, comenzó a llamar la atención de físicos como George Johnstone Stoney (1.826 – 1.911, Irlanda).

Parece, según todas las trazas, que el universo, nuestro universo, alberga la vida inteligente porque las constantes de la naturaleza son las que aquí están presentes, cualquier ligera variación en alguna de estas constantes habría impedido que surgiera la vida en el planeta que habitamos. El universo con las constantes ligeramente diferentes habría nacido muerto, no se hubieran formado las estrellas ni se habrían unido los quarks para construir nucleones (protones y neutrones) que formaran los núcleos que al ser rodea-

dos por los electrones construyeron los átomos que se juntaron para formar las moléculas y células que unidas dieron lugar a la materia. Esos universos con las constantes de la naturaleza distintas a las nuestras, estarían privados del potencial y de los elementos necesarios para desarrollar y sostener el tipo de complejidad organizada que nosotros llamamos vida.

Nadie ha sabido responder a la pregunta de si las constantes de la naturaleza son realmente constantes o llegará un momento en que comience su transformación. Hay que tener en cuenta que para nosotros, la escala del tiempo que podríamos considerar muy grande, en la escala de tiempo del universo podría ser ínfima. El universo, por lo que sabemos, tiene 13.500 millones de años. Antes que nosotros, el reinado sobre el planeta correspondía a los dinosaurios, amos y señores durante 150 millones de años, hace ahora de ello 65 millones de años. Mucho después, hace apenas 2 millones de años, aparecieron nuestros antepasados directos que, después de una serie de cambios evolutivos desembocó en lo que somos hoy.

Todo ello pudo suceder como consecuencia de que, 200 millones de años después del Big Bang se formaron las primeras estrellas que, a su vez, dieron lugar a las primeras galaxias.

El material primario del universo fue el hidrógeno, el más sencillo y simple de los elementos que componen la tabla periódica. Hoy día, 13.500 millones de años después, continúa siendo el material más abundante del universo junto al helio.

Para hacer posible el resurgir de la vida, hacían falta materiales mucho más complejos que el hidrógeno; éste era demasiado simple y había que fabricar otros materiales que, como el carbono, el hidrógeno pesado, el nitrógeno, oxígeno, etc, hicieran posible las combinaciones necesarias de materiales diferentes y complejos que, al ser bombardeados por radiación ultravioleta y rayos gammas provenientes del espacio, diera lugar a la primera célula orgánica que sería la semilla de la vida.

¿Quién, entonces, fabricó esos materiales complejos si en el universo no había nadie?

Buena pregunta. Para contestar tengo que exponer aquí algunas características de lo que es una estrella, de cómo se puede formar, como puede ser, y cuál será su destino final. Veamos:

Lo que conocemos como estrella es una bola de gas luminosa que, durante una etapa de su vida, produce energía por la fusión nuclear del hidrógeno en helio. El término estrella, por tanto, no sólo incluye estrellas como el Sol, que están en la actualidad quemando hidrógeno, sino también protoestrellas, aún en formación y no lo suficientemente calientes como para que dicha combustión nuclear haya comenzado, y también varios tipos de objetos más evolucionados como estrellas gigantes y supergigantes, que están quemando otros combustibles nucleares, o las enanas blancas y las estrellas nucleares, que están formadas por combustible nuclear gastado.

Las estrellas se forman a partir de enormes nubes de gas y polvo que a veces tienen hasta años-luz de diámetro. Las moléculas de polvo, unidas a las de los gases, se rozan y se ionizan, se calientan y la nube comienza a girar lentamente. El enorme conglomerado, poco a poco se va juntando y la temperatura aumenta. Tal enormidad de materia crea una fuerza gravitatoria que hace contraerse la nube sobre sí misma; su diámetro y su temperatura en el núcleo es tal que se produce la fusión de los protones de hidrógeno que se transforman en un material más complejo, el helio, y ese es el momento en que nace la estrella que, a partir de ahí, puede estar miles de millones de años brillando y produciendo energía termonuclear.

La masa máxima de las estrellas puede rondar las 120 masas solares, es decir, ser 120 veces mayor que nuestro Sol, y por encima de este límite sería destruida por la enorme potencia de su propia radiación. La masa mínima para poder ser una estrella se fija en 0'08 masas solares; por debajo de ella, los objetos no serían lo suficientemente calientes en sus núcleos como para que comience la combustión del hidrógeno y se convertirían en enanas marrones. Las luminosidades de las estrellas varían desde alrededor de medio millón de veces la luminosidad del Sol para las más calientes hasta menos

de la milésima de la del Sol para las enanas más débiles. Aunque las estrellas más prominentes visibles a simple vista son más luminosas que el Sol, la mayoría de las estrellas son en realidad más débiles que éste y, por tanto, imperceptibles a simple vista.

Como he dicho antes, el brillo de las estrellas (la luz y el calor) es el resultado de la conversión de masa en energía ($E = mc^2$), por medio de reacciones nucleares, las enormes temperaturas de millones de grados de su núcleo, hace posible que los protones de los átomos del hidrógeno se fusionen y se conviertan en átomos de helio. Por cada kilogramo de hidrógeno quemado de esta manera, se convierten en energía aproximadamente siete gramos de masa. De acuerdo con la famosa ecuación de Einstein (arriba reseñada), los siete gramos equivalen a una energía de $6'3 \times 10^{14}$ julios. Las reacciones nucleares no sólo aportan la luz y el calor de las estrellas, sino que también producen elementos pesados, más complejos que el hidrógeno y el helio que, posteriormente, son distribuidos por el universo, cuando al final de la estrella, esta explota en supernova, lanzando sus capas exteriores al espacio que de esta forma, deja “sembrado” de estos materiales el “vacío” estelar.

Las estrellas pueden clasificarse de muchas maneras. Una manera es mediante su etapa evolutiva: en presecuencia principal, secuencia principal*, gigante, supergigante, enana blanca, estrella de neutrones y agujeros negros. Estas últimas son la consecuencia del final de sus vidas como tales estrellas, convirtiéndose en objetos estelares de una u otra clase en función de sus masas originales. Estrellas como nuestro Sol, al agotar el combustible nuclear se transforman en gigantes rojas, explotan en novas y finalmente quedan como enanas blancas. Si la masa es mayor serán estrellas de neutrones, y si aún son mayores, su final está en agujeros negros.

Otra clasificación es a partir de sus espectros, que indican su temperatura superficial. Otra manera es en poblaciones I, II y III, que engloban estrellas con abundancias progresivamente menores de elementos pesados, indicando paulatinamente una mayor edad. También evolución estelar y mag-

* Sol fusionando hidrógeno en helio.

nitudes aparentes y absolutas y el tipo espectral con la distancia en a. L., es otra de las clasificaciones.

Después de estas clasificaciones genéricas tenemos otras más particulares y definidas referidas a estrellas binarias, estrellas capullo, con baja velocidad, con envoltura, con exceso de ultravioleta, de alta velocidad, de baja luminosidad, de baja masa, de bario, de bariones, de campo, de carbono, de circonio, de estroncio, de helio, estrella de la población I extrema, de la población intermedia, de la rama gigante asintótica, estrella de litio, de manganeso, de manganeso-mercurio y, viceversa, estrella de metales pesados, de neutrones **, estrellas de quarks (hipotética con densidad intermedia entre la estrella de neutrones y el agujero negro), estrella de referencia, de silicio, de tecnecio, de tiempo intermedio, de tipo tardío, de tipo temprano, estrella del polo, estrella doble, estrella enana, estándar, evolucionada, etc.

La variedad de estrellas es grande y para los estudiosos fascinantes. Tal diversidad es debida a la evolución que desde su formación tiene cada tipo de estrella en función de su masa y de los gases y polvo cósmico que la forman y los que se crean en su núcleo (horno solar) a miles de millones de grados de temperatura capaces de transformar materiales simples como el hidrógeno hacia una gama más compleja y pesada que, finalmente, mediante la explosión de supernova (más temperatura), arroja al espacio materiales que, a su vez, forman nuevas estrellas de 2^a y 3^a generación con materiales complejos. La vida en nuestro planeta pudo surgir gracias a que en la Tierra había abundancia de estos materiales creados en las estrellas. Podemos decir, sin temor a equivocarnos que nosotros mismos estamos hechos del material creado en las estrellas lejanas que posiblemente, hace miles de millones de años explotó en supernova a millones de años luz de nuestro Sistema Solar.

Pero retomando el tema central de este capítulo, las constantes fundamentales de la naturaleza, tenemos que decir que, precisamente, estas constantes son las que tienen el mérito de que las estrellas brillen en las galaxias

** 10^{17} kg/m³. El material llega a estar tan junto que protones y electrones se funden y forman neutrones.

y de que nosotros estemos aquí para mirar a los cielos y contemplar su belleza.

Al principio mencioné a George J. Stoney, el físico irlandés y pensador excéntrico y original al que, en realidad, debemos la forma de deducir si otros planetas del sistema solar poseían o no una atmósfera gaseosa, como la Tierra, calculando si su gravedad superficial era suficientemente intensa para mantener esa atmósfera.

Pero su pasión real estaba reservada a su idea más preciada: el “electrón”. Stoney había deducido que debía existir un componente básico de carga eléctrica. Estudiando los experimentos de Michael Faraday sobre electrólisis, Stoney había predicho incluso cuál debía ser su valor, una predicción posteriormente confirmada por J. J. Thomson, descubridor del electrón en Cambridge en 1.897, dándole la razón a Stoney que finalmente, a esta unidad básica de la electricidad, le dio el nombre de *electrón* con el símbolo *e* en 1.891 (antes de su descubrimiento).

Stoney, primo lejano y más viejo del famoso matemático, científico de computación y criptógrafo Alan Turing, también era tío de George Fitzgerald, después famoso por proponer la “contracción Fitzgerald-Lorentz”, un fenómeno que fue entendido finalmente en el contexto de la teoría de la relatividad especial de Einstein.

Stoney, podemos decir con seguridad, fue el primero que señaló el camino para encontrar lo que más tarde conoceríamos como constantes fundamentales, esos parámetros de la física que son invariantes, aunque su entorno se transforme. Ellas, las constantes, continúan inalterables como sucede, por ejemplo, con la velocidad de la luz *c*, que sea medida en la manera que sea, esté en reposo o esté en movimiento quien la mide o la fuente de donde parte, su velocidad será siempre la misma, 299.792.458 m/s. Algo análogo ocurre con la gravedad, *G*, que en todas partes mide el mismo parámetro o valor: $G = 6'67259 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2} \text{ Kg}^{-1}$. Es la fuerza de atracción que actúa entre todos los cuerpos y cuya intensidad depende de la masa de los cuerpos y de la distancia entre ellos; la fuerza gravitacional disminuye

con el cuadrado de la distancia de acuerdo a la ley de la inversa del cuadrado.

Profesor de filosofía natural (así llamaban antes a la Física) en el Queen’s College Galway en 1.860, tras su retiro se trasladó a Hornsey, al norte de Londres, y continuó publicando un flujo de artículos en la revista científica de la Royal Dublín Society, siendo difícil encontrar alguna cuestión sobre la que no haya un artículo firmado por él.

Stoney recibió el encargo de hacer una exposición científica del tema que él mismo eligiera para el programa de la reunión de Belfast de la Asociación Británica. Pensando en qué tema elegir, se dio cuenta de que existían medidas y patrones e incluso explicaciones diferentes para unidades que median cosas o distancias o algún fenómeno: se preguntaba la manera de cómo definirlos mejor y como interrelacionarlos. Vio una oportunidad para tratar de simplificar esta vasta confusión de patrones humanos de medida de una manera tal que diese más peso a su hipótesis del electrón.

En tal situación, Stoney centró su trabajo en unidades naturales que transcien den los patrones humanos, así que trabajó en la unidad de carga electrónica (según su concepto), inspirado en los trabajos de Faraday como hemos comentado antes. También, como unidades naturales escogió G y c que responde, como se ha explicado, a la gravedad universal y la velocidad de la luz en el vacío.

En su charla de la Reunión de Belfast, Stoney se refirió al electrón como el “electrino” y dio el primer cálculo de su valor esperado. Demostró que el trío mágico de G , c y e podía combinarse de una manera, y sólo de una, de modo que a partir de ellas se creaban una unidad de masa, una unidad de longitud y una unidad de tiempo. Para la velocidad de la luz utilizó un promedio de las medidas existentes, $c = 3 \times 10^8$ metros por segundo; para la constante de gravitación de Newton utilizó el valor obtenido por John Herschel, $G = 6'67259 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2} \text{ Kg}^{-1}$, y para la unidad de carga del “electrino” utilizó $e = 10^{-20}$ amperios. Estas fueron las inusuales nuevas unidades que él encontró, en términos de las constantes e , c y G , y en términos de gramo, metros y segundos:

$$M_j = \left(e^2/g\right)^{1/2} = 10^{-7} \text{ gramos}$$

$$L_j = \left(Ge^2/c^4\right)^{1/2} = 10^{-17} \text{ metros}$$

$$T_j = \left(Ge^2/c^6\right)^{1/2} = 3 \times 10^{-16} \text{ segundos}$$

Estas son cantidades extraordinarias. Aunque una masa de 10^{-7} gramos no es demasiado espectacular – es similar a la de una mota de polvo – las unidades de longitud y tiempo de Stoney eran muy diferentes de cualquiera que hubieran encontrado antes los científicos. Eran fantásticamente pequeñas, rozando lo inconcebible. No había (y sigue sin haber) ninguna posibilidad de medir directamente tales longitudes y tiempos. En cierto modo, esto es lo que se podría haber esperado. Estas unidades no están construidas deliberadamente a partir de dimensiones humanas, por conveniencia humana o para utilidad humana. Están definidas por la propia fábrica de la realidad física que determina la naturaleza de la luz, la electricidad y la gravedad. No se preocupan de nosotros. Stoney triunfó de un modo brillante en su búsqueda de un sistema de unidades sobrehumanas.

“La ciencia no puede resolver el misterio final de la Naturaleza. Y esto se debe a que, en el último análisis, nosotros somos parte del misterio que estamos tratando de resolver”.

Max Planck

Las unidades naturales de Max Planck

La idea de Stoney fue descubierta en una forma diferente por el físico alemán Max Planck en 1.899, un año antes de que expusiera al mundo su teoría del “cuanto de acción” h .

Planck es uno de los físicos más importantes de todos los tiempos. Como antes he apuntado, descubrió la naturaleza cuántica de la energía que

puso en marcha la revolución cuántica de nuestra comprensión del mundo, ofreció la primera descripción correcta de la radiación térmica (“espectro de Planck”) y una de las constantes fundamentales de la naturaleza lleva su nombre.

Ganador del premio Nobel de Física de 1.918, también fue, en el primer momento, el único que comprendió la importancia que, para la física y para el mundo, tendría el artículo del joven Einstein, en 1.905, sobre la teoría de la relatividad especial. Hombre tranquilo y modesto que fue profundamente admirado por sus contemporáneos más jóvenes, como el mismo Einstein y Bohr.

La concepción que tenía Planck de la naturaleza ponía mucho énfasis en su racionalidad intrínseca y en su independencia del pensamiento humano. Había que encontrar esas estructuras profundas que estaban lejos de las necesidades de la utilidad y conveniencia humanas pero que, en realidad, estaban ahí ocultas en lo más profundo de los secretos naturales y eran las responsables de que nuestro mundo, nuestro universo, fuese tal como lo conocemos.

En el último año de su vida un antiguo alumno le preguntó si creía que buscar la forma de unir todas las constantes de la naturaleza mediante alguna teoría más profunda era atractivo. Le contestó con el entusiasmo templado por el realismo y experiencia conociendo cuantas dificultades entrañaba tal empresa.

“Su pregunta sobre la posibilidad de unificar todas las constantes universales de la naturaleza, es sin duda una idea atractiva. Por mi parte, sin embargo, tengo dudas de que se logre con éxito. Pero puedo estar equivocado”

A diferencia de Einstein, Planck no creía que se pudiera alcanzar realmente una teoría globalizadora que explicara todas las constantes de la naturaleza.

Mientras que Stoney había visto en la elección de unidades prácticas una manera de cortar el nudo gordiano de la subjetividad, Planck utilizaba sus unidades especiales para sustentar una base no antropomórfica para la física y que, por consiguiente, podría describirse como “unidades naturales”.

De acuerdo con su perspectiva universal, en 1.899 Planck propuso que se construyeran unidades naturales de masa, longitud y tiempo a partir de las constantes más fundamentales de la naturaleza: la constante de gravedad G , la velocidad de la luz c y la constante de acción h , que ahora lleva el nombre de Planck. La constante de Planck determina la mínima unidad de cambio posible en que pueda alterarse la energía, y que llamó “cuanto”. Las unidades de Planck son las únicas combinaciones de dichas constantes que pueden formarse en dimensiones de masa, longitud, tiempo y temperatura. Sus valores no difieren mucho de los de Stoney:

$M_p =$	$(hc/G)^{1/2} =$	$5'56 \times 10^{-5}$ gramos
$L_p =$	$(Gh/c^3)^{1/2} =$	$4'13 \times 10^{-33}$ centímetros
$T_p =$	$(Gh/c^5)^{1/2} =$	$1'38 \times 10^{-43}$ segundos
$Temp.p =$	$K^{-1} (hc^5/G)^{1/2} =$	$3'5 \times 10^{32}$ ° Kelvin

Estas formulaciones con la masa, la longitud, el tiempo y la temperatura de Planck incorporan la G (constante de gravedad), la h (la constante de Planck) y la c , la velocidad de la luz. La de la temperatura incorpora además, la K de los grados Kelvin.

La constante de Planck racionalizada (la más utilizada por los físicos), se representa por \hbar que es igual a $h/2\pi$ que vale del orden de $1'054589 \times 10^{-34}$ Julios segundo.

En las unidades de Planck (del recuadro en rojo), una vez más, vemos un contraste entre la pequeña, pero no escandalosamente reducida unidad natural de la masa y las unidades naturales fantásticamente extremas del tiempo, longitud y temperatura. Estas cantidades tenían una significación sobrehumana para Planck. Entraban en La Base de la realidad física:

“Estas cantidades conservarán su significado natural mientras la Ley de Gravitación y la de Propagación de la luz en el vacío y los dos principios de la termodinámica sigan siendo válidos; por lo tanto, siempre deben encontrarse iguales cuando sean medidas por las inteligencias más diversas con los métodos más diversos.”

En sus palabras finales alude a la idea de observadores en otro lugar del universo que definen y entienden estas cantidades de la misma manera que nosotros.

De entrada había algo muy sorprendente en las unidades de Planck, como lo había también en las de Stoney. Entrelazaban la gravedad con las constantes que gobiernan la electricidad y el magnetismo.

“La creciente distancia entre la imagen del mundo físico y el mundo de los sentidos no significa otra cosa que una aproximación progresiva al mundo real.”

Max Planck

Podemos ver que Max Planck apelaba a la existencia de constantes universales de la naturaleza como prueba de una realidad física al margen y completamente diferentes de las mentes humanas. Al respecto decía:

“Estos...números, las denominadas “constantes universales” son en cierto sentido los ladrillos inmutables del edificio de la física teórica. Deberíamos preguntar:

¿Cuál es el significado real de estas constantes?”

Una de las paradojas de nuestro estudio del universo circundante es que a medida que las descripciones de su funcionamiento se hacen más precisas y acertadas, también se alejan cada vez más de toda la experiencia humana.

“Lo que realmente me interesa es si Dios podría haber hecho del mundo una cosa diferente; es decir, si la necesidad de simplicidad lógica deja la más mínima libertad.”

Albert Einstein

Einstein hizo más que cualquier otro científico por crear la imagen moderna de las leyes de la naturaleza. Desempeñó un papel principal en la creación de la perspectiva correcta sobre el carácter atómico y cuántico del mundo material a pequeña escala, demostró que la velocidad de la luz introducía una relatividad en la visión del espacio de cada observador, y encontró por sí solo la teoría de la gravedad que sustituyó la imagen clásica creada por Isaac Newton más de dos siglos antes que él. Su famosa fórmula de $E = mc^2$ es una fórmula milagrosa, es lo que los físicos definen como la auténtica belleza. Decir mucho con pocos signos y, desde luego, nunca ningún físico dijo tanto con tan poco. En esa reducida expresión de $E = mc^2$, está contenido uno de los mensajes de mayor calado del universo: masa y energía, son la misma cosa.

Einstein siempre estuvo fascinado por el hecho de que algunas cosas deben parecer siempre iguales, independientemente de cómo se mueva el que las ve, como la luz en el vacío, c .

Él nos dijo el límite con que podríamos recibir información en el universo, la velocidad de c .

Él reveló todo el alcance de lo que Stoney y Planck simplemente habían supuesto: que la velocidad de la luz era una constante sobre humana fundamental de la naturaleza. También sabía el maestro que, en el proceso de nuevas teorías, la búsqueda de la teoría final que incluyera a otras fuerzas de la naturaleza distintas de la gravedad, daría lugar a teorías nuevas y cada vez mejores que irían sustituyendo a las antiguas teorías. De hecho, él mismo la buscó durante los 30 últimos años de su vida pero, desgraciadamente, sin éxito. Ahora se ha llegado a la teoría de supercuerdas que sólo funciona en

10 y 26 dimensiones y es la teoría más prometedora para ser la candidata a esa teoría final de la que hablan los físicos.

El físico espera que las constantes de la naturaleza respondan en términos de números puros que pueda ser calculado con tanta precisión como uno quiera. En ese sentido se lo expresó Einstein a su amiga Ilse Rosenthal-Schneider, interesada en la ciencia y muy amiga de Planck y Einstein en la juventud.

Lo que Einstein explicó a su amiga por cartas es que existen algunas constantes aparentes que son debidas a nuestro hábito de medir las cosas en unidades particulares. La constante de Boltzmann es de este tipo. Es sólo un factor de conversión entre unidades de energía y temperatura, parecido a los factores de conversión entre las escalas de temperatura Fahrenheit y centígrada. Las verdaderas constantes tienen que ser números puros y no cantidades con “dimensiones”, como una velocidad, una masa o una longitud. Las cantidades con dimensiones siempre cambian sus valores numéricos si cambiamos las unidades en las que se expresan.

La interpretación de las unidades naturales de Stoney y Planck no era en absoluto obvia para los físicos. Aparte de ocasionarles algunos quebraderos de cabeza al tener que pensar en tan reducidas unidades, y sólo a finales de la década de 1.960 el estudio renovado de la cosmología llevó a una plena comprensión de estos patrones extraños. Uno de los curiosos problemas de la Física es que tiene dos teorías hermosamente efectivas (la mecánica cuántica y la relatividad general) pero gobiernan diferentes dominios de la naturaleza.

La mecánica cuántica domina en el micromundo de los átomos y de las partículas “elementales”. Nos enseña que en la naturaleza cualquier masa, por sólida o puntual que pueda parecer, tiene un aspecto ondulatorio. Esta onda no es como una onda de agua. Se parece más a una ola delictiva o una ola de histeria: es una onda de información. Nos indica la probabilidad de detectar una partícula. La longitud de onda de una partícula, la longitud cuántica, se hace menor cuanto mayor es la masa de esa partícula.

Por el contrario, la relatividad general era siempre necesaria cuando se trataba con situaciones donde algo viaja a la velocidad de la luz, o está muy cerca o donde la gravedad es muy intensa. Se utiliza para describir la expansión del universo o el comportamiento en situaciones extremas, como la formación de agujeros negros. Sin embargo, la gravedad es muy débil comparada con las fuerzas que unen átomos y moléculas y demasiado débil para tener cualquier efecto sobre la estructura del átomo o de partículas subatómicas, se trata con masas tan insignificantes que la incidencia gravitatoria es despreciable. Todo lo contrario que ocurre en presencia de masas considerables como planetas, estrellas y galaxias, donde la presencia de la gravitación curva el espacio y distorsiona el tiempo.

Como resultado de estas propiedades antagónicas, la teoría cuántica y la teoría relativista gobiernan reinos diferentes, muy dispares, en el universo de lo muy pequeño o en el universo de lo muy grande. Nadie ha encontrado la manera de unir, sin fisuras, estas dos teorías en una sola y nueva de *Gravedad-Cuántica*.

¿Cuáles son los límites de la teoría cuántica y de la teoría de la relatividad general de Einstein? Afortunadamente, hay una respuesta simple y las unidades de Planck nos dicen cuales son.

Supongamos que tomamos toda la masa del universo visible y determinamos su longitud de onda cuántica. Podemos preguntarnos en qué momento esta longitud de onda cuántica del universo visible superará su tamaño. La respuesta es: cuando el universo sea más pequeño en tamaño que la longitud de Planck, es decir, 10^{-33} centímetros, más joven que el tiempo de Planck, 10^{-43} segundos y supere la temperatura de Planck de 10^{32} grados. Las unidades de Planck marcan la frontera de aplicación de nuestras teorías actuales. Para comprender en que se parece el mundo a una escala menor que la longitud de Planck tenemos que comprender plenamente cómo se entrelaza la incertidumbre cuántica con la gravedad. Para entender lo que podría haber sucedido cerca del suceso que estamos tentados a llamar el principio del universo, o el comienzo del tiempo, tenemos que penetrar la barreira de Planck. Las constantes de la naturaleza marcan las fronteras de nuestro

conocimiento existente y nos dejan al descubierto los límites de nuestras teorías.

En los intentos más recientes de crear una teoría nueva para describir la naturaleza cuántica de la gravedad ha emergido un nuevo significado para las unidades naturales de Planck. Parece que el concepto al que llamamos “información” tiene un profundo significado en el universo. Estamos habituados a vivir en lo que llamamos “la edad de la información”. La información puede ser empaquetada en formas electrónicas, enviadas rápidamente y recibidas con más facilidad que nunca antes. Nuestra evolución en el proceso rápido y barato de la información se suele mostrar en una forma que nos permite comprobar la predicción de Gordon Moore, el fundador de Intel, llamada ley de Moore, en la que, en 1.965, advirtió que el área de un transistor se dividía por dos aproximadamente cada 12 meses. En 1.975 revisó su tiempo de reducción a la mitad hasta situarlo en 24 meses. Esta es “la ley de Moore” cada 24 meses se obtiene una circuitería de ordenador aproximadamente el doble, que corre a velocidad doble, por el mismo precio, ya que, el coste integrado del circuito viene a ser el mismo, constante.

Los límites últimos que podemos esperar para el almacenamiento y los ritmos de procesamiento de la información están impuestos por las constantes de la naturaleza. En 1.981, el físico israelí, Jacob Bekenstein, hizo una predicción inusual que estaba inspirada en su estudio de los agujeros negros. Calculó que hay una cantidad máxima de información que puede almacenarse dentro de cualquier volumen. Esto no debería sorprendernos. Lo que debería hacerlo es que el valor máximo está precisamente determinado por el área de la superficie que rodea al volumen, y no por el propio volumen. El número máximo de bits de información que puede almacenarse en un volumen viene dado precisamente por el cálculo de su área superficial en unidades de Planck. Supongamos que la región es esférica. Entonces su área superficial es precisamente proporcional al cuadrado de su radio, mientras que el área de Planck es proporcional a la longitud de Planck al cuadrado, 10^{-66} cm^2 . Esto es muchísimo mayor que cualquier capacidad de almacenamiento de información producida hasta ahora. Asimismo, hay un límite último sobre el ritmo de procesamiento de información que viene impuesto por las constantes de la naturaleza.

No debemos descartar la posibilidad de que seamos capaces de utilizar las unidades de Planck-Stoney para clasificar todo el abanico de estructuras que vemos en el universo, desde el mundo de las partículas elementales hasta las más grandes estructuras astronómicas. Este fenómeno se puede representar en un gráfico que recree la escala logarítmica de tamaño desde el átomo a las galaxias. Todas las estructuras del universo existen porque son el equilibrio de fuerzas dispares y competidoras que se detienen o compensan las unas a las otras; la atracción y la repulsión. Ese es el equilibrio de las estrellas donde la repulsión termonuclear tiende a expandirla y la atracción (contracción) de su propia masa tiende a comprimirla; así, el resultado es la estabilidad de la estrella. En el caso del planeta Tierra, hay un equilibrio entre la fuerza atractiva de la gravedad y la repulsión atómica que aparece cuando los átomos se comprimen demasiado juntos. Todos estos equilibrios pueden expresarse aproximadamente en términos de dos números puros creados a partir de las constantes e , h , c , G y $m_{\text{protón}}$.

$$\alpha = 2\pi e^2 / hc \approx 1/137$$

$$\alpha_G = (Gm_p)^2 / hc \approx 10^{-38}$$

La identificación de constantes adimensionales de la naturaleza como α (alfa) y α_G , junto con los números que desempeñan el mismo papel definitivo para las fuerzas débil y fuerte de la naturaleza, nos anima a pensar por un momento en mundos diferentes del nuestro. Estos otros mundos pueden estar definidos por leyes de la naturaleza iguales a las que gobiernan el universo tal como lo conocemos, pero estarán caracterizados por diferentes valores de constantes adimensionales. Estos cambios numéricos alterarán toda la fábrica de los mundos imaginarios. Los átomos pueden tener propiedades diferentes. La gravedad puede tener un papel en el mundo a pequeña escala. La naturaleza cuántica de la realidad puede intervenir en lugares insospechados.

Lo único que cuenta en la definición del mundo son los valores de las constantes adimensionales de la naturaleza (así lo creían Einstein y Planck). Si se duplica el valor de todas las masas no se puede llegar a saber, porque

todos los números puros definidos por las razones de cualquier par de masas son invariables.

Cuando surgen comentarios de números puros y adimensionales, de manera automática aparece en mi mente el número 137. Ese número encierra más de lo que estamos preparados para comprender; me hace pensar y mi imaginación se desboca en múltiples ideas y teorías. Einstein era un campeón en esta clase de ejercicios mentales que él llamaba “libre invención de la mente”. El gran físico creía que no podríamos llegar a las verdades de la naturaleza sólo por la observación y la experimentación. Necesitamos crear conceptos, teorías y postulados de nuestra propia imaginación que posteriormente deben ser explorados para averiguar si existe algo de verdad en ellos.

Para poner un ejemplo de nuestra ignorancia poco tendríamos que buscar, tenemos a mano miles de millones.

Me acuerdo de León Lederman (premio Nobel de Física) que decía:

“Todos los físicos del mundo, deberían tener un letrero en el lugar más visible de sus casas, para que al mirarlo, les recordara lo que no saben. En el cartel sólo pondría esto: 137. Ciento treinta y siete es el inverso de algo que lleva el nombre de constante de estructura fina”.

Este número guarda relación con la posibilidad de que un electrón emita un fotón o lo absorba. La constante de estructura fina responde también al nombre de “alfa” y sale de dividir el cuadrado de la carga del electrón, por el producto de la velocidad de la luz y la constante de Planck*. Tanta palabrería y numerología no significan otra cosa sino que ese solo numero, 137, encierra los misterios del electromagnetismo (el electrón, e^-), la relatividad (la velocidad de la luz, c), y la teoría cuántica (la constante de Planck, h).

* $\alpha = 2\pi e^2/hc = 1/137$

Lo más notable de este número es su dimensionalidad. La velocidad de la luz, c , es bien conocida y su valor es de 299.792.458 m/segundo; la constante de Planck racionalizada, \hbar , es $\hbar/2\pi = 1'054589 \times 10$ julios segundo; la altura de mi hijo, el peso de mi amigo, etc, todo viene con sus dimensiones. Pero resulta que cuando uno combina las magnitudes que componen alfa ¡se borran todas las unidades! El 137 está solo: se escribe desnudo a donde va. Esto quiere decir que los científicos del undécimo planeta de una estrella lejana situada en un sistema solar de la galaxia Andrómeda, aunque utilicen Dios sabe qué unidades para la carga del electrón y la velocidad de la luz y qué versión utilicen para la constante de Planck, también les saldrá el 137. Es un número puro. No lo inventaron los hombres. Está en la naturaleza, es una de sus constantes naturales, sin dimensiones.

La física se ha devanado los sesos con el 137 durante décadas. Werner Heisember (el que nos regaló el Principio de Incertidumbre en la Mecánica Cuántica), proclamó una vez que todas las fuentes de perplejidad que existen en la mecánica cuántica se secarían si alguien explicara de una vez el 137.

¿Por qué alfa es igual a 1 partido por 137?

Esperemos que algún día aparezca alguien que, con la intuición, el talento y el ingenio de Galileo, Newton o Einstein, nos pueda por fin aclarar el misterioso número y las verdades que encierra. Menos perturbador sería que la relación de todos estos importantes conceptos (e^- , \hbar y c) hubieran resultado ser 1 ó 3 o un múltiplo de pi... pero ¿137?

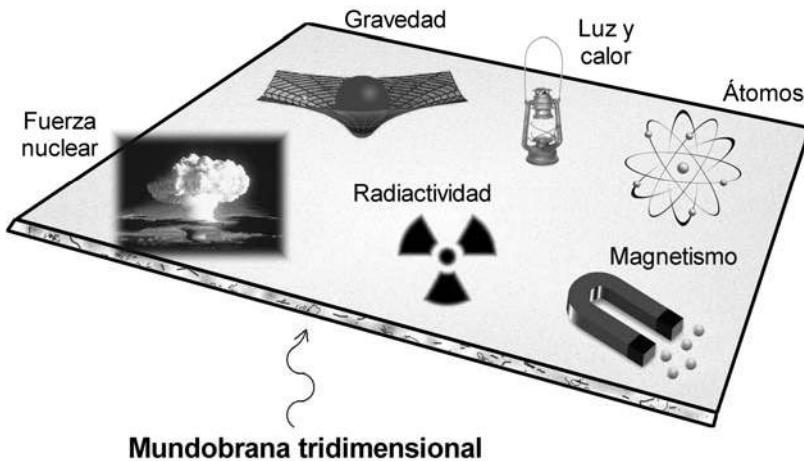
Arnold Sommerfeld percibió que la velocidad de los electrones en el átomo de hidrógeno es una fracción considerable de la velocidad de la luz, así que había que tratarlos conforme a la teoría de la relatividad. Vio que donde la teoría de Bohr predecía una órbita, la nueva teoría predecía dos muy próximas.

Esto explica el desdoblamiento de las líneas. Al efectuar sus cálculos, Sommerfeld introdujo una “nueva abreviatura” de algunas constantes. Se

trataba de $2\pi e^2 / hc$, que abrevió con la letra griega “ α ” (alfa). No prestéis atención a la ecuación. Lo interesante es esto: cuando se meten los números conocidos de la carga del electrón, e^- , la constante de Planck, h , y la velocidad de la luz, c , sale $\alpha = 1/137$. Otra vez 137 número puro.

Las constantes fundamentales (constantes universales) están referidas a los parámetros que no cambian a lo largo del universo. La carga de un electrón, la velocidad de la luz en el espacio vacío, la constante de Planck, la constante gravitacional, la constante eléctrica y magnética se piensa que son todos ejemplos de constantes fundamentales.

Hacia mayores dimensiones



Las fuerzas de la naturaleza que gobiernan la electricidad, el magnetismo, la radiactividad y las reacciones nucleares están confinadas a un “mundobrana” tridimensional, mientras que la gravedad actúa en todas las dimensiones y es consecuentemente más débil.

Las fuerzas fundamentales

Tipo de Fuerza	Alcance en m	Fuerza relativa	Función
Nuclear fuerte	$<3 \times 10^{-15}$	10^{41}	<i>Une Protones y Neutrones en el núcleo atómico por medio de Gluones.</i>
Nuclear débil	$< 10^{-15}$	10^{28}	<i>Es responsable de la energía radiactiva producida de manera natural. Portadoras W y Z</i>
Electromagnetismo	Infinito	10^{39}	<i>Une los átomos para formar moléculas; propaga la luz y las ondas de radio y otras formas de energías eléctricas y magnéticas por medio de los fotones.</i>
Gravitación	Infinito	1	<i>Mantiene unidos los planetas del Sistema Solar, las estrellas en las galaxias y, nuestros pies pegados a la superficie de la Tierra. La transporta el gravitón.</i>

Las constantes fundamentales

Constante	Símbolo	Valor en unidades del SI
Aceleración en caída libre	g	$9,80665 \text{ m s}^{-2}$
Carga del electrón	e	$1,60217733(49) \times 10^{-19} \text{ C}$
Constante de Avogadro	N_A	$6,0221367(36) \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Constante de Boltzmann	$K=R/N_A$	$1,380658(12) \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$
Constante de Faraday	F	$9,6485309(29) \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$
Constante de los gases	R	$8,314510(70) \times \text{J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
Constante de Loschmidt	N_L	$2,686763(23) \times 10^{25} \text{ mol}^{-3}$
Constante de Planck	h	$6,6260755(40) \times 10^{-34} \text{ Js}$
Constante de Stefan-Boltzmann	σ	$5,67051(19) \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$
Constante eléctrica	ϵ_0	$8,854187817 \times 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$
Constante gravitacional	G	$6,67259(85) \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ Kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$

<i>Constante magnética</i>	μ_0	$4\pi \times 10^{-7} \text{ H m}^{-1}$
<i>Masa en reposo del electrón</i>	m_e	$9,1093897(54) \times 10^{-31} \text{ Kg}$
<i>Masa en reposo del neutrón</i>	m_n	$1,6749286(10) \times 10^{-27} \text{ Kg}$
<i>Masa en reposo del protón</i>	m_p	$1,6726231(10) \times 10^{-27} \text{ Kg}$
<i>Velocidad de la luz</i>	c	$2,99792458 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
<i>Constante de estructura fina</i>	α	$2\pi e^2/h c$

Unas pueden ser más constantes naturales que otras, pero lo cierto es que, de momento, han servido como herramientas eficaces.

La última lección importante que aprendemos de la manera en que números puros como α (alfa) definen el mundo, es el verdadero significado de que los mundos sean diferentes. El número puro que llamamos constante de estructura fina, e indicamos con α , es como hemos dicho antes, una combinación de e , c y h (el electrón, la velocidad de la luz y la constante de Planck). Inicialmente, podríamos estar tentados a pensar que un mundo en el que la velocidad de la luz fuera más lenta sería un mundo diferente. Pero sería un error. Si e , h y c cambian de modo que los valores que tienen en unidades métricas (o cualesquiera otras) fueran diferentes cuando las buscamos en nuestras tablas de constantes físicas, pero el valor de α permaneciera igual; este nuevo mundo sería observationalmente indistinguible de nuestro mundo. Lo único que cuenta en la definición del mundo son los valores de las **constantes adimensionales de la naturaleza**.

Fue Einstein el que anunció lo que se llamó principio de covariancia: que las leyes de la naturaleza deberían expresarse en una forma que pareciese la misma para todos los observadores, independientemente de dónde estuvieran situados y de cómo se estuvieran moviendo. Cuando trató de desarrollar este principio, Einstein tuvo dificultades; no encontraba la manera de expresarlo con la formulación matemática adecuada. Pidió ayuda a su amigo Marcel Grossmann, matemático, quien sabiendo de las necesidades exactas de Einstein, le envió la copia de una conferencia que dio un tal Riemann, unos sesenta años antes.

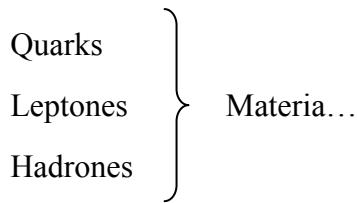
Einstein fue muy afortunado, ya que durante la última parte del siglo XIX en Alemania e Italia, matemáticos puros habían estado inmersos en el estudio profundo y detallado de todas las geometrías posibles sobre superficies curvas. Habían desarrollado un lenguaje matemático que automáticamente tenía la propiedad de que toda ecuación poseía una forma que se conservaba cuando las coordenadas que la describían se cambiaban de cualquier manera. Este lenguaje se denominaba cálculo tensorial. Tales cambios de coordenadas equivalen a preguntar qué tipo de ecuación vería alguien que se moviera de una manera diferente.

Einstein se quedó literalmente paralizado al leer la Conferencia de Riemann. Allí, delante de sus propios ojos tenía lo que Riemann denominaba **Tensor métrico**. Einstein se dio cuenta de que era exactamente lo que necesitaba para expresar de manera precisa y exacta sus ideas. Así llegó a ser posible la teoría de la relatividad general.

Einstein pudo expresar su principio de covariancia expresando sus leyes de la naturaleza como ecuaciones tensoriales, que poseían automáticamente la misma forma para todos los observadores.

Este paso de Einstein completó un movimiento espectacular en la concepción física de la naturaleza que ha sido completado en el siglo XX. Está marcado por una evolución que se aleja continuamente de cualquier visión privilegiada del mundo, sea una visión humana, basada en la Tierra, o una visión basada en patrones humanos, la naturaleza tiene sus propios patrones.

Está claro que pensar siquiera en que en nuestro universo, dependiendo de la región en la que nos encontremos, habrá distintas leyes físicas, sería pensar en un universo chapuza. Lo sensato es pensar como Einstein y creer que en cualquier parte del universo rigen las mismas leyes físicas, hasta que no se encuentre pruebas reales a favor de lo contrario, los científicos suponen con prudencia que, sea cual fueren las causas responsables de las pautas que llamamos “Leyes de la Naturaleza”, es mucho más inteligente adoptar la creencia de la igualdad física en cualquier parte de nuestro universo por muy remota que se encuentre; los elementos primordiales que lo formaron fueron siempre los mismos,



que interaccionan con las cuatro fuerzas fundamentales naturales.

Ahora sabemos que las fuerzas de la naturaleza, la fuerza nuclear fuerte, la fuerza nuclear débil, el electromagnetismo y la gravedad, no son tan diferentes como parece a primera vista. Parecen tener intensidades muy diferentes y actuar sobre partículas elementales diferentes. Pero eso es ilusorio, es la sensación creada por nuestra necesidad de habitar en un lugar del universo donde la temperatura es más bien baja y, es así, como se manifiestan las fuerzas de la naturaleza que, en dicha temperatura permite la existencia de átomos y moléculas.

Conforme la temperatura aumenta y las partículas elementales de materia colisionan entre sí a energías cada vez más altas, las fuerzas separadas que gobiernan nuestro mundo de baja temperatura, se hacen más parecidas. La fuerza fuerte se debilita, la fuerza débil aumenta y fortalece. Aparecen nuevas partículas a medida que se alcanzan temperaturas más elevadas y consiguen producir interacciones entre las familias separadas de partículas que a temperaturas bajas, parecen estar aisladas entre sí. Poco a poco, a medida que nos acercamos a esas inimaginables condiciones de temperatura “última” que Max Planck encontró definida por las cuatro constantes de la naturaleza, G , K , c , \hbar , esperamos que las diferencias entre las fuerzas naturales se vayan borrando completamente para finalmente quedar unificadas en una única fuerza como, por otra parte, se cree que fue al principio de todo, cuando en el Big Bang, el proceso ocurrió al contrario. Había una increíble temperatura, un plasma primordial lo invadía todo y se expansionaba, naciendo el tiempo y el espacio cuando reinaba la simetría total y una sola fuerza lo regía todo. El universo continuó su expansión y comenzó a enfriarse, la simetría se rompió y lo que era una sola fuerza se dividió en las cuatro que ahora conocemos. Previamente, a partir del plasma, al bajar la temperatura, surgieron los quarks que se juntaron para formar protones y neutrones que, a su vez, se juntaron para formar núcleos que, al ser rodeados por los

electrones atraídos por la carga positiva de los núcleos, formaron los átomos, que se unieron para formar moléculas, que se juntaron para formar la materia, que más tarde, dio lugar al nacimiento de las primeras estrellas y galaxias con sus variedades de objetos estelares, planetas, satélites, cometas, meteoritos, etc.

Todo lo grande está hecho de muchas cosas pequeñas.

Al final de la página 15 y siguientes de este trabajo, explicaba algunos detalles de alfa (α) y del número 137. En la literatura científica podemos encontrar todo tipo de coincidencias numéricas que involucran a los valores de las constantes de la naturaleza.

El valor experimental de la **constante de estructura fina** es:

$$1/\alpha = 137'085989561\dots$$

Pero muchos dieron su versión numérica, aquí están algunas:

<i>Lewis y Adams</i>	$1/\alpha =$	$8\pi(8\pi^5/15)^{1/3} =$	137'384
<i>Eddington</i>	$1/\alpha =$	$(16^2-16)/2 + 16 + 1 =$	137
<i>Wiler</i>	$1/\alpha =$	$(8\pi^4/9) (2^4 5!/\pi^5) =$	137'036082
<i>Aspden y Eagles</i>	$1/\alpha =$	$108\pi(8/1.843)^{1/6} =$	137'05915
<i>Robertson</i>	$1/\alpha =$	$2^{-19/4} 3^{10/3} 5^{17/4} \pi^{-2} =$	137'03594
<i>Burger</i>	$1/\alpha =$	$(137^2 + \pi^2)^{1/2} =$	137'0360157

Ni siquiera Heisemberg (el padre del principio de Incertidumbre de la Mecánica Cuántica) se pudo resistir a ironizar suponiendo que $1/\alpha = 2^4 3^3 / \pi$ pero en plan de broma.

De entre todos los que intentaron descubrir los misterios del 137, me detendré un momento en Arthur Eddington, uno de los más grandes astrofísicos del siglo XX, combinación de lo más profundo y lo fantástico. Más que cualquier otra figura moderna es el responsable de poner en marcha los inacabables intentos de explicar las constantes de la naturaleza por proezas de numerología pura. Él también advirtió un aspecto nuevo y espectacular de las constantes de la naturaleza.

Cuando los físicos empezaron a apreciar el papel de las constantes en el dominio cuántico y explotar la nueva teoría de la gravedad de Einstein para describir el universo en conjunto, las circunstancias eran las adecuadas para que alguien tratara de casarlas.

Así entró en escena Arthur Stanley Eddington: un extraordinario científico que había sido el primero en descubrir cómo se alimentaban las estrellas a partir de reacciones nucleares. También hizo importantes contribuciones a nuestra comprensión de las galaxias, escribió la primera exposición sistemática de la teoría de la relatividad general de Einstein y fue el responsable de la expedición que durante un eclipse de Sol, pudo confirmar con certeza la predicción de la relatividad general que debería desviar la luz estelar que venía hacia la Tierra en aproximadamente 1'75 segundos de arco cuando pasaba cerca de la superficie solar, cuyo espacio estaría curvado debido a la gravedad generada por la masa del Sol. En aquella expedición, el equipo de Eddington hizo una exitosa medición del fenómeno desde la isla Príncipe, que confirmó que Einstein tenía razón y que su teoría predecía de manera exacta la medida de curvatura del espacio en función de la masa del objeto estelar que genera la gravitación distorsionando el espaciotiempo a su alrededor.

Entre los números que Eddington consideraba de importancia primordial estaba al que ahora conocemos como **número de Eddington**, que es igual al número de protones en el universo visible. Eddington calculó (a mano) este número con enorme precisión en un crucero trasatlántico, concluyendo con esta memorable afirmación:

*“Creo que en el Universo hay
 15.747.724.136.275.002.577.605.653.961.181.555.468.044.717.
 914.527.116.709.366.231.425.076.185.631.031.296 protones y el
 mismo número de electrones”.*

Este número enorme, normalmente escrito N_{Edd} , es aproximadamente igual a 10^{80} . Lo que atrajo la atención de Eddington hacia él era el hecho de que debe ser un número entero, y por eso en principio puede ser calculado exactamente.

Durante la década de 1.920, cuando Eddington empezó su búsqueda para explicar las constantes de la naturaleza, no se conocían bien las fuerzas débil y fuerte de la naturaleza. Las únicas constantes dimensionales de la física que sí se conocían e interpretaban con confianza eran las que definían la gravedad y las fuerzas electromagnéticas. Eddington las dispuso en tres puros números adimensionales. Utilizando los valores experimentales de la época, tomó la razón entre las masas del protón y del electrón:

$$m_{\text{pr}}/m_e \approx 1840$$

La inversa de la constante de estructura fina

$$2\pi hc/e^2 \approx 137$$

Y la razón entre la fuerza gravitatoria y la fuerza electromagnética entre un electrón y un protón,

$$e^2/Gm_{\text{pr}} m_e \approx 10^{40}$$

A estas añadió su número cosmológico, $N_{\text{Edd}} \approx 10^{80}$. A estos cuatro números los llamó “*las constantes últimas*”, y la explicación de sus valores era el mayor desafío de la ciencia teórica:

“¿Son estas cuatro constantes irreducibles, o una unificación posterior de la física que pueda demostrar que una o todas

ellas podrían ser prescindibles? ¿Podrían haber sido diferentes de lo que realmente son?... Surge la pregunta de si las razones anteriores pueden ser asignadas arbitrariamente o si son inevitables. En el primer caso, sólo podemos aprender sus valores por medida; en el segundo caso es posible encontrarlos por la teoría... Creo que ahora domina ampliamente la opinión de que las (cuatro anteriores) constantes... no son arbitrarias, sino que finalmente se les encontrará una explicación teórica; aunque también he oído expresar lo contrario.”

Siguiendo con su especulación Eddington pensaba que el número de constantes inexplicadas era un indicio útil del hueco que había que cerrar antes de que se descubriese una teoría verdaderamente unificada de todas las fuerzas de la naturaleza. En cuanto a si esta teoría final contenía una constante o ninguna, tendríamos que esperar y ver:

“Nuestro conocimiento actual de 4 constantes en lugar de 1 indica meramente la cantidad de unificación de teoría que aún queda por conseguir. Quizá resulte que la constante que permanezca no sea arbitraria, pero de eso no tengo conocimiento.”

Eddington, como Max Planck, Einstein y Galileo, y Newton antes que ellos, era simplemente un adelantado a su tiempo; comprendía y veía cosas que sus coetáneos no podían percibir.

Hay una anécdota que se cuenta sobre esto y que ilustra la dificultad de muchos para reconciliar el trabajo de Eddington sobre las constantes fundamentales con sus monumentales contribuciones a la relatividad general y la astrofísica. La historia la contaba Sam Goudsmit referente a él mismo y al físico holandés Kramers:

“El gran Arthur Eddington dio una conferencia sobre su derivación de la constante de estructura fina a partir de una teoría fundamental. Goudsmit y Kramers estaban entre la audiencia. Goudsmit entendió poco pero reconoció que era un absurdo

inverosímil. Kramers entendió mucho y reconoció que era un completo absurdo. Tras la discusión, Goudsmit se acercó a su viejo amigo y mentor Kramers y le preguntó: ¿Todos los físicos se vuelven locos cuando se hacen mayores? Tengo miedo. Kramers respondió, “No Sam, no tienes que asustarte. Un genio como Eddington quizá puede volverse loco pero un tipo como tú sólo se hace cada vez más tonto”.

“La historia es la ciencia de las cosas que no se repiten”.

Paul Valéry

El mayor misterio que rodea a los valores de las constantes de la naturaleza es sin duda la ubicuidad de algunos números enormes que aparecen en una variedad de consideraciones aparentemente inconexas. El número de Eddington es un ejemplo notable. El número total de protones que hay dentro del alcance del universo observable está próximo al número

$$10^{80}$$

Si preguntamos ahora por la razón entre las intensidades de las fuerzas electromagnéticas y gravitatoria entre dos protones, la respuesta no depende de su separación, sino que es aproximadamente igual a

$$10^{40}$$

En un misterio. Es bastante habitual que los números puros que incluyen las constantes de la naturaleza difieran de 1 en un factor del orden de 10^2 , ¡pero 10^{40} , y su cuadrado 10^{80} , es rarísimo! Y esto no es todo. Si seguimos a Max Planck y calculamos en valor estimado para la “acción” del universo observable en unidades fundamentales de Planck para la acción, obtenemos.

$$10^{120}$$

Ya hemos visto que Eddington se inclinaba a relacionar el número de partículas del universo observable con alguna cantidad que incluyera la constante cosmológica. Esta cantidad ha tenido una historia muy tranquila desde esa época, reemergiendo ocasionalmente cuando los cosmólogos teóricos necesitan encontrar una manera de acomodar nuevas observaciones incómodas. Recientemente se ha repetido este escenario. Nuevas observaciones de alcance y precisión sin precedentes, posibilitadas por el telescopio espacial Hubble trabajando en cooperación con telescopios sensibles en tierra, han detectado supernovas en galaxias muy lejanas. Su pauta de brillo y atenuación característica permite deducir su distancia a partir de su brillo aparente. Y, sorprendentemente, resulta que están alejándose de nosotros mucho más rápido de lo que cualquiera esperaba. La expansión del universo ha pasado de ser un estado de deceleración a uno de aceleración. Estas observaciones implican la existencia de una constante cosmológica positiva (Λ^+). Si expresamos su valor numérico como número pero adimensional medido en unidades del cuadrado de la longitud de Planck, entonces obtenemos un número muy próximo a

$$10^{-120}$$

Nunca se ha encontrado un número más pequeño en una investigación física real.

¿Qué vamos a hacer con todos estos grandes números? ¿Hay algo cósmicamente significativo en 10^{40} y sus cuadrados y cubos?

La aparición de algunos de estos grandes números ha sido una fuente de sorpresas desde que fue advertida por vez primera por Hermann Weyl en 1.919. Eddington había tratado de construir una teoría que hiciera comprensible su aparición, pero no logró convencer a un número significativo de cosmólogos de que estaba en la vía correcta. Pero sí convenció a la gente de que había algo que necesitaba explicación. De forma inesperada, fue precisamente uno de sus famosos vecinos de Cambridge quien escribió a la revista Nature la carta que consiguió avivar el interés por el problema con una idea que sigue siendo una posibilidad viable incluso hoy.

Paul Dirac ocupó la cátedra lucaciana de matemáticas en Cambridge durante parte del tiempo en que Eddington estuvo viviendo en los observatorios. Las historias que se cuentan de Paul Dirac dejan muy claro que era un tipo con un carácter peculiar, y ejercía de matemático las 24 h. del día. Se pudo saber que su inesperada incursión en los grandes números fue escrita durante su viaje de novios (Luna de miel), en febrero de 1.937.

Aunque no muy convencido de las explicaciones de Eddington, escribió que era muy poco probable que números adimensionales muy grandes, que toman valores como 10^{40} y 10^{80} , sean accidentes independientes y no relacionados: debe existir alguna fórmula matemática no descubierta que liga las cantidades implicadas. Deben ser consecuencias más que coincidencias.

Esta es la hipótesis de los grandes números según Dirac:

“Dos cualesquiera de los números adimensionales muy grandes que ocurren en la naturaleza están conectados por una sencilla relación matemática, en la que los coeficientes son del orden de la unidad”.

Los grandes números de que se valía Dirac para formular esta atrevida hipótesis salían del trabajo de Eddington y eran tres:

$$\begin{aligned} N_1 &= (\text{tamaño del universo observable}) / (\text{radio del electrón}) \\ &= ct (e^2/m_e c^2) \approx 10^{40} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_2 &= \text{Razón fuerza electromagnética-a-gravitatoria entre protón y electrón} \\ &= e^2/Gm_e m_p \approx 10^{40} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N &= \text{número de protones en el universo observable} \\ &= c^3 t / Gm_p \approx 10^{80} \end{aligned}$$

Aquí t es la edad actual del universo, m_e es la masa de un electrón, m_p es la masa de un protón, G la constante de gravitación, c la velocidad de la luz y e la carga del electrón.

Según la hipótesis de Dirac, los números N_1 , N_2 y \sqrt{N} eran realmente iguales salvo pequeños factores numéricos del orden de la unidad. Con esto quería decir que debe haber leyes de la naturaleza que exijan fórmulas como $N_1 = N_2$, o incluso $N_1 = 2N_2$. Un número como 2 ó 3, no terriblemente diferente de 1 está permitido porque es mucho más pequeño que los grandes números implicados en la fórmula; esto es lo que él quería decir por “coeficientes.... del orden de la unidad”.

Esta hipótesis de igualdad entre grandes números no era en sí misma original de Dirac. Eddington y otros habían escrito antes relaciones muy semejantes, pero Eddington no había distinguido entre el número de partículas del universo observable, que se define como una esfera centrada en nosotros con un radio igual a la velocidad de la luz multiplicada por la edad actual del universo, o lo que es lo mismo:

$$\text{Universo observable: } R = 300.000 \times 13.500.000.000$$

El cambio radical expuesto por Dirac en su hipótesis de grandes números es que nos exige que creamos que un conjunto de constantes tradicionales de la naturaleza, como N_2 , debe estar cambiando a medida que el universo envejece en el tiempo, t :

$$N_1 \approx N_2 \approx \sqrt{N} \propto t$$

Puesto que Dirac había incluido dos combinaciones que contenían la edad del universo, t , en su catálogo de grandes números, la relación que él propone requiere que una combinación de tres de las constantes de la naturaleza tradicionales no sea constante en absoluto, sino que su valor debe aumentar continuamente a medida que el universo se hace más viejo, de modo que

$$e^2/Gm_p \propto t$$

Dirac decidió acomodar este requisito abandonando la constancia de la constante de gravitación de Newton. G. Sugirió que estaba decreciendo en proporción directa a la edad del universo en escalas de tiempo cósmicas, como

$$G \propto \frac{1}{t}$$

Así pues, en el pasado G era mayor y en el futuro será menor que lo que mide hoy. Ahora veremos que $N_1 \approx N_2 \approx \sqrt{N} \propto t$ y la enorme magnitud de los tres grandes números es una consecuencia de la gran edad del universo: todas aumentan con el paso del tiempo.

La propuesta de Dirac provocó un revuelo entre un grupo de científicos vociferantes que inundaron las páginas de las revistas especializadas de cartas y artículos a favor y en contra. Dirac, mientras tanto, mantenía su calma y sus tranquilas costumbres, pero escribió sobre su creencia en los grandes números cuya importancia encerraba la comprensión del universo con palabras que podrían haber sido de Eddington, pues reflejan muy estrechamente la filosofía de la fracasada “teoría fundamental”.

“¿No cabría la posibilidad de que todos los grandes sucesos presentes correspondan a propiedades de este Gran Número [10⁴⁰] y, generalizando aún más, que la historia entera del universo corresponda a propiedades de la serie entera de los números naturales...? Hay así una posibilidad de que el viejo sueño de los filósofos de conectar la naturaleza con las propiedades de los números enteros se realice algún día”.

La propuesta de Dirac levantó controversias entre los físicos, y Edward Teller en 1.948, demostró que si en el pasado la gravedad hubiera sido como dice Dirac, la emisión de la energía del Sol habría cambiado y la Tierra habría estado mucho más caliente en el pasado de lo que se suponía normalmente, los océanos habrían estado hirviendo en la era precámbrica, hace doscientos o trescientos millones de años, y la vida tal como la conocemos no habría sobrevivido, pese a que la evidencia geológica entonces disponi-

ble demostraba que la vida había existido hace al menos quinientos millones de años.

El eufórico George Gamow era buen amigo de Teller y respondió al problema del océano hirviente sugiriendo que podía paliarse si se suponía que las coincidencias propuestas por Dirac eran debidas a una variación temporal en e , la carga del electrón, con e^2 aumentando con el tiempo como requiere la ecuación $e^2/Gm_p \propto t$

Por desgracia, la propuesta de Gamow de una e variable tenía todo tipo de consecuencias inaceptables para la vida sobre la Tierra. Pronto se advirtió que la sugerencia de Gamow hubiera dado como resultado que el Sol habría agotado hace tiempo todo su combustible nuclear, no estaría brillando hoy si e^2 crece en proporción a la edad del universo. Su valor en el pasado demasiado pequeño habría impedido que se formaran estrellas como el Sol. Las consecuencias de haber comprimido antes su combustible nuclear, el hidrógeno, hubiera sido la de convertirse primero en gigante roja y después en enana blanca y, por el camino, en el proceso, los mares y océanos de la Tierra se habrían evaporado y la vida habría desaparecido de la faz del planeta.

Gamow tuvo varias discusiones con Dirac sobre estas variantes de su hipótesis de G variable. Dirac dio una interesante respuesta a Gamow con respecto a su idea de la carga del electrón, y con ello la constante de estructura fina, pudiera estar variando.

Recordando sin duda la creencia inicial de Eddington en que la constante de estructura fina era un número racional, escribe a Gamow en 1.961 hablándole de las consecuencias cosmológicas de su variación con el logaritmo de la edad del universo.

“Es difícil formular cualquier teoría firme sobre las etapas primitivas del universo porque no sabemos si hc/e^2 es constante o varía proporcionalmente a $\log(t)$. Si hc/e^2 fuera un entero tendría que ser una constante, pero los experimentadores dicen ahora que no es un entero, de modo que bien podría estar va-

riando. Si realmente varía, la química de las etapas primitivas sería completamente diferente, y la radiactividad también estaría afectada. Cuando empecé a trabajar sobre la gravedad esperaba encontrar alguna conexión entre ella y los neutrinos, pero esto ha fracasado.”

Dirac no iba a suscribir una e variable fácilmente, como solución al problema de los grandes números. Precisamente, su trabajo científico más importante había hecho comprensible la estructura de los átomos y el comportamiento del electrón, y dijo que existía el positrón. Todo ello basado en la hipótesis, compartida por casi todos, de que e era una verdadera constante, la misma en todo tiempo y todo lugar en el universo, un electrón y su carga negativa eran exactas en la Tierra y en el más alejado planeta de la más alejada estrella de la galaxia Andrómeda. Así que Gamow pronto abandonó la teoría de la e variable y concluyó que:

*“El valor de e se mantiene en pie como el Peñón de Gibraltar durante los últimos 6×10^9 años.” **

Pero lo que está claro es que, como ocurre siempre en ciencia, la propuesta de Dirac levantó una gran controversia que llevó a cientos de físicos a realizar pruebas y buscar más a fondo en el problema, lo que dio lugar a nuevos detalles importantes sobre el tema.

Alain Turing, pionero de la criptografía, estaba fascinado por la idea de la gravedad variable de Dirac, y especuló sobre la posibilidad de probar la idea a partir de la evidencia fósil, preguntando si “un paleontólogo podría decir, a partir de la huella de un animal extinto, si su peso era el que se suponía”.

El gran biólogo J.B.S. Haldane se sintió también atraído por las posibles consecuencias biológicas de las teorías cosmológicas en que las “constantes” tradicionales cambian con el paso del tiempo o donde los procesos

* 6.000 millones de años era la estimación de la edad del universo en esa época corregido en 1.953.

gravitatorios se despliegan de acuerdo con un reloj cósmico diferente del de los procesos atómicos (¿será precisamente por eso que la relatividad general – el cosmos –, no se lleva bien con la mecánica cuántica – el átomo –?).

Tales universos de dos tiempos habían sido propuestos por Milne y fueron las primeras sugerencias de que G podría no ser constante. Unos procesos, como la desintegración radiactiva o los ritmos de interacción molecular, podrían ser constantes sobre una escala de tiempo pero significativamente variables con respecto a la otra. Esto daba lugar a un escenario en el que la bioquímica que sustentaba la vida sólo se hacía posible después de una particular época cósmica, Haldane sugiere que:

“Hubo, de hecho, un momento en el que se hizo posible por primera vez vida de cualquier tipo, y las formas superiores de vida sólo pueden haberse hecho posibles en una fecha posterior. Análogamente, un cambio en las propiedades de la materia puede explicar algunas de las peculiaridades de la geología precámbrica.”

Este imaginativo escenario no es diferente del que ahora se conoce como “equilibrio interrumpido”, en el que la evolución ocurre en una sucesión discontinua de brotes acelerados entre los que se intercalan largos períodos de cambio lento. Sin embargo, Haldane ofrece una explicación para los cambios.

Lo que tienen en común todas estas respuestas a las ideas de Eddington y Dirac es una apreciación creciente de que las **constantes de la naturaleza** desempeñan un papel cosmológico vital:

Existe un lazo entre la estructura del universo en conjunto y las condiciones locales internas que se necesitan para que la vida se desarrolle y persista. Si las constantes tradicionales varían, entonces las teorías astronómicas tienen grandes consecuencias para la biología, la geología y la propia vida.

No podemos descartar la idea ni abandonar la posibilidad de que algunas “constantes” tradicionales de la naturaleza pudieran estar variando muy lentamente durante el transcurso de los miles de millones de años de la historia del universo. Es comprensible por tanto el interés por los grandes números que incluyen las constantes de la naturaleza. Recordemos que Newton nos trajo su teoría de la Gravedad Universal, que más tarde mejora Einstein y que, no sería extraño, en el futuro mejorará algún otro con una nueva teoría más completa y ambiciosa que explique lo grande (el cosmos) y lo pequeño (el átomo), las partículas (la materia) y la energía por interacción de las cuatro fuerzas fundamentales.

¿Será la teoría de Supercuerdas ese futuro?

Me referiré ahora aquí a un físico extraño. Se sentía igualmente como-
do como matemático, como físico experimental, como destilador de datos
astronómicos complicados o como diseñador de sofisticados instrumentos
de medida.

Tenía los intereses científicos más amplios y diversos que imaginarse
pueda. Él decía que al final del camino todos los conocimientos convergen
en un solo punto, el saber.

Así de curioso, ya podéis imaginar que fue uno de los que de inmediato se puso manos a la obra para comprobar la idea de la **constante gravitatoria variable** de Dirac que podía ser sometida a una gran cantidad de pruebas observacionales, utilizando los datos de la geología, la paleontología, la astronomía, la física de laboratorio y cualquier otro que pudiera dar una pista sobre ello. No estaba motivado por el deseo de explicar los grandes números. Hacia mediados de la década de los 60 hubo una motivación adicional para desarrollar una extensión de la teoría de la gravedad de Einstein que incluye una G variable. En efecto, durante un tiempo pareció que las predicciones de Einstein no coincidían en lo referente o sobre el cambio de órbita de Mercurio que era distinta a las observaciones cuando se tenía en cuenta la forma ligeramente achatada del Sol.

Robert Dicke, que este era el nombre del extraño personaje, y su estudiante de investigación Carl Brans, en 1.961, demostraron que si se permitía una variación de G con el tiempo, entonces podía elegirse un ritmo de cambio para tener un valor que coincidiera con las observaciones de la órbita de Mercurio. Lamentablemente, se descubrió que todo esto era una pérdida de tiempo. El desacuerdo con la teoría de Einstein a inexactitudes de nuestros intentos de medir el diámetro del Sol que hacían que este pareciera tener una forma de órbita diferente a la real. Con su turbulenta superficie, en aquel tiempo, no era fácil medir el tamaño del Sol. Así que, una vez resuelto este problema en 1.977, desapareció la necesidad de una G variable para conciliar la observación con la teoría.

De todas las maneras, lo anterior no quita importancia al trabajo realizado por Dicke que preparó una revisión importante de las evidencias geofísicas, paleontológicas y astronómicas a favor de posibles variaciones de las constantes físicas tradicionales. Hizo la interesante observación de explicar los “grandes números” de Eddington y Dirac bajo el apunte de que allí tenía que subyacer algún aspecto biológico que de momento no éramos capaces de ver.

“El problema del gran tamaño de estos números es ahora fácil de explicar... Hay un único número adimensional grande que tiene su origen estático. Este es el número de partículas del universo. La edad del universo “ahora” no es aleatoria sino que está condicionada por factores biológicos... porque algún cambio en los valores de grandes números impedirían la existencia del hombre para considerar el problema”.

Cuatro años más tarde desarrolló esta importante intuición con más detalle, con especial referencia a las coincidencias de los grandes números de Dirac, en una breve carta que se publicó en la revista Nature. Dicke argumentaba que formas de vidas bioquímicas como nosotros mismos deben su propia base química a elementos tales como el carbono, nitrógeno, el oxígeno y el fósforo que son sintetizados tras miles de millones de años de evolución estelar en la secuencia principal. (El argumento se aplica con la misma fuerza a cualquier forma de vida basada en cualesquiera elementos atómicos

más pesados que el helio). Cuando las estrellas mueren, las explosiones que constituyen las supernovas dispersan estos elementos biológicos “pesados” por todo el espacio, de donde son incorporados en granos, planetesimales, planetas, moléculas “inteligentes” auto replicantes como ADN y, finalmente, en nosotros mismos que, en realidad, estamos hechos de polvo de estrellas.

Esta escala temporal está controlada por el hecho de que las constantes fundamentales de la naturaleza sean

$$t(\text{estrellas}) \approx (Gm_p^2 / hc)^{-1} h/m_p c^2 \approx 10^{40} \times 10^{-23} \text{ segundos} \approx \\ \approx 10.000 \text{ millones de años}$$

No esperaríamos estar observando el universo en tiempos significativamente mayores que $t(\text{estrellas})$, puesto que todas las estrellas estables se habrían expandido, enfriado y muerto. Tampoco seríamos capaces de ver el universo en tiempos mucho menores que $t(\text{estrellas})$ porque no podríamos existir; no había estrellas ni elementos pesados como el carbono. Parece que estamos amarrados por los hechos de la vida biológica para mirar el universo y desarrollar teorías cosmológicas una vez que haya transcurrido un tiempo $t(\text{estrellas})$ desde el Big Bang.

Así pues, el valor que del gran número nos dio Dirac $N(t)$ no es en absoluto aleatorio. Debe tener un valor próximo al que toma $N(t)$ cuando t está cercano el valor $t(\text{estrella})$.

Todo lo que la coincidencia de Dirac dice es que vivimos en un tiempo de la Historia Cósmica posterior a la formación de las estrellas y anterior a su muerte. Esto no es sorprendente. Dicke nos está diciendo que no podríamos dejar de observar la coincidencia de Dirac: es un requisito para que exista vida como la nuestra

De esta forma Dicke nos vino a decir que:

“Para que el universo del Big Bang contenga las ladrillos básicos necesarios para la evolución posterior de la complejidad biológica-química debe tener una edad al menos tan larga, como el tiempo que se necesita para las reacciones nucleares en las estrellas produzcan esos elaborados elementos.”

Esto significa que el universo observable debe tener al menos diez mil millones de años y por ello, puesto que se está expandiendo, debe tener un tamaño de al menos diez mil millones de años luz. No podríamos existir en un universo que fuera significativamente más pequeño.

Un argumento hermosamente simple con respecto a la inevitabilidad del gran tamaño del universo para nosotros aparece por primera vez en el texto de las Conferencias Bampton impartidas por el teólogo de Oxford, Eric Mascall. Fueron publicadas en 1.956 y el autor atribuye la idea básica a Gerad Whitrow.

Estimulado por las sugerencias Whitrow, escribe:

“Si tenemos tendencia a sentirnos intimidados sólo por el tamaño del universo, está bien recordar que en algunas teorías cosmológicas existe una conexión directa entre la cantidad de materia en el universo y las condiciones en cualquier porción limitada del mismo, de modo que en efecto puede ser necesario que el universo tenga el enorme tamaño y la enorme complejidad que la astronomía moderna ha revelado para que la Tierra sea un posible hábitat para seres vivos.”

Esta simple observación puede ampliarse para ofrecernos una comprensión profunda de los sutiles lazos que existen entre aspectos superficialmente diferentes del universo que vemos a nuestro alrededor y las propiedades

Claro que los procesos de la alquimia estelar necesitan tiempo: miles de millones de años de tiempo. Y debido a que nuestro universo se está ex-

pandiendo, tiene que tener un tamaño de miles de millones de años-luz para que durante ese periodo de tiempo necesario pudiera haber fabricado los componentes y elementos complejos para la vida. Un universo que fuera sólo del tamaño de nuestra Vía Láctea, con sus cien mil millones de estrellas resultaría insuficiente, su tamaño sería sólo de un mes de crecimiento-expansión y no habría producido esos elementos básicos para la vida.

El universo tiene la curiosa propiedad de hacer que los seres vivos piensen que sus inusuales propiedades son poco propicias para la vida, para la existencia de vida, cuando de hecho, es todo lo contrario; las propiedades del universo son esenciales para la vida. Lo que ocurre es que en el fondo tenemos miedo; nos sentimos muy pequeños ante la enorme extensión y tamaño del universo que nos acoge. Sabemos aún muy poco sobre sus misterios, nuestras capacidades son limitadas y al nivel de nuestra tecnología actual estamos soportando el peso de una gran ignorancia sobre muchas cuestiones que necesitamos conocer. Con sus miles de millones de galaxias y sus cientos de miles de millones de estrellas, si niveláramos todo el material del universo para conseguir un mar uniforme de materia, nos daríamos cuenta de lo poco que existe de cualquier cosa. La media de materia del universo está en aproximadamente 1 átomo por cada metro cúbico de espacio. Ningún laboratorio de la Tierra podría producir un vacío artificial que fuera remotamente parecido al vacío del espacio estelar. El vacío más perfecto que hoy podemos alcanzar en un laboratorio terrestre contiene aproximadamente mil millones de átomos por m^3 .

Esta nueva manera de mirar el universo nos da nuevas ideas, no todo el espacio son agujeros negros, estrellas de neutrones, galaxias y desconocidos planetas; la verdad es que casi todo el universo está vacío y sólo en algunas regiones tiene agrupaciones de materia en forma de estrellas y otros objetos estelares y cosmológicos; muchas de sus propiedades y características más sorprendentes (su inmenso tamaño y su enorme edad, la soledad y oscuridad del espacio) son condiciones necesarias para que existan observadores inteligentes como nosotros. No debería sorprendernos la vida extraterrestre; si existe, pudiera ser tan rara y lejana para nosotros como en realidad nos ocurre aquí mismo en la Tierra, donde compartimos hábitat con otros seres vivos con los que hemos sido incapaces de comunicarnos, a pesar de que esas

formas de vida, como la nuestra, están basadas también en el carbono. No se puede descartar formas de vida inteligente basadas en otros elementos, como por ejemplo, el silicio.

La baja densidad media de materia en el universo significa que si agregáramos material en estrellas o galaxias, deberíamos esperar que las distancias medias entre objetos fueran enormes.

El universo visible contiene sólo:

- 1 átomo por metro cúbico
- 1 Tierra por $(10 \text{ años luz})^3$
- 1 Estrella por $(10^3 \text{ años luz})^3$
- 1 Galaxia por $(10^7 \text{ años luz})^3$
- 1 “Universo” por $(10^{10} \text{ años luz})^3$

El cuadro expresa la densidad de materia del universo de varias maneras diferentes que muestran el alejamiento que cabría esperar entre los planetas, estrellas y galaxias. No debería sorprendernos que encontrar vida extraterrestre sea tan raro.

El filósofo existencialista Kart Jaspers se sintió provocado por los escritos de Eddington a considerar el significado de nuestra existencia en un lugar particular en una época particular de la historia cósmica.

En su influyente libro “Origen y meta de la historia”, escrito en 1.949, poco después de la muerte de Eddington, pregunta:

“¿Por qué vivimos y desarrollamos nuestra historia en este punto concreto del espacio infinito, en un minúsculo grano de polvo en el universo, un rincón marginal? ¿Por qué precisamente ahora en el tiempo infinito? Estas son cuestiones cuya insolubilidad nos hace conscientes de un enigma.

El hecho fundamental de nuestra existencia es que parecemos estar aislados en el cosmos. Somos los únicos seres racionales capaces de expresarse en el silencio del universo. En la historia del Sistema Solar se ha dado en la Tierra, durante un periodo de tiempo infinitesimalmente corto, una situación en la que los seres humanos evolucionan y adquieran conocimientos que incluye el ser conscientes de sí mismos y de existir... Dentro del Cosmos ilimitado, en un minúsculo planeta, durante un minúsculo periodo de tiempo de unos pocos milenios, algo ha tenido lugar como si este planeta fuera lo que abarca todo, lo auténtico. Este es el lugar, una mota de polvo en la inmensidad del cosmos, en el que el ser ha despertado con el hombre”.

Hay aquí algunas grandes hipótesis sobre el carácter único de la vida humana en el universo (creo que equivocada). En cualquier caso se plantea la pregunta, aunque no se responde, de por qué estamos aquí en el tiempo y lugar en que lo hacemos. Hemos visto que la cosmología moderna puede ofrecer algunas respuestas esclarecedoras a estas preguntas.

En mi anterior trabajo quedaron reflejadas todas las respuestas a estas preguntas. Nada sucede porque sé, todo es consecuencia directa de la causalidad. Cada suceso tiene su razón de ser en función de unos hechos anteriores, de unas circunstancias, de unos fenómenos concretos que de no haberse producido, tampoco el tal suceso se habría significado, simplemente no existiría. Con la vida en nuestro planeta, ocurrió igual. Una atmósfera primitiva evolucionada, la composición primigenia de los mares y océanos con sus compuestos, expuestos al bombardeo continuo de radiación del espacio exterior que llegaba en ausencia de la capa de ozono, la temperatura ideal en relación a la distancia del Sol a la Tierra y otra serie de circunstancias muy concretas, como la edad del Sistema Solar y los componentes con elementos complejos del planeta Tierra, hecho del material estelar evolucionado a partir de supernovas, todos estos elementos y circunstancias especiales en el espacio y en el tiempo, hicieron posible el nacimiento de esa primera célula que fue capaz de reproducirse a sí misma y que, miles de años después, hizo posible que evolucionara hasta lo que hoy es el hombre que, a partir de ma-

teria inerte, se convirtió en un ser pensante que ahora es capaz de exponer aquí mismo estas cuestiones. ¡Es verdaderamente maravilloso!

El entorno cambiante en un universo en expansión como el nuestro, a medida que se enfriá y envejece (la entropía) es posible que se formen átomos, moléculas, galaxias, estrellas, planetas y organismos vivos. En el futuro, las estrellas agotaran su combustible nuclear y morirán todas. En función de sus masas serán estrellas enanas blancas (como nuestro Sol), estrellas de neutrones (a partir de 1'5 masas sobre hasta 3 masas solares) y agujeros negros a partir de 3 masas solares. Hay un recorrido de historia cósmica en el que nuestro tipo de evolución biológica debe ocurrir bajo esas circunstancias especiales a las que antes me referí.

¿El destino final?

No podemos saber cuándo, pero sí tenemos una idea muy clara de cómo será dicho final. El universo es todo lo que existe, incluyendo el espacio, el tiempo y la materia. El estudio del universo es la cosmología, que distingue entre el Universo con “U” mayúscula, significando el cosmos y su contenido, y el universo con “u” minúscula, que es normalmente un modelo matemático deducido de alguna teoría. El universo real está constituido en su mayoría por espacios aparentemente vacíos, existiendo materia concentrada en galaxias formadas por estrellas y gas. El universo se está expandiendo, de manera que el espacio entre las galaxias está aumentando gradualmente, provocando un desplazamiento al rojo cosmológico en la luz procedente de los objetos distantes.*

Existe una evidencia creciente de que el espacio está o puede estar lleno de una materia invisible, “materia oscura”, que puede constituir muchas veces la masa total de las galaxias visibles (materia bariónica). Sabemos que el origen más probable del universo está en la teoría conocida como del Big Bang que, a partir de una singularidad de una densidad y energía infinita,

* Los objetos que se alejan, desplazan su luz hacia el rojo. Si se acercan, su luz se desplaza hacia el azul. (**Efecto Doppler**)

hace ahora unos 15 mil millones de años, surgió una inmensa bola de fuego que desde entonces no ha dejado de expandirse y enfriarse.

En el proceso, nació el tiempo y el espacio, surgieron las primeros quarks que pudieron unirse para formar protones y electrones que formaron los primeros núcleos y, cuando estos núcleos fueron rodeados por los electrones, nacieron los átomos que evolucionando y juntándose hicieron posible la materia; todo ello, interaccionado por cuatro fuerzas fundamentales que, desde entonces, por la rotura de la simetría original divididas en cuatro parcelas distintas, rigen el universo. La fuerza nuclear fuerte responsable de mantener unidos los nucleones, la fuerza nuclear débil, responsable de la radiactividad natural desintegrando elementos como el uranio, el electromagnetismo que es el responsable de todos los fenómenos eléctricos y magnéticos, y la fuerza de gravedad que mantiene unidos los planetas y las galaxias.

Pero hemos llegado a saber que el universo podrá ser abierto o cerrado. Un universo que siempre se expande y tiene una vida infinita es abierto. Esto es un universo de Friedmann que postuló que el nuestro tenía una densidad menor que la densidad crítica.

El universo cerrado es el que es finito en tamaño, tiene una vida finita y en el que el espacio está curvado positivamente. Un universo de Friedman con la densidad mayor que la densidad crítica.

El universo en expansión es el que el espacio entre los objetos está aumentando continuamente. En el universo real, los objetos vecinos como los pares de galaxias próximas entre sí no se separan debido a que su atracción gravitatoria mutua supera los efectos de la expansión cosmológica (el caso de la Vía Láctea y Andrómeda). No obstante, la distancia entre dos galaxias muy separadas, o entre dos cúmulos de galaxias, aumenta con el paso del tiempo y la expansión imparable del universo.

El universo real está en función de la **densidad crítica** que es la densidad media de materia requerida para que la gravedad detenga la expansión del universo. Un universo con una densidad muy baja se expandirá para

siempre, mientras que uno con densidad muy alta colapsara finalmente. Un universo con exactamente la densidad crítica, alrededor de 10^{-29}g/cm^3 , es descrito por el modelo de universo de Einstein-de Sitter, que se encuentra en la línea divisoria de estos dos extremos. Pero la densidad media de materia que puede ser observada directamente en nuestro universo no representa la cantidad necesaria para generar la fuerza de gravedad que se observa en la velocidad de alejamiento de las galaxias, que necesita mucha más materia que la observada para generar esta fuerza gravitatoria, lo que nos da una prueba irrefutable de que ahí fuera, en el espacio entre galaxias, está oculta esa otra materia invisible, la “materia oscura”, que nadie sabe lo que es, cómo se genera o de qué está hecha. Así que, cuando seamos capaces de abrir esa puerta cerrada ante nuestras narices, podremos por fin saber la clase de universo que vivimos; si es plano, si es abierto e infinito, o si es un universo que, por su contenido enorme de materia es curvo y cerrado.

Pero la respuesta a la pregunta, aún sin saber exactamente cuál es la **densidad crítica** del universo, sí podemos contestarla en dos vertientes, en la seguridad de que al menos una de las dos es la verdadera.

El destino final será:

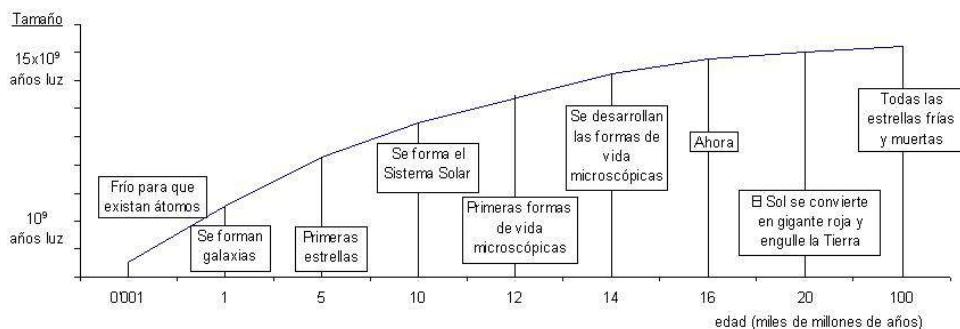
- a) Si el universo es abierto y se expande para siempre, cada vez se hará más frío, las galaxias se alejarán las unas de las otras, la entropía hará desaparecer la energía y el frío será tal que la temperatura alcanzará el cero absoluto, -273°K . La vida no podrá estar presente.
- b) Si el universo es cerrado por contener una mayor cantidad de materia, llegará un momento en que la fuerza de gravedad detendrá la expansión de las galaxias, que poco a poco se quedarán quietas y muy lentamente, comenzaran a moverse en el sentido inverso; correrán ahora las unas hacia las otras hasta que un día, a miles de millones de años en el futuro, todo la materia del universo se unirá en una enorme bola de fuego, el Big Crunch. Se formará una enorme concentración de materia de energía y densidad infinitas. Habrá dejado de existir el espacio y el tiempo. Nacerá una singularidad que, seguramente, dará lugar a otro Big Bang. Todo empezará de nuevo,

otro universo, otro ciclo ¿pero aparecemos también nosotros en ese nuevo universo?

Esta pregunta sí que no sé contestarla.

Así las cosas, no parece que el futuro de la Humanidad sea muy alentador. Claro que los optimistas nos hablan de hiperespacio y universos paralelos a los que, para ese tiempo, ya habremos podido desplazarnos garantizando la continuidad de la especie Humana. Bien pensado, si no fuera así ¿para qué tantas dificultades vencidas y tantas calamidades pasadas? ¿Para terminar congelados o consumidos por un fuego abrasador?

¡Quién pudiera contestar a eso!



BIOLOGÍA Y ESTRELLAS

¿Es viejo el universo?

“Las cuatro edades del hombre: Lager, Aga, Saga y Gaga”.

Anónimo.

Cuando pensamos en la edad y el tamaño del universo lo hacemos generalmente utilizando medidas de tiempo y espacio como años, kilómetros o años-luz. Como ya hemos visto, estas medidas son extraordinariamente antropomórficas. ¿Por qué medir la edad del universo con un “reloj” que hace “tic” cada vez que nuestro planeta completa una órbita alrededor de su estrella madre, el Sol? ¿Por qué medir su densidad en términos de átomos por metro cúbico? Las respuestas a estas preguntas son por supuesto la misma: porque es conveniente y siempre lo hemos hecho así.

Ésta es una situación en donde resulta especialmente apropiado utilizar las unidades “naturales”; la masa, longitud y tiempo de Stoney y Planck, las que ellos introdujeron en la ciencia física para ayudarnos a escapar de la camisa de fuerza que suponía la perspectiva centrada e el ser humano.

Es fácil caer en la tentación de mirarnos el ombligo y no hacerlo al entorno que nos rodea. Muchas más cosas habríamos evitado y habríamos descubierto si por una sola vez hubiésemos dejado el ego a un lado y, en lugar de estar pendientes de nosotros mismos, lo hubiéramos hecho con respecto a la naturaleza que, en definitiva, es la que nos enseña el camino a seguir.

La edad actual del universo visible $\approx 10^{60}$ tiempos de Planck

Tamaño actual del Universo visible $\approx 10^{60}$ longitudes de Planck

La masa actual del Universo visible $\approx 10^{60}$ masas de Planck

Vemos así que la bajísima densidad de materia en el universo es un reflejo del hecho de que:

Densidad actual del universo visible $\approx 10^{-120}$ de la densidad de Planck

Y la temperatura del espacio, a 3 grados sobre el cero absoluto es, por tanto

Temperatura actual del Universo visible $\approx 10^{-30}$ de la Planck

Estos números extraordinariamente grandes y estas fracciones extraordinariamente pequeñas nos muestran inmediatamente que el universo está estructurado en una escala sobrehumana de proporciones asombrosas cuando la sopesamos en los balances de su propia construcción.

Con respecto a sus propios patrones, el universo es viejo. El tiempo de vida natural de un mundo gobernado por la gravedad, la relatividad y la mecánica cuántica es el fugaz breve tiempo de Planck. Parece que es mucho más viejo de lo que debería ser.

Pero, pese a la enorme edad del universo en “tics” de Tiempo de Planck, hemos aprendido que casi todo este tiempo es necesario para producir estrellas y los elementos químicos que traen la vida.

“En el final del universo uno tiene que utilizar mucho el tiempo pretérito... todo ha sido hecho, ¿sabes?”.

Douglas Adams

¿Por qué nuestro universo no es mucho más viejo de lo que parece ser? Es fácil entender por qué el universo no es mucho más joven. Las estrellas tardan mucho tiempo en formarse y producir elementos más pesados que son los que requiere la complejidad biológica. Pero los universos viejos también tienen sus problemas. Conforme para el tiempo en el universo el proceso de formación de estrellas se frena. Todo el gas y el polvo cósmico

que constituyen las materias primas de las estrellas habrían sido procesados por las estrellas y lanzados al espacio intergaláctico donde no pueden enfriarse y fundirse en nuevas estrellas. Pocas estrellas hacen que, a su vez, también sean pocos los sistemas solares y los planetas. Los planetas que se forman son menos activos que los que se formaron antes, la entropía va debilitando la energía del sistema para realizar trabajo. La producción de elementos radiactivos en las estrellas disminuirá, y los que se formen tendrán semividas más largas. Los nuevos planetas serán menos activos geológicamente y carecerán de muchos de los movimientos internos que impulsan el vulcanismo, la deriva continental y la elevación de las montañas en el planeta. Si esto también hace menos probable la presencia de un campo magnético en un planeta, entonces será muy poco probable que la vida evolucione hasta formas complejas.

Las estrellas típicas como el Sol, emiten desde su superficie un viento de partículas cargadas eléctricamente que barre las atmósferas de los planetas en órbitas a su alrededor y, a menos que el viento pueda ser desviado por un campo magnético, los posibles habitantes de ese planeta lo podrían tener complicado soportando tal lluvia de radiactividad. En nuestro sistema solar el campo magnético de la Tierra ha protegido su atmósfera del viento solar, pero Marte, que no está protegido por ningún campo magnético, perdió su atmósfera hace tiempo.

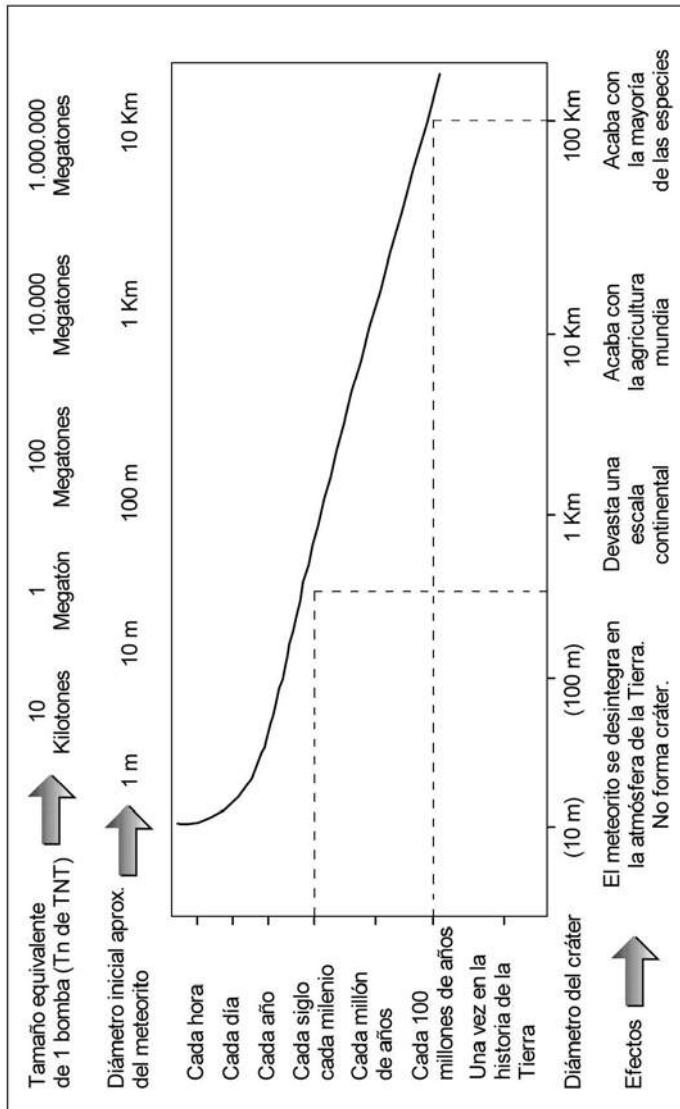
Probablemente no es fácil mantener una larga vida en un planeta del Sistema solar. Poco a poco hemos llegado a apreciar cuán precaria es. Dejando a un lado los intentos que siguen realizando los seres vivos de extinguirse a sí mismos, agotar los recursos naturales, propagar infecciones letales y venenos mortales y emponzoñar la atmósfera, también existen serias amenazas exteriores.

Los movimientos de cometas y asteroides, a pesar de tener la defensa de Júpiter, son una seria y cierta amenaza para el desarrollo y persistencia de vida inteligente en las primeras etapas. Los impactos no han sido infrecuentes en el pasado lejano de la Tierra, habiendo tenido efectos catastróficos. Somos afortunados al tener la protección de la Luna y de la enorme masa de

Júpiter que atrae hacia sí los cuerpos que llegan desde el exterior desviándolos de su probable trayectoria hacia nuestro planeta.

La caída en el planeta de uno de estos enormes pedruscos podría producir extinciones globales y retrasar en millones de años la evolución.

Frecuencia media de los impactos de meteoritos de diferentes tamaños en la superficie de la Tierra.
El diámetro del meteorito y del cráter que dejaría en la superficie, así como los efectos causados.



Frecuencia de impacto en la superficie de la Tierra

Cuando comento este tema no puedo evitar el recuerdo del meteorito caído en la Tierra que impactó en la península de Yucatán hace 65 millones de años, al final de la Era Mesozoica, cuando según todos los indicios, los dinosaurios se extinguieron. Sin embargo, aquel suceso catastrófico para los grandes lagartos, en realidad supuso que la Tierra fue rescatada de un callejón sin salida evolutivo. Parece que los dinosaurios evolucionaron por una vía que desarrollaba el tamaño físico antes que el tamaño cerebral.

La desaparición de los dinosaurios junto con otras formas de vida sobre la Tierra en aquella época, hizo un hueco para la aparición de los mamíferos. Se desarrolló la diversidad una vez desaparecidos los grandes depredadores. Así que, al menos en este caso concreto, el impacto nos hizo un gran favor, ya que hizo posible que 65 millones de años más tarde pudiéramos llegar nosotros. Los dinosaurios dominaron el planeta durante 150 millones de años; nosotros, en comparación, llevamos tres días y, desde luego, ¡la que hemos formado!

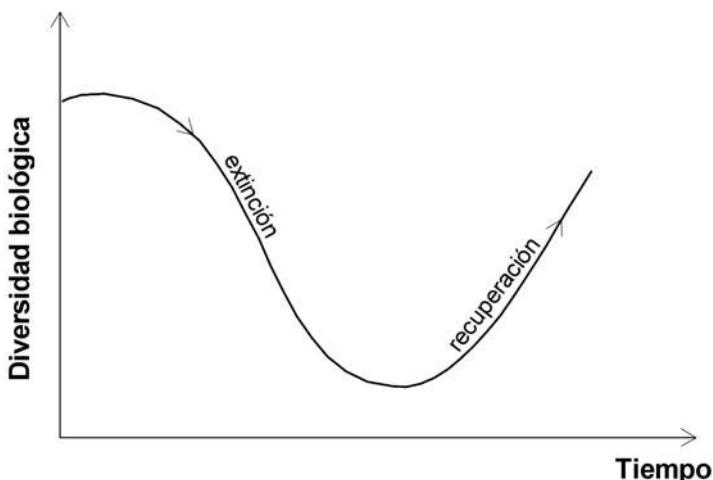


Gráfico: Pauta de la respuesta a una crisis medioambiental que causa extinción en masa.

En nuestro sistema solar la vida se desarrolló por primera vez sorprendentemente pronto tras la formación de un entorno terrestre hospitalario. Hay algo inusual en esto.

El secreto reside en el tiempo biológico necesario para desarrollar la vida y el tiempo necesario para desarrollar estrellas de segunda generación y siguientes que en novas y supernovas cristalicen los materiales complejos necesarios para la vida, tales como el hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, carbono, etc.

Parece que la similitud en los “tiempos” no es una simple coincidencia. El argumento, en su forma más simple, lo introdujo Brandon Carter y lo desarrolló John D. Barrow por un lado y por Frank Tipler por otro. Al menos, en el primer sistema solar habitado observado, ¡el nuestro!, parece que sí hay alguna relación entre $t(\text{bio})$ y $t(\text{estrella})$ que son aproximadamente iguales; el $t(\text{bio})$ – tiempo biológico para la aparición de la vida – algo más extenso.

La evolución de una atmósfera planetaria que sustente la vida requiere una fase inicial durante la cual el oxígeno es liberado por la fotodisociación de vapor de agua. En la Tierra esto necesitó 2.400 millones de años y llevó el oxígeno atmosférico a aproximadamente una milésima de su valor actual. Cabría esperar que la longitud de esta fase fuera inversamente proporcional a la intensidad de la radiación en el intervalo de longitudes de onda del orden de 1000-2000 ángstroms, donde están los niveles moleculares clave para la absorción de agua.

Este simple modelo indica la ruta que vincula las escalas del tiempo bioquímico de evolución de la vida y la del tiempo astrofísico que determina el tiempo requerido para crear un ambiente sustentado por una estrella estable que consume hidrógeno en la secuencia principal y envía luz y calor a los planetas del Sistema Solar que ella misma forma como objeto principal.

A muchos les cuesta trabajo admitir la presencia de vida en el universo como algo natural y corriente, ellos abogan por la inevitabilidad de un uni-

verso grande y frío en el que es difícil la aparición de la vida, y en el supuesto de que ésta aparezca, será muy parecida a la nuestra.

Los biólogos, sin embargo, parecen admitir sin problemas la posibilidad de otras formas de vida, pero no están tan seguros de que sea probable que se desarrollen espontáneamente, sin un empujón de formas de vida basadas en el carbono. La mayoría de las estimaciones de la probabilidad de que haya inteligencias extraterrestres en el universo se centran en formas de vida similares a nosotros que habiten en planetas parecidos a la Tierra y que necesiten agua y oxígeno o similar con una atmósfera gaseosa y las demás condiciones de la distancia entre el planeta y su estrella, la radiación recibida, etc. En este punto, parece lógico recordar que antes de 1.957 se descubrió la coincidencia entre los valores de las **constantes de la Naturaleza** que tienen importantes consecuencias para la posible existencia de carbono y oxígeno, y con ello para la vida en el universo.

“Si te matan, has perdido una parte importante de su vida.”

Brooke Shields

Hay una coincidencia o curiosidad adicional que existe entre el tiempo de evolución biológico y la astronomía. Puesto que no es sorprendente que las edades de las estrellas típicas sean similares a la edad actual del universo, hay también una aparente coincidencia entre la edad del universo y el tiempo que ha necesitado para desarrollar formas de vida como nosotros.

Si miramos retrospectivamente cuánto tiempo han estado en escena nuestros ancestros inteligentes (*Homo Sapiens*) vemos que han sido sólo unos doscientos mil años, mucho menos que la edad del universo, trece mil millones de años, o sea, menos de dos centésimos de la Historia del Universo. Pero si nuestros descendientes se prolongan en el futuro indefinidamente, la situación dará la vuelta y cuando se precise el tiempo que llevamos en el universo, se hablará de miles de millones de años.

Brandon Carter y Richard Gott han argumentado que esto parece hacer-nos bastante especiales comparados con observadores en el futuro muy leja-no.

Moriarty: *todo lo que tengo que decir ya ha cruzado por su mente.*

Holmes: *Entonces posiblemente mi respuesta haya cruzado por la suya.*

Arthur Conan Doyle

Podríamos imaginar fácilmente números diferentes para las constantes de la Naturaleza de forma tal que los mundos también serían distintos al planeta Tierra y la vida no sería posible en ellos. Aumentemos la constante de estructura fina más grande y no podrá haber átomos, hagamos la intensidad de la gravedad mayor y las estrellas agotarán su combustible muy rápidamente, reduzcamos la intensidad de las fuerzas nucleares y no podrá haber bioquímica, y así sucesivamente.

“Yo tengo mis propias opiniones – opiniones muy firmes – pero no siempre estoy de acuerdo con ellas.”

George W. Bush

Hay cambios infinitesimales que seguramente podrían ser soportados sin notar cambios perceptibles, como por ejemplo en la vigésima cifra decimal de la constante de estructura fina. Si el cambio se produjera en la segunda cifra decimal, los cambios serían muy importantes. Las propiedades de los átomos se alteran y procesos complicados como el plegamiento de las proteínas o la replicación del ADN pueden verse afectados de manera adver-sa. Sin embargo, para la complejidad química pueden abrirse nuevas posibilidades. Es difícil evaluar las consecuencias de estos cambios, pero está claro que, si los cambios consiguen cierta importancia, los núcleos dejarían

de existir, no se formarían células y la vida se ausentaría del planeta, siendo imposible alguna forma de vida.

Las constantes de la naturaleza ¡son intocables!

Ahora sabemos que el universo tiene que tener miles de millones de años para que haya transcurrido el tiempo necesario para que los ladrillos de la vida sean fabricados en las estrellas y la gravedad nos dice que la edad del universo está directamente ligada con otras propiedades como la densidad, temperatura, y el brillo del cielo.

Puesto que el universo debe expandirse durante miles de millones de años, debe llegar a tener una extensión visible de miles de millones de años luz. Puesto que su temperatura y densidad disminuyen a medida que se expande, necesariamente se hace frío y disperso. Como hemos visto, la densidad del universo es hoy de poco más que 1 átomo por m^3 de espacio. Traducida en una medida de las distancias medias entre estrellas o galaxias, esta densidad tan baja muestra por qué no es sorprendente que otros sistemas estelares estén tan alejados y sea difícil el contacto con extraterrestres. Si existen en el universo otras formas de vida avanzada, entonces, como nosotros, habrán evolucionado sin ser perturbadas por otros seres de otros mundos hasta alcanzar una fase tecnológica avanzada.

La expansión del universo es precisamente la que ha hecho posible que el alejamiento entre estrellas, con sus enormes fuentes de radiación, no incidieran en las células orgánicas que más tarde evolucionarían hasta llegar a nosotros. Diez mil millones de años de alejamiento continuado y el enfriamiento que acompaña a dicha expansión permitieron que, con la temperatura ideal y una radiación baja, los seres vivos continuaran su andadura en este planeta minúsculo, situado en la periferia de la galaxia que comparado al conjunto de esta, es sólo una mota de polvo donde unos insignificantes seres laboriosos, curiosos y osados, son conscientes de estar allí y están pretendiendo determinar las leyes, no ya de su mundo o de su galaxia, sino que su osadía ilimitada les lleva a pretender conocer el destino de todo el universo.

Cuando a solas pienso en todo esto, la verdad es que no me siento nada insignificante y nada humilde ante la inmensidad de los cielos. Las estrellas pueden ser enormes y juntas, formar inmensas galaxias... pero no pueden pensar ni amar; no tienen curiosidad, ni en ellas está el poder de ahondar en el porqué de las cosas. Nosotros sí podemos hacer todo eso y más.

La estructura de los átomos y las moléculas está controlada casi por completo por dos números: la razón entre las masas del electrón y el protón, β , que es aproximadamente igual a $1/1.836$, y la constante de estructura fina, α , que es aproximadamente $1/137$. Supongamos que permitimos que estas dos constantes cambien su valor de forma independiente y supongamos también (para hacerlo sencillo) que ninguna otra constante de la Naturaleza cambie. ¿Qué le sucede al mundo si las leyes de la naturaleza siguen siendo las mismas?

Si deducimos las consecuencias pronto encontramos que no hay muchos espacios para maniobrar. Incrementemos β demasiado y no puede haber estructuras moleculares ordenadas porque es el pequeño valor de beta el que asegura que los electrones ocupen posiciones bien definidas alrededor de un núcleo atómico y las cargas negativas de los electrones igualan las cargas positivas de los protones haciendo estable el núcleo y el átomo.

Si en lugar de α versión β , jugamos a cambiar la intensidad de la fuerza nuclear fuerte α_F , junto con la de α , entonces, a menos que $\alpha_F > 0,3 \alpha^{1/2}$, los elementos como el carbono no existirían.

No podrían existir químicos orgánicos, no podrían mantenerse unidos. Si aumentamos α_F en solo un 4 por 100, aparece un desastre potencial porque ahora puede existir un nuevo núcleo de helio, el helio-2, hecho de 2 protones y ningún neutrón, que permite reacciones nucleares directas y más rápidas que de protón + protón \rightarrow helio-2.

Las estrellas agotarían rápidamente su combustible y se hundirían en estados degenerados o en agujeros negros. Por el contrario, si α_F decreciera en un 10 por 100, el núcleo de deuterio dejaría de estar ligado y se blo-

quearía el camino a los caminos astrofísicos nucleares hacia los elementos bioquímicos necesarios para la vida.

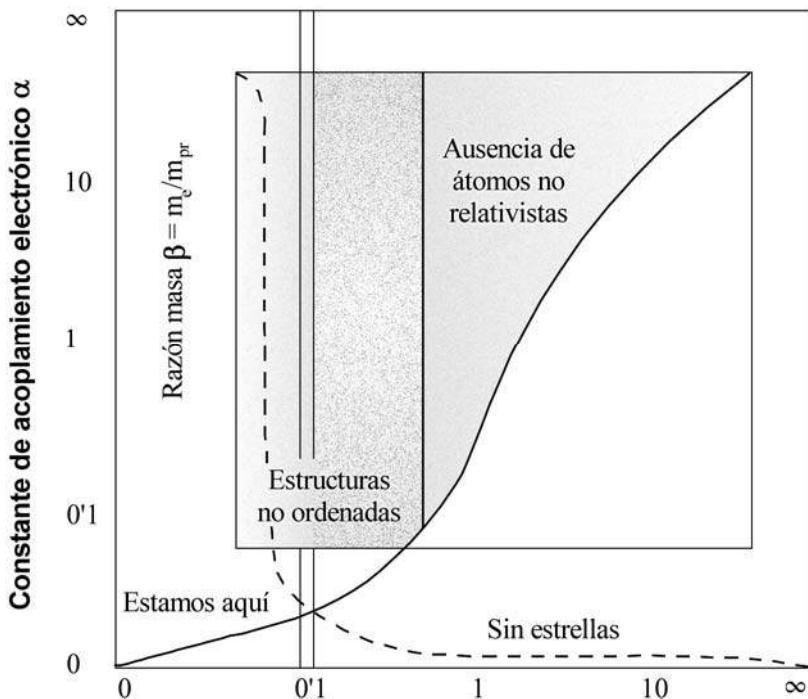


Gráfico: Zona habitable donde la complejidad que sustenta la vida puede existir si se permite que los valores que sustentan β y α varíen independientemente. En la zona inferior derecha no puede haber estrellas. En la superior derecha están ausentes los átomos no relativistas. En la superior izquierda los electrones están insuficientemente localizados para que existan moléculas auto reproductoras altamente ordenadas. Las estrechas "vías de tranvías" distingue la región necesaria para que la materia sea estable para evolucionar.

“Yo no quiero alcanzar la inmortalidad a través de mi obra. Quiero alcanzar la inmortalidad por no morir. No quiero vivir eternamente en los corazones de mis paisanos. Preferiría vivir eternamente en mi apartamento.”

Woody Allen

Muchos han especulado con sugerencias diversas del principio antrópico. John Wheeler, el científico de Princeton que acuñó el término “agujero negro” y desempeñó un papel principal en su investigación, propuso lo que él denominó el principio antrópico participatorio. Este no tiene que ver especialmente con las constantes de la naturaleza sino que está motivado por la precisión de las coincidencias que permiten que exista vida en el cosmos. ¿Es posible, pregunta Wheeler, que la vida sea en algún sentido esencial para la coherencia del universo? Pero por supuesto nosotros no somos de interés para las galaxias lejanas ni para la existencia del universo en el pasado lejano antes de que pudiera existir la vida. Wheeler se sentía tentado a preguntar si la importancia de los observadores al traer a la plena existencia la realidad cuántica podía estar tratando de decirnos que los “observadores”, definidos de forma adecuada, pueden ser en cierto sentido necesarios para hacer nacer al universo. Es muy difícil darle a esto un sentido correcto porque en la teoría cuántica, con su principio de incertidumbre, la noción del observador carece de una definición nítida. Es algo que registra información. Una placa fotográfica valdría tanto como un vigilante nocturno.

Otro modelo de principio antrópico, introducido por Frank Tipler y John D. Barrow, es algo diferente. Es sólo una hipótesis que debería poderse demostrar verdadera o falsa utilizando las leyes de la física y el estado observado del universo. Se denomina como Principio antrópico final y propone que una vez que la vida emerge en el universo, no desaparecerá. Una vez que hemos dado con una definición de vida adecuadamente amplia, digamos como procesamiento de información (“pensamiento”) con la capacidad de almacenar esa información (“memoria”), podemos investigar si esto podría ser cierto. Nótese que no se afirma que la vida tenga que aparecer o que deba persistir. Evidentemente, si la vida va a durar para siempre deberá tener una base distinta de la vida que conocemos. Nuestro conocimiento de la astrofísica nos dice que el Sol sufrirá con el tiempo una crisis de energía irreversible, se quedará sin el material necesario para la fusión nuclear, se expandirá en gigante roja y se tragará los planetas cercanos, incluida la Tierra y posiblemente Marte. Para cuando eso tenga que llegar tendremos que habernos ido de la Tierra, o haber transmitido la información necesaria para recrear miembros de nuestra especie (si aún pueden ser llamados así) para que colonicen otros lugares. Pensando en millones de años en el futuro tam-

bien podríamos imaginar que la vida podría existir en otras formas que hoy llamaríamos “artificiales”, como máquinas muy avanzadas de vasta información que procesan a velocidad de vértigo.

Recuerdo la película “*Yo Robot*” y pienso en lo que podrá ser el futuro. Tendremos que ser muy cuidadosos si no queremos que nos sustituya nuestra propia creación, las máquinas muy sofisticadas y poderosas pueden ser peligrosas.

Como la tendencia actual es la de fabricar ingenios cada vez más pequeños y sofisticados objetos con enorme capacidad de guardar información para utilizarla cuando se le exija en el futuro. Esa tecnología se denomina y es conocida como “nanotecnología” y en unos años podrá solucionarnos problemas ahora inimaginables. La tendencia, como decimos, es hacer máquinas y objetos más pequeños pero con más memoria y prestaciones, de forma tal que, consumiendo menos energía, ofrecen una mayor rendimiento a menos coste y con menos residuos. Si llevamos esto a la conclusión lógica, hay que esperar también que las formas de vida avanzadas sean pequeñas, tan pequeñas como lo permitan las leyes de la física.

Así podríamos explicar también (siempre según Tiplez y Barrow) por qué no encontramos formas de vida extraterrestre en el universo. Si está verdaderamente avanzada, incluso para nuestros niveles, lo más probable es que sea muy pequeña, reducida a escala molecular. Entonces se junta todo tipo de ventajas. Hay mucho sitio allí: pueden mantenerse poblaciones enormes. Se puede sacar partido de la potente computación cuántica (busquen información sobre el físico teórico español Juan Ignacio Cirac, Jefe de un equipo en el Departamento de teoría en el Instituto Max Planck de Óptica Cuántica, en las afueras de Munich). Se requiere poca materia prima y el viaje espacial resulta más fácil. Con nuestro tamaño y las naves que utilizamos para viajar al espacio exterior, tenemos el problema de la enorme cantidad de combustible necesario para lograr que la nave, venciendo la gravedad de la Tierra, logre salir al espacio exterior. La fuerza o velocidad de escape necesaria es de 11 km/s que, lógicamente, no sólo requiere una enorme cantidad de oxígeno líquido o cualquier otro material para que los motores se nutran y puedan realizar el trabajo de enorme potencia, sino que tales depó-

sitos de combustible pueden tener una pequeña fisura que haga explotar toda la nave con sus tripulantes (ya ha pasado). Si verdaderamente existen civilizaciones adelantadas más pequeñas evitarían este y otros problemas, entre los que estaría la imposibilidad de detectarlas por otras civilizaciones de bípedos patosos que viven en planetas brillantes y ricos en materias primas y que emiten constantes ruidos de ondas de radio al espacio exterior interplanetario como llamando a estos pequeños y diminutos seres que aquí pueden encontrar, sin peligro a ser descubiertos, las fuentes que necesiten para instalar colonias que viven y observar sin ser molestadas ni observadas.

Claro que el universo observable es muy grande, 13.500 millones de años de radio a la velocidad de la luz, es mucho espacio recorrido por la expansión y de continuar así, acelerándose, el procesamiento de información tenderá a desaparecer con el tiempo. Varios grupos de observadores de investigación han reunido importantes pruebas que demuestran sin lugar a dudas que, la expansión del universo empezó a acelerarse hace sólo algunos miles de millones de años. Lo más probable es que siga expandiéndose para siempre, pero que decelere continuamente a medida que se expande. La vida sigue enfrentándose a una batalla cuesta arriba por sobrevivir indefinidamente. Necesita encontrar diferencias de temperatura, o de densidad, o de expansión del universo de las que pueda extraer energía útil haciéndolos uniformes. Si se basa en recursos minerales de energía que existe localmente –estrellas muertas, agujeros negros que se evaporan, partículas elementales que se desintegran–, entonces, con el tiempo, se encara al problema al que se enfrentan inevitablemente las mismas de hoy como las minas de carbón muy explotadas en la que el coste de la extracción es superior al beneficio obtenido. Será una necesidad economizar en el uso energético y el encontrar fuentes más limpias y que sean, a ser posible, inagotables y, desde luego, la que se podría extraer de un agujero negro (teniendo tecnología adecuada) sería prácticamente imperecedera.

Finalmente, si el universo se hunde de nuevo en un Big Crunch futuro en el tiempo finito, entonces no hay esperanzas a primera vista. Con el tiempo, el universo en proceso de hundimiento se contraerá lo suficiente para que se fundan galaxias y estrellas hoy separadas por millones de años luz. De hecho, actualmente, nuestra vecina la galaxia Andrómeda se está acer-

cando hacia nosotros, que estamos en la Vía Láctea, y ambas galaxias terminarán fundiéndose en una gran galaxia. Las temperaturas crecerán tanto que moléculas y átomos se disgregarán. Una vez más, como en el futuro lejano, la vida tiene que existir en alguna forma incorpórea abstracta, quizás entrelazada en la fábrica del espacio y el tiempo. Resulta sorprendente que esta supervivencia indefinida no está descartada mientras el tiempo se defina de forma adecuada. Si el tiempo verdadero al que marcha el universo es un tiempo creado por la propia expansión, entonces es posible que un número ínfimo de “tics” de este reloj ocurra en la cantidad finita de tiempo que parece estar disponible en nuestros relojes antes de que alcance el Big Crunch.

Hay un último truco que podrían tener guardado en su manga esos supervivientes súper avanzados en universos que parecen condenados a expandirse para siempre. En 1949, el lógico Kurt Gödel, amigo y colega de Einstein en Princeton, le dio una sorpresa al demostrar que el viaje en el tiempo estaba permitido por la teoría de la gravedad de Einstein. Incluso encontró una solución a las ecuaciones de Einstein para un universo en el que esto ocurría. Hay teorías y propuestas más modernas en las que, una civilización avanzada en el futuro, podrá viajar en el tiempo a través de un agujero de gusano; para ello tendrá que conseguir material-energía exótica que impedirá el cierre de la boca de entrada del agujero (ver trabajos del físico Kip S. Thorne).

Por desgracia, el universo de Gödel no se parece en nada al universo en que vivimos. Gira muy rápidamente y está en desacuerdo con casi todas las observaciones astronómicas que se hablan. Sin embargo, los estudios de Thorne y su equipo, son más certeros y nada descabellados, sus ecuaciones sobre la posibilidad de viajar en el tiempo, al menos en teoría, son positivas y se ajustan en todo al universo en que vivimos y, en lo que al material-energía exótica requerido, parece que la fuente puede tener su origen en el conocido “Efecto Casimir”

El viaje en el tiempo, desde tiempos inmemoriales, ha sido un arma fantástica para los autores de ciencia ficción que nos mostraban paradojas tales como aquella del joven que viajó hacia atrás en el tiempo, buscó a su bisabuelo y lo mató. Dicha muerte produjo de manera simultánea que ni su

abuelo, su padre ni él mismo hubieran existido nunca. Tal suceso es imposible; hay una barrera o imposibilidad física que impide esta clase de paradoja. Stephen Hawking lo ha dejado claro, estas paradojas no pueden ocurrir nunca aún en el caso de que alguna vez se consiga viajar en el tiempo.

Si pensamos con lógica, en lugar de introducir a mano una imposibilidad física, pensaremos como nos enseño Einstein en la utilidad de un espacio y un tiempo únicos y unidos en un bloque de espacio-tiempo.

Salgamos ahora fuera del espacio-tiempo y miremos lo que sucede allí. Las historias de los individuos son trayectorias a través del bloque. Si se curvan sobre sí mismas para formar lazos cerrados entonces juzgaríamos que se ha producido un viaje en el tiempo. Pero las trayectorias son las que son. No hay ninguna historia que “cambie” al hacerla. El viaje en el tiempo nos permite ser parte del pasado pero no cambiar el pasado. Las únicas historias de viaje en el tiempo posibles son las trayectorias autoconsistentes. En cualquier trayectoria cerrada no hay una división bien definida entre el futuro y el pasado.

Si este tipo de viaje hacia atrás en el tiempo es una vía de escape del final termodinámico del universo, y nuestro universo parece irremediablemente abocado hacia ese final, hacia ese borrador termodinámico de todas las posibilidades de procesamiento de información, entonces quizá seres super avanzados en nuestro futuro estén ya viajando hacia atrás, hacia el ambiente cósmico benigno que proporciona el universo de nuestro tiempo. No descarto nada. Si le dicen a mi abuelo hace más de un siglo y medio que se podría meter un documento en una maquineta llamada fax, y el documento, de manera instantánea, aparecería en otra máquina similar en Madrid, nos habría tachado de locos.

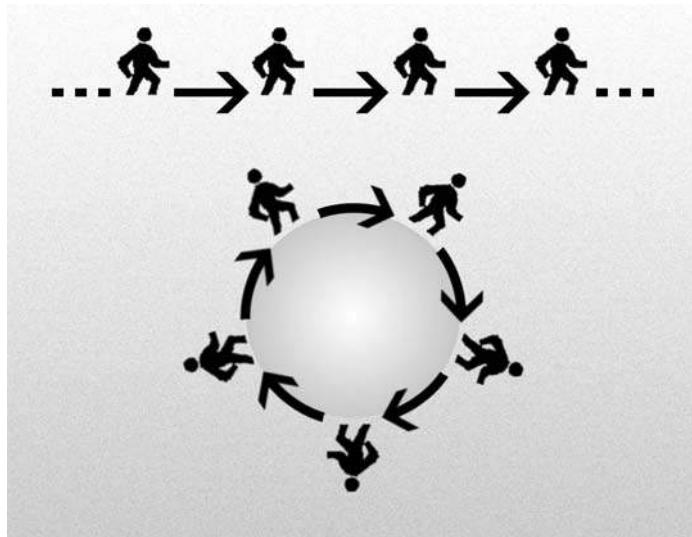


Gráfico: Si se marcha en línea recta está claro quién va delante de quién. Si se marcha en círculo cualquiera está delante y detrás de cualquier otro.

Como pregonó la filosofía, nada es como se ve a primera vista, todo depende bajo el punto de vista desde en el que miremos las cosas.

“Lo primero que hay que comprender sobre los universos paralelos... es que no son paralelos. Es importante comprender que ni siquiera son, estrictamente hablando, universos, pero es más fácil si uno lo intenta y lo comprende un poco más tarde, después de haber comprendido que todo lo que he comprendido hasta ese momento no es verdadero.”

Douglas Adams

¿Qué vamos a hacer con esta idea antrópica fuerte? ¿Puede ser algo más que una nueva presentación del aserto de que nuestra forma de vida compleja es muy sensible a cambios pequeños en los valores de las constantes de la naturaleza? ¿Y cuáles son estos “cambios”? ¿Cuáles son estos “otros mundos” en donde las constantes son diferentes y la vida no puede existir?

En ese sentido, una visión plausible del universo es que hay una y sólo una forma para las constantes y leyes de la naturaleza. Los universos son trucos difíciles de hacer, y cuanto más complicados son, más piezas hay que encajar. Los valores de las constantes de la naturaleza determinan a su vez que los elementos naturales de la tabla periódica, desde el hidrógeno número 1 de la tabla, hasta el uranio, número 92, sean los que son y no otros. Precisamente, por ser las constantes y leyes naturales como son y tener los valores que tienen, existe el nitrógeno, el carbono o el oxígeno.

Esos 92 elementos naturales de la tabla periódica componen toda la materia bariónica (que vemos y detectamos) del universo. Hay más elementos como el plutonio o el einstenio, pero son los llamados transuránicos y son artificiales.

Hay varias propiedades sorprendentes del universo astronómico que parecen ser cruciales para el desarrollo de la vida en el universo. Estas no son constantes de la naturaleza en el sentido de la constante de estructura fina o la masa del electrón. Incluyen magnitudes que especifican cuán agregado está el universo, con qué rapidez se está expandiendo y cuánta materia y radiación contiene. En última instancia, a los cosmólogos les gustaría explicar los números que describen estas “constantes astronómicas” (magnitudes). Incluso podrían ser capaces de demostrar que dichas “constantes” están completamente determinadas por los valores de las constantes de la naturaleza como la constante de estructura fina. ¡¡El número puro y adimensional, 137!!

Las características distintivas del universo que están especificadas por estas “constantes” astronómicas desempeñan un papel clave en la generación de las condiciones para la evolución de la complejidad bioquímica. Si miramos más cerca la expansión del universo descubrimos que está equilibrada con enorme precisión. Está muy cerca de la línea divisoria crítica que separa los universos que se expanden con suficiente rapidez para superar la atracción de la gravedad y continuar así para siempre, de aquellos otros universos en los que la expansión finalmente se invertirá en un estado de contracción global y se dirigirán hacia un Big Grunch cataclísmico en el futuro lejano. El primero de estos modelos es el universo abierto que será invadido

por el frío absoluto, y el segundo modelo es el del universo cerrado que termina en una bola de fuego descomunal.

Todo dependerá de cual sea el valor de la densidad de materia.

Algunos números que definen nuestro universo

- El número de fotones por protón
- La razón entre densidades de materia oscura y luminosa
- La anisotropía de la expansión
- La falta de homogeneidad del Universo
- La constante cosmológica
- La desviación de la expansión respecto al valor “crítico”

De hecho, estamos tan cerca de esta divisoria crítica que nuestras observaciones no pueden decírnos con seguridad cuál es la predicción válida a largo plazo. En realidad, es la estrecha proximidad de la expansión a la línea divisoria lo que constituye el gran misterio: a priori parece altamente poco probable que se deba al azar. Los universos que se expanden demasiado rápidamente son incapaces de agregar material para la formación de estrellas y galaxias, de modo que no pueden formarse bloques constituyentes de materiales necesarios para la vida compleja. Por el contrario, los universos que se expanden demasiado lentamente terminan hundiéndose antes de los miles de millones de años necesarios para que se tomen las estrellas.

Sólo universos que están muy cerca de la divisoria crítica pueden vivir el tiempo suficiente y tener una expansión suave para la formación de estrellas y planetas... y ¡vida!

No es casual que nos encontramos viviendo miles de años después del comienzo aparente de la expansión del universo y siendo testigos de un estado de expansión que está muy próximo a la divisoria que marca la **“Densidad Crítica”**

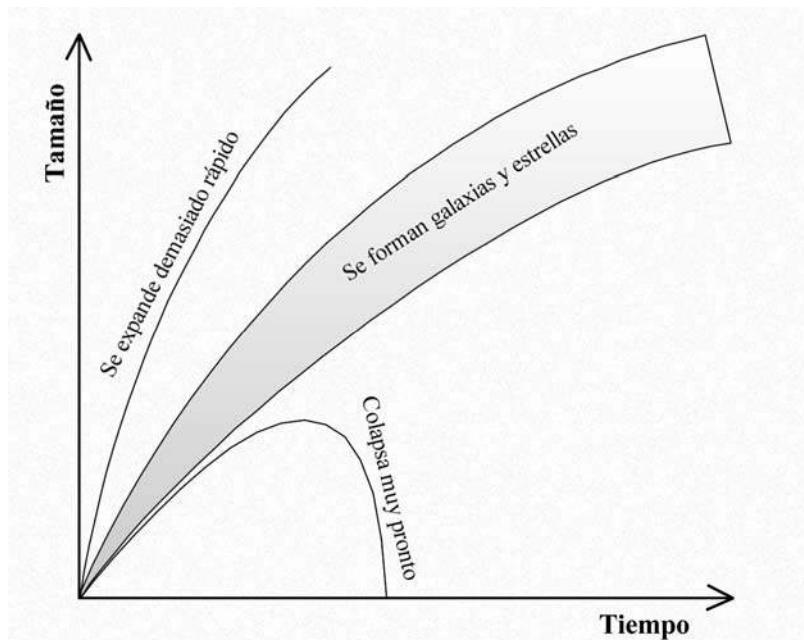


Gráfico: Sólo en el modelo de universo que se expande cerca de la divisoria crítica (en el centro), se forman estrellas y los ladrillos primordiales para la vida. La expansión demasiado rápida no permite la creación de elementos complejos necesarios para la vida. Si la densidad crítica supera la ideal (más cantidad de materia), el universo será cerrado y terminará en el Big Crunch.

El hecho de que aún estemos tan próximos a esta divisoria crítica, después de algo más de trece mil millones de años de expansión, es verdaderamente fantástico. Puesto que cualquier desviación respecto a la divisoria crítica crece continuamente con el paso del tiempo, la expansión debe haber empezado extraordinariamente próxima a la divisoria para seguir hoy tan cerca (no podemos estar exactamente sobre ella).

Pero la tendencia de la expansión a separarse de la divisoria crítica es tan solo otra consecuencia del carácter atractivo de la fuerza gravitatoria. Está claro con sólo mirar el diagrama dibujado en la página anterior que los universos abiertos y cerrados se alejan más y más de la divisoria crítica a medida que avanzamos en el tiempo. Si la gravedad es repulsiva y la expansión se acelera, esto hará, mientras dure, que la expansión se acerque cada

vez más a la divisoria crítica. Si la inflación duró el tiempo suficiente, podría explicar por qué nuestro universo visible está aún tan sorprendentemente próximo a la divisoria crítica. Este rasgo del universo que apoya la vida debería aparecer en el Big Bang sin necesidad de condiciones de partida especiales.

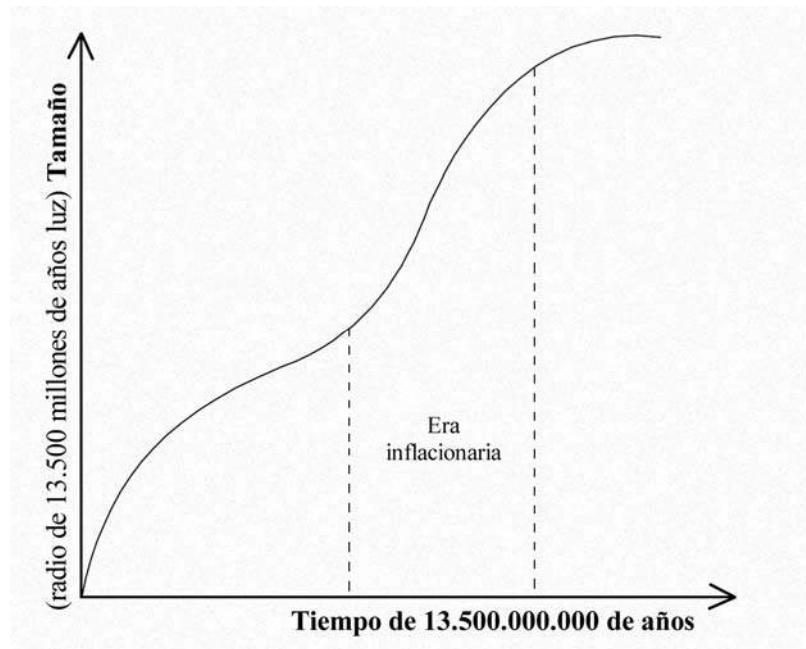


Gráfico: La “inflación” es un breve periodo de expansión acelerada durante las primeras etapas de la Historia del Universo.

Composición del universo

Podemos concretar de manera muy exacta con resultados fiables de los últimos análisis de los datos enviados por WMAP. Estos resultados muestran un espectro de fluctuaciones gaussiano y (aproximadamente) invariante frente a escala que coincide con las predicciones de los modelos inflacionarios más generales.

El universo estaría compuesto de un 4 por 100 de materia bariónica, un 23 por 100 de materia oscura no bariónica y un 73 por 100 de energía oscura. Además, los datos dan una edad para el universo que está en $13'7 \pm 0'2 \times 10^9$ años, y un tiempo de $379 \pm 8 \times 10^3$ años para el instante en que se liberó la radiación cósmica de fondo. Otro resultado importante es que las primeras estrellas se formaron sólo 200 millones de años después del Big Bang, mucho antes de lo que se pensaba hasta ahora. Todavía no se han hecho públicos los resultados del análisis de una segunda serie de datos, pese a que su aparición estaba prevista para mayo de 2004 (más datos en <http://lambda.gsfc.nasa.gov>).

El principio antrópico

Parece conveniente hacer una pequeña reseña que nos explique que es un principio en virtud del cual la presencia de la vida humana está relacionada con las propiedades del universo. Como antes hemos comentado de pasada, existen varias versiones del principio antrópico. La menos controvertida es el principio antrópico débil, de acuerdo con el cual la vida humana ocupa un lugar especial en el universo porque puede evolucionar solamente donde y cuando se den las condiciones adecuadas para ello. Este efecto de selección debe tenerse en cuenta cuando se estudian las propiedades del universo.

Una versión más especulativa, el principio antrópico fuerte, asegura que las leyes de la física deben tener propiedades que permitan evolucionar la vida. La implicación de que el universo fue de alguna manera diseñado para hacer posible de la vida humana hace que el principio antrópico fuerte sea muy controvertido, ya que nos quiere adentrar en dominios divinos que, en realidad, es un ámbito incompatible con la certeza comprobada de los hechos a que se atiene la ciencia, en la que la fe, no parece tener cabida.

El principio antrópico nos invita al juego mental de probar a “cambiar” las constantes de la naturaleza y entrar en el juego virtual de ¿qué hubiera pasado si...?

Especulamos con lo que podría haber sucedido si algunos sucesos no hubieran ocurrido de tal o cual manera para ocurrir de esta otra. ¿Qué hubiera pasado en el planeta Tierra si no aconteciera en el pasado la caída del meteorito que acabó con los dinosaurios? ¿Habríamos podido estar aquí hoy nosotros? ¿Fue ese cataclismo una bendición para nosotros y nos quitó de encima a unos terribles rivales?

Fantasean con lo que pudo ser.... Es un ejercicio bastante habitual; sólo tenemos que cambiar la realidad de la historia o de los sucesos verdaderos para pretender fabricar un presente distinto. Cambiar el futuro puede resultar más fácil, nadie lo conoce y no pueden rebatirlo con certeza. ¿Quién sabe lo que pasará mañana?

Lo que ocurra en la naturaleza del universo está en el destino de la propia naturaleza del cosmos, de las leyes que la rigen y de las fuerzas que gobernan su mecanismo sometido a principios y energías que, en la mayoría de los casos se pueden escapar a nuestro actual conocimiento.

Lo que le pueda ocurrir a nuestra civilización, además de estar supeditado al destino de nuestro planeta, de nuestro Sol y de nuestro Sistema Solar y la galaxia, también está en manos de los propios individuos que forman esa civilización y que, con sensibilidades distintas y muchas veces dispares, hace impredecibles los acontecimientos que puedan provocar individuos que participan con el poder individual de libre albedrío.

Siempre hemos sabido especular con lo que pudo ser o con lo que podrá ser si..., lo que, la mayoría de las veces, es el signo de cómo queremos ocultar nuestra ignorancia. Bien es cierto que sabemos muchas cosas pero, también es cierto que son más numerosas las que no sabemos.

Sabiendo que el destino irremediable de nuestro mundo, el planeta Tierra, es de ser calcinado por una estrella gigante roja en la que se convertirá el Sol cuando agote la fusión de su combustible de hidrógeno, helio, carbono, etc, para que sus capas exteriores de materia exploten y salgan disparadas al espacio exterior, mientras que, el resto de su masa se contraerá hacia su núcleo bajo su propio peso, a merced de la gravedad, convirtiéndose en una estrella enana blanca de enorme densidad y de reducido diámetro. Sabiendo eso, el hombre está poniendo los medios para que, antes de que llegue ese momento (dentro de algunos miles de millones de años), poder escapar y dar el salto hacia otros mundos lejanos que, como la Tierra ahora, reúna las condiciones físicas y químicas, la atmósfera y la temperatura adecuadas para acogernos.

Pero el problema no es tan fácil y se extiende a la totalidad del universo que, aunque mucho más tarde, también está abocado a la muerte térmica, el frío absoluto si se expande para siempre como un universo abierto y eterno, o el más horroroso de los infiernos, si estamos en un universo cerrado y finito en el que, un día, la fuerza de gravedad, detendrá la expansión de las galaxias que comenzarán a moverse de nuevo en sentido contrario, acercándose las unas a las otras de manera tal que el universo comenzará, con el paso del tiempo, a calentarse, hasta que finalmente, se junte toda la materia-energía del universo en una enorme bola de fuego de millones de grados de temperatura, el Big Crunch.

El irreversible final está entre los dos modelos que, de todas las formas que lo miremos, es negativo para la Humanidad (si es que para entonces aún existe). En tal situación, algunos ya están buscando la manera de escapar.

Stephen Hawking ha llegado a la conclusión de que estamos inmersos en un multiuniverso, esto es, que existen infinidad de universos conectados los unos a los otros. Unos tienen constantes de la naturaleza que permiten vida igual o parecida a la nuestra, otros posibilitan formas de vida muy distintas y otros muchos no permiten ninguna clase de vida.

Este sistema de inflación autorreproductora nos viene a decir que cuando el universo se expande (se infla) a su vez, esa burbuja crea otras burbujas

que se inflan y a su vez continúan creando otras nuevas más allá de nuestro horizonte visible. Cada burbuja será un nuevo universo, o mini-universo en los que reinarán escenarios diferentes o diferentes constantes y fuerzas.

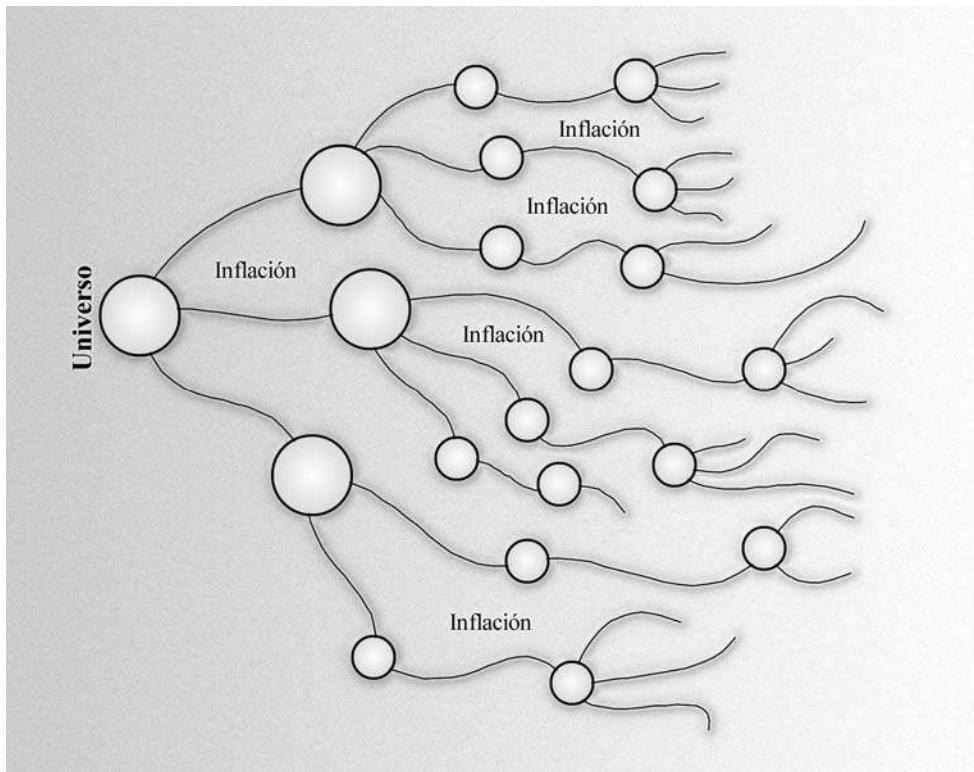


Gráfico: Inflación eternamente reproductora de otros universos

El escenario que describe el diagrama dibujado antes, ha sido explorado y el resultado hallado es que en cada uno de esos mini-universos, como hemos dicho ya, puede haber muchas cosas diferentes; pueden terminar con diferentes números de dimensiones espaciales o diferentes constantes y fuerzas de la naturaleza, pudiendo unos albergar la vida y otros no.

El reto que queda para los cosmólogos es calcular las probabilidades de que emergan diferentes mini-universos a partir de esta complejidad inflacionaria. ¿Son comunes o raros los mini-universos como el nuestro? Existen, como para todos los problemas planteados, diversas conjeturas y considera-

ciones que influyen en la interpretación de cualquier teoría cosmológica futura **cuántico-relativista**. Hasta que no seamos capaces de exponer una teoría que incluya la relatividad general de Einstein (la gravedad-cosmos) y la mecánica cuántica de Planck (el cuanto-átomo), no será posible contestar a ciertas preguntas.

Todas las soluciones que buscamos parecen estar situadas en teorías más avanzadas que, al parecer, sólo son posibles en dimensiones superiores, como es el caso de la teoría de supercuerdas situada en 10 ó 26 dimensiones. Allí, si son compatibles la relatividad y la mecánica cuántica, hay espacio más que suficiente para dar cabida a las partículas elementales, las fuerzas gauge de Yang-Mill, el electromagnetismo de Maxwell y, en definitiva, al espacio-tiempo y la materia, la descripción verdadera del universo y de las fuerzas que en él actúan.

Científicamente, la teoría del hiperespacio lleva los nombres de Teoría de Kaluza-Klein y supergravedad. Pero en su formulación más avanzada se denomina Teoría de Supercuerdas, una teoría que desarrolla su potencial en nueve dimensiones espaciales y una de tiempo: diez dimensiones. Así pues, trabajando en dimensiones más altas, esta teoría del hiperespacio puede ser la culminación que conoce dos milenios de investigación científica: la unificación de todas las fuerzas físicas conocidas. Como el Santo Grial de la Física, la “teoría de todo” que esquivó a Einstein que la buscó los últimos 30 años de su vida.

Durante el último medio siglo, los científicos se han sentido intrigados por la aparente diferencia entre las fuerzas básicas que mantienen unido al cosmos: la Gravedad, el electromagnetismo y las fuerzas nucleares fuerte y débil. Los intentos por parte de las mejores mentes del siglo XX para proporcionar una imagen unificadora de todas las fuerzas conocidas han fracasado. Sin embargo, la teoría del hiperespacio permite la posibilidad de explicar todas las fuerzas de la naturaleza y también la aparentemente aleatoria colección de partículas subatómicas, de una forma verdaderamente elegante. En esta teoría del hiperespacio, la “materia” puede verse también como las vibraciones que rizan el tejido del espacio y del tiempo. De ello se sigue la fascinante posibilidad de que todo lo que vemos a nuestro alrededor, desde

los árboles y las montañas a las propias estrellas, no son sino vibraciones del hiperespacio.

Antes mencionábamos los universos burbujas nacidos de la inflación y, normalmente, el contacto entre estos universos burbujas es imposible, pero analizando las ecuaciones de Einstein, los cosmólogos han demostrado que podría existir una madeja de agujeros de gusano, o tubos, que conectan estos universos paralelos.

Aunque muchas consecuencias de esta discusión son puramente teóricas, el viaje en el hiperespacio puede proporcionar eventualmente la aplicación más práctica de todas: salvar la vida inteligente, incluso a nosotros mismos, de la muerte de este universo cuando al final llegue el frío o el calor.

Esta nueva teoría de supercuerdas tan prometedora del hiperespacio es un cuerpo bien definido de ecuaciones matemáticas. Podemos calcular la energía exacta necesaria para doblar el espacio y el tiempo o para cerrar agujeros de gusano que unan partes distantes de nuestro universo. Por desgracia, los resultados son desalentadores. La energía requerida excede con mucho cualquier cosa que pueda existir en nuestro planeta. De hecho, la energía es mil billones de veces mayor que la energía de nuestros mayores colisionadores de átomos. Debemos esperar siglos, o quizás milenios, hasta que nuestra civilización desarrolle la capacidad técnica de manipular el espacio-tiempo utilizando la energía infinita que podría proporcionar un agujero negro para de esta forma poder dominar el hiperespacio que, al parecer, es la única posibilidad que tendremos para escapar del lejano fin que se avanza. ¿Que aún tardará mucho? Sí, pero el tiempo es inexorable, la debacle del frío o del fuego llegaría.

No existen dudas al respecto, la tarea es descomunal, imposible para nuestra civilización de hoy, ¿pero y la de mañana?, ¿no habrá vencido todas las barreras? Creo que el hombre es capaz de plasmar en hechos ciertos todos sus pensamientos e ideas, sólo necesita tiempo: Tiempo tenemos mucho.

Necesitaremos paciencia, mucha curiosidad que satisfacer y estar dispuesto a realizar el trabajo necesario. Cuando en 1.900, Max Planck, el físico alemán escribió un artículo sobre la radiación de cuerpo negro que él decía emitirse en paquetes discretos, no continuos, a los que llamó “cuantos”, nadie fue capaz de suponer que allí estaba la semilla de lo que más tarde se conocería como la Teoría de la Mecánica Cuántica que describía a la perfección el sistema matemático que nos descubrió el universo del átomo, de lo muy pequeño, infinitesimal. Por los años de 1.925 y 1.926, Edwin Schrödinger, Werner Heisenberg y otros muchos desarrollaron esta teoría que derribó las barreras de creencias firmes durante siglos.

“Quienquiera que no se sienta conmocionado por la teoría cuántica no la comprende”

Niels Bohr

Aquello fue una auténtica revolución:

1. Las fuerzas son creadas por el intercambio de paquetes discretos de energía denominados cuantos.

En contraste con la imagen geométrica de Einstein para una “fuerza”, en la teoría cuántica la luz iba a ser dividida en fragmentos minúsculos. Estos paquetes de luz fueron llamados fotones, y se comportaban de forma muy parecida a partículas puntuales. Cuando dos electrones chocan, se repelen mutuamente, no a causa de la curvatura del espacio, sino debido a que intercambian un paquete de energía, el fotón.

La energía de estos fotones se mide en unidades del algo denominado constante de Planck ($h \sim 10^{-27}$ ergios por segundo). El tamaño infinitesimal de la constante de Planck significa que la teoría cuántica da correcciones minúsculas a las leyes de Newton. Éstas se denominan correcciones cuánticas, y pueden ser despreciadas cuando describimos nuestro mundo macroscópico familiar y sus fenómenos familiares cotidiano. Sin embargo, cuando tratamos con el mundo subatómico microscópico, las correcciones cuánticas

empiezan a dominar cualquier proceso físico, y nos da cuenta de las propiedades extrañas y “contraintuitivas” de las partículas subatómicas.

“Universos a la deriva como burbujas en la espuma del Río del Tiempo.”

A. C. Clarke

2. Las diferentes fuerzas son causadas por el intercambio de diferentes cuantos.

La fuerza débil, por ejemplo, es causada por el intercambio de un tipo diferente de cuanto, llamado partícula W (W es la inicial de “weak” [débil]). Análogamente, la fuerza fuerte que mantiene unidos los protones y neutrones dentro del núcleo del átomo es causada por el intercambio de partículas subatómicas llamados mesones π . Tanto los bosones W como los mesones π se han visto experimentalmente en los residuos de los colisionadores de átomos, verificando de este modo la conexión fundamental de este enfoque. Y finalmente, la fuerza subnuclear que mantiene los protones y neutrones e incluso los mesones π juntos se debe al intercambio de partículas llamadas gluones (glue en inglés es pegamento).

De este modo, tenemos un nuevo “principio unificador” para las leyes de la física. Podemos unir las leyes del electromagnetismo, la fuerza débil y la fuerza fuerte postulando una variedad de cuantos diferentes que sirven de vehículo para las mismas. Tres de las cuatro fuerzas (excluyendo la gravedad) están así unidas por la teoría cuántica, dándonos unificación sin geometría.

3. Nunca podremos conocer simultáneamente la velocidad y la posición de una partícula subatómica.

Ese es el principio de incertidumbre de Heisenberg, que es con mucho el aspecto más controvertido de la teoría, aunque ha resistido todos los desa-

fios en el laboratorio durante más de medio siglo. No hay desviación experimental conocida de esta regla.

El principio de incertidumbre significa que nunca podemos estar seguros de dónde se encuentra un electrón o cuál es su velocidad. Lo más que podemos hacer es calcular la probabilidad de que el electrón aparezca en un cierto lugar con una cierta velocidad. La situación no es tan desesperada como uno pudiera sospechar, porque podemos calcular con rigor matemático la probabilidad de encontrar dicho electrón. Aunque el electrón es una partícula puntual, está acompañado de una onda que obedece a una ecuación bien definida, la ecuación de ondas de Schrödinger con su función de onda (ψ), que nos dirá con mucha probabilidad el lugar en el que aparecerá el electrón.

4. Existe una posibilidad finita de que las partículas puedan “tunear” o hacer un salto cuántico a través de barreras impenetrables.

Esta es una de las predicciones más desconcertantes de la teoría cuántica. En el nivel atómico, esta predicción no ha tenido otra cosa que éxitos espectaculares. El “efecto túnel” o salto cuántico a través de barreras ha sobrevivido a cualquier desafío experimental. De hecho, un mundo sin efecto túnel es ahora inimaginable.

La mecánica cuántica, es el resultado de una idea iniciada por Max Planck con su cuanto de acción h , que fue posteriormente desarrollada por otros como Werner Heisenberg, Edwin Schrödinger, Paul Dirac, Richard Feynman, y muchos más, incluso el mismo Einstein, en 1905 (el mismo año que dio a conocer su relatividad especial), inspirado en el artículo de Max Planck sobre la radiación de cuerpo negro, publicó un trabajo conocido como el “efecto fotoeléctrico” que le valió el Nobel de Física.

La mecánica cuántica es la suma de mucho ingenio, conocimiento, matemáticas y trabajo, que ha permitido tener una poderosa herramienta que

nos explica el mecanismo de las partículas elementales en el universo microscópico del átomo.

Mientras que Einstein conjeturó el marco entero de la relatividad general con sólo intuición física, los físicos de partículas se estaban ahogando en una masa de datos experimentales y como comentaba el gran físico Enrico Fermi “*si yo pudiera recordar los nombres de todas estas partículas, habría sido botánico*”. Tal era el número de partículas que surgían de entre los restos de los átomos tras las colisiones en los aceleradores que las hacían chocar a velocidades cercanas a c.

Toda la materia consiste en quarks y leptones, que interaccionan intercambiando diferentes tipos de cuantos, descritos por los campos de Maxwell y de Yang-Mills.

El Modelo Estándar nos describe todas las familias de partículas subatómicas que componen la materia y cómo actúan las fuerzas al interactuar con ellas, incluyendo la teoría de Maxwell del electromagnetismo que gobierna la interacción de los electrones y de la luz, y que se conoce por electrodinámica cuántica, cuya corrección ha sido verificada experimentalmente dentro de un margen de error de una parte en 10 millones, lo que la hace ser la teoría más precisa en la historia de la física.

Llegar al Modelo Estándar de la Física costó el esfuerzo de más de un siglo de investigación y trabajo teórico de muchos en el descubrimiento del dominio subatómico.

La fuerza débil gobierna las propiedades de los “leptones”, tales como el electrón, el muón y el mesón tau y sus neutrinos asociados. Al igual que las otras fuerzas, los leptones interaccionan intercambiando cuantos, llamados bosones W y Z. Estos cuantos también se describen matemáticamente por el campo de Yang-Mills. A diferencia de la fuerza gluónica, la fuerza generada por el intercambio de bosones W y Z es demasiado débil para mantener los leptones en una resonancia, de modo que no vemos un número infinito de leptones emergiendo de nuestros colisionadores de átomos.

De la fuerza fuerte, el Nobel Steven Weinberg, uno de los creadores del Modelo Estándar, escribió: “*Existe una larga tradición de la física teórica que no afectó a todos, ni mucho menos, pero ciertamente me afectó a mí: la que decía que las interacciones fuertes [eran] demasiado complicadas para la mente humana*”.

Las características más interesantes del Modelo Estándar es que está basado en la simetría; podemos ver su señal inequívoca dentro de cada una de estas interacciones. Los quarks y los leptones no son aleatorios, sino que se presentan en pautas definidas en el Modelo.

Este modelo de la física que explica las fuerzas que interaccionan con las partículas creadoras de materia, no incluye la fuerza de la gravedad.

El Modelo Estándar es práctico y ha sido y es una poderosa herramienta para todos los físicos, sin embargo, al no incluir la gravedad, es incompleta. Cuando se intenta unir el Modelo Estándar con la teoría de Einstein, la teoría resultante da respuestas absurdas.

Este modelo es feo y complicado:

1. 36 quarks, que se presentan en 6 “sabores” y 3 “colores” y sus réplicas en antimateria para describir las interacciones fuertes.
2. 8 campos de Yang-Mills para describir los gluones, que ligan los quarks.
3. 4 campos de Yang-Mills para describir las fuerzas débiles y electromagnéticas.
4. 6 tipos de leptones para describir las interacciones débiles.
5. Un gran número de misteriosas partículas de “Higgs” necesarias para ajustar las masas y las constantes que describen a las partículas.

6. Al menos 19 constantes arbitrarias que describen las masas de las partículas y las intensidades de las diversas interacciones. Estas diecinueve constantes deben ser introducidas a la fuerza; no están determinadas en modo alguno por la teoría.

Así las cosas, está claro que hay que buscar otro modelo.

La fealdad del Modelo Estándar puede contrastarse con la simplicidad de las ecuaciones de Einstein, en las que todo se deducía de primeros principios. Para comprender el contraste estético entre el Modelo Estándar y la teoría de la relatividad general de Einstein debemos comprender que, cuando los físicos hablan de “belleza” en sus teorías, realmente quieren decir que estas “bellas” teorías deben poseer al menos dos características esenciales:

1. Una simetría unificadora.

2. La capacidad de explicar grandes cantidades de datos experimentales con las expresiones matemáticas más económicas.

El Modelo Estándar falla en ambos aspectos, mientras que la relatividad general los exhibe, ambos, de manera bien patente. Nunca una teoría dijo tanto con tan poco; su sencillez es asombrosa y su profundidad increíble. De hecho, desde que se publicó en 1.915, no ha dejado de dar frutas, y aún no se han obtenido de ella todos los mensajes que contiene.

Al contrario de la relatividad general, la simetría del Modelo Estándar, está realmente formada empalmando tres simetrías más pequeñas, una por cada una de las fuerzas; el modelo es espeso e incómodo en su forma. Ciertamente no es económica en modo alguno. Por ejemplo, las ecuaciones de Einstein, escritas en su totalidad, sólo ocupan unos centímetros y ni siquiera llenaría una línea de esta página. A partir de esta escasa línea de ecuaciones, podemos ir más allá de las leyes de Newton y derivar la distorsión del espacio, el Big Bang y otros fenómenos astronómicos importantes como los agujeros negros. Por el contrario, sólo escribir el Modelo Estándar en su totali-

dad requeriría, siendo escueto, un par de páginas de esta libreta y parecería un galimatías de símbolos complejos sólo entendibles por expertos.

Los científicos quieren creer que la naturaleza prefiere la economía en sus creaciones y que siempre parece evitar redundancias innecesarias al crear estructuras físicas, biológicas y químicas.

El matemático francés Henri Poincaré lo expresó de forma aún más franca cuando escribió: “*El científico no estudia la Naturaleza porque es útil; la estudia porque disfruta con ello, y disfruta con ello porque es bella*”.

E. Rutherford, quien descubrió el núcleo del átomo (entre otras muchas cosas), dijo una vez: “*Toda ciencia es o física o colecciónar sello*”. Se refería a la enorme importancia que tiene la física para la ciencia, aunque se le olvidó mencionar que la física está sostenida por las matemáticas que la explica.

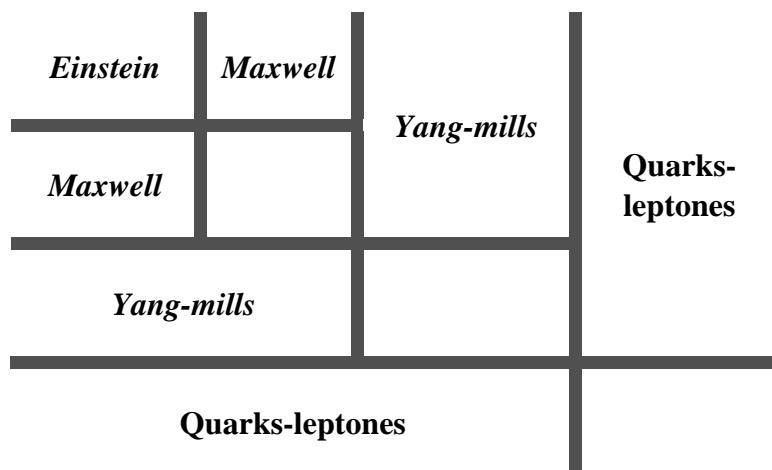
Pero, a pesar de todos sus inconvenientes, el Modelo Estándar, desde su implantación, ha cosechado un éxito tras otro, con sus inconvenientes y sus diecinueve parámetros aleatorios, lo cierto es que es lo mejor que tenemos por el momento para explicar las familias de partículas que conforman la materia y cómo actúan las fuerzas de la naturaleza, todas las fuerzas menos la gravedad; esa nos la explica a la perfección y sin fisuras las ecuaciones de Einstein de la relatividad general.

Hace tiempo que los físicos tratan de mejorar el Modelo Estándar con otras teorías más avanzadas y modernas que puedan explicar la materia y el espacio-tiempo con mayor amplitud y, sobre todo, incluyendo la gravedad. Así que retomando la teoría de Kaluza de la quinta dimensión, se propuso la teoría de supergravedad en 1.976 por los físicos Daniel Freedman, Sergio Ferrara y Peter van Nieuwenhuizen, de la Universidad del Estado de Nueva York en Stoney Brook que desarrollaron esta nueva teoría en un espacio de once dimensiones.

Para desarrollar la superteoría de Kaluza-Klein en once dimensiones, uno tiene que incrementar enormemente las componentes del interior del Tensor métrico de Riemann (que Einstein utilizó en cuatro dimensiones, tres de espacio y una de tiempo para su relatividad general y más tarde, Kaluza, añadiendo otra dimensión de espacio, la llevó hasta la quinta dimensión haciendo así posible unir la teoría de Einstein de la gravedad, con la teoría de Maxwell del electromagnetismo), que ahora se convierte en el supertensores métricos de Riemann.

Esta nueva teoría de supergravedad pretendía la unificación de todas las fuerzas conocidas con la materia, y, como en un rompecabezas, encajarlas en el Tensor de Riemann tan solo con elevar el número de dimensiones que exigía más componentes y nos daba el espacio necesario para poder ubicar en sus apartados correspondientes, todas las fuerzas fundamentales y también la materia, la que podía satisfacer, casi en su totalidad, el sueño de Einstein.

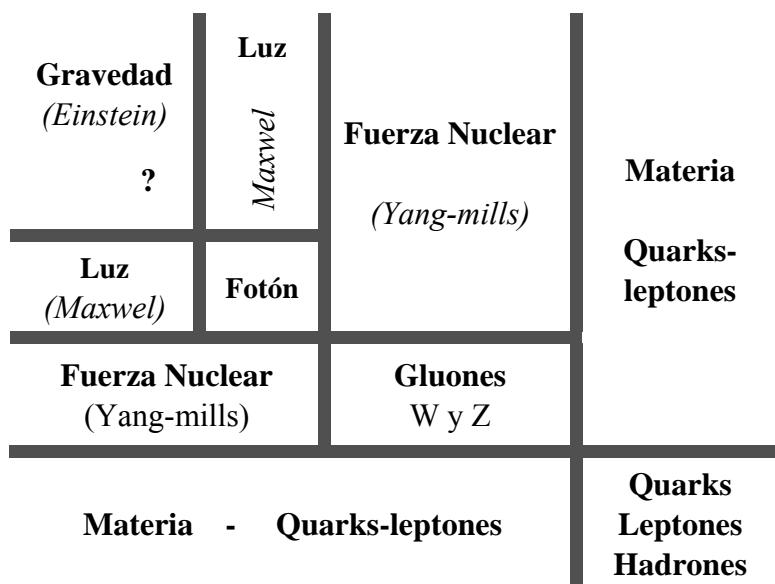
Para visualizar esto, desarrollemos el tensor métrico y mostremos un sencillo diagrama de cómo se las arregla la supergravedad para encajar el campo de Einstein, el campo de Yang-Mills y los campos de Maxwell y de la materia, todo ello en 11 dimensiones.



La supergravedad casi consigue satisfacer el sueño de Einstein de dar una derivación puramente geométrica de todas las fuerzas y partículas del universo. Al añadir la supersimetría al Tensor métrico de Riemann, la métrica se duplica en tamaño, dándonos la supersimetría de Riemann. Las nuevas componentes del súper tensor de Riemann corresponden a quarks y leptones, casi todas las partículas y fuerzas fundamentales de la naturaleza: la teoría de la gravedad de Einstein, los campos de Yang-Mills y de Maxwell y los quarks y leptones. Pero el hecho de que ciertas partículas no estén en esta imagen nos obliga a buscar un formalismo más potente:

La teoría de Supercuerdas

La característica esencial de este diagrama es que la materia, junto con las ecuaciones de Yang-Mills y de Einstein, está ahora incluida en el mismo campo de supergravedad de 11 dimensiones. Veámoslo así:



La materia con todas las fuerzas fundamentales de la naturaleza. Los bosones intermediarios o partículas portadoras de las fuerzas como el fotón para el electromagnetismo, los gluones para la fuerza nuclear fuerte, las partículas W y Z para la nuclear débil y, en la partícula portadora de la grave-

dad, el gravitón, ponemos el signo de interrogación, ya que se sabe que esta ahí en algún sitio pero hasta la fecha no ha sido detectado.

Antes de continuar con la teoría de supercuerdas, o con su versión más avanzada la teoría M, parece conveniente recordar que hasta el momento los ladrillos del universo eran los quarks, las partículas más pequeñas detectadas en los aceleradores del CERN y FERMILAB. Pero ¿están hechos de cosas más pequeñas?, eso no lo sabemos. El Modelo Estándar, menos avanzado que las otras teorías, nos dice que los quarks son las partículas más pequeñas y forman protones y neutrones constituyendo la formación interna del átomo, el núcleo. En la actualidad, nuestros aceleradores de partículas no tienen capacidad para ahondar más allá de los quarks y averiguar si a su vez, éstos están formados por partículas aún más pequeñas.

Por otro lado, los físicos están casi seguros de que los leptones no están compuestos de partículas más pequeñas. Sin embargo, esta sospecha no se tiene en el caso de los quarks; no se sabe qué puede haber detrás de ellos. Tan sólo se ha llegado a desconfinarlos junto con los gluones y por un breve periodo de tiempo de los protones y neutrones que los mantenían aprisionados, formando – en esos breves instantes – una materia plasmosa. No es raro oír dentro de la comunidad científica a los físicos teóricos hablando de pre-quarks.

Como antes hemos comentado de pasada, el Modelo Estándar agrupa las partículas en familias:

Hadrones: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Bariones: protón, neutrón , Lambda, omega, etc.} \\ \text{Mesones: pión, kaón, psí, etc.} \end{array} \right.$

Quarks: up, down, charmed, strange, top y botton

Leptones: electrón, muón y tau (y sus neutrinos asociados), neutrino electrónico, muónico y tauónico

Y describe las interacciones que estas partículas tienen con las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza, sobre todo con las nucleares fuerte y débil y la electromagnética; la gravedad se queda aparte del Modelo Estándar, ya que su incidencia con las partículas elementales es inapreciable como consecuencia de las infinitesimales masas de éstas, y ya sabemos que la gravedad se deja sentir y se hace presente cuando aparecen las grandes masas como planetas, estrellas y galaxias.

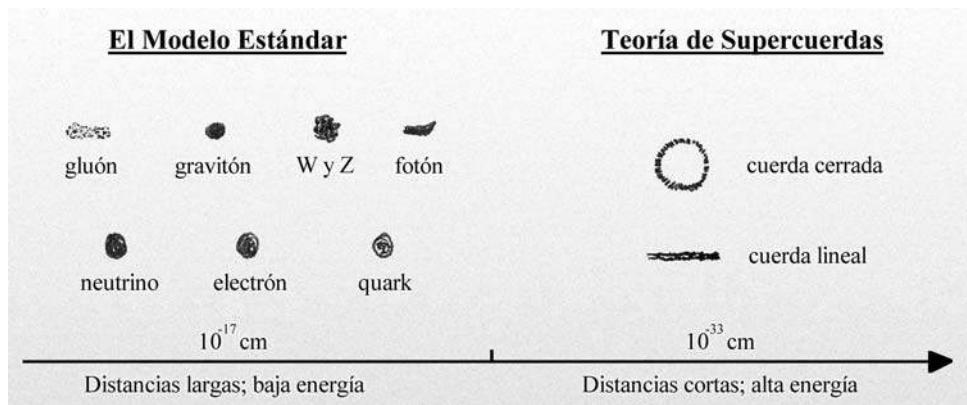
Como el Modelo Estándar es limitado, los físicos buscan desesperadamente nuevas teorías que puedan corregir y perfeccionar este modelo. Así aparecieron las teorías de supersimetría, supergravedad, supercuerdas, y ahora por último, la teoría M propuesta por Edward Witten en 1.995 y que nos quiere explicar, de manera más perfecta, el universo desde su origen, cómo y por qué está conformado ese universo, las fuerzas que lo rigen, las constantes de la naturaleza que establecen las reglas, y todo ello, a partir de pequeños objetos infinitesimales, las cuerdas, que sustituyen a las partículas del modelo estándar que creíamos elementales.

Esta nueva teoría, permite además, unificar o incluir la gravedad con las otras fuerzas, como teoría cuántica de la gravedad, todo ello mediante una teoría estructurada y fundamentada con originalidad y compactificación de las cuatro fuerzas de la naturaleza y dejando un gran espacio matemático para eliminar anomalías o perturbaciones, y se propugna con coherencia que la cuerda es el elemento más básico de la estructura de la materia; lo que estaría bajo los quarks serían unas diminutas círculos semejantes a una membrana vibrante circular y de diferentes conformaciones.

Ed Witten, en su trabajo, presentó amplias evidencias matemáticas de que las cinco teorías obtenidas de la primera revolución, junto con la más reciente conocida como la supergravedad (supercuerda después), en 11 dimensiones, eran de hecho parte de una teoría inherentemente cuántica y no perturbativa conocida como teoría M. Las seis teorías están conectadas entre sí por una serie de simetrías de dualidad T, S, y U. Además, de la teoría propuesta por Witten se encuentran implícitas muchas evidencias de que la teoría M no es sólo la suma de las partes, sino que se vislumbra un alentador

horizonte que podría concluir como la teoría definitiva tan largamente buscada.

Las supercuerdas, en realidad, sólo es otra manera utilizada por los científicos a la búsqueda de la verdad que la Humanidad necesita y reclama para continuar con su propia evolución que, sin esos conocimientos, quedaría estancada.

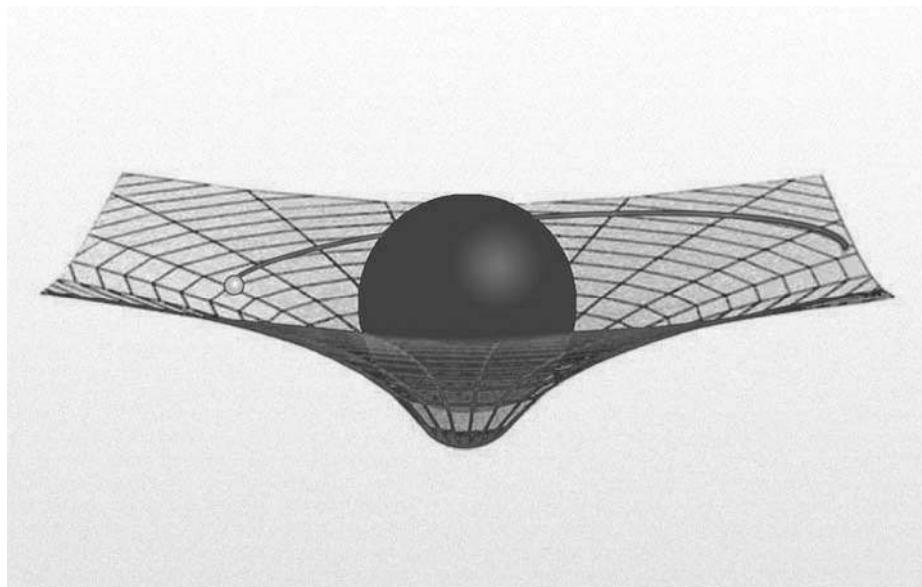


Como se puede ver, las partículas implicadas en el Modelo Estándar están en un mundo microscópico de 10^{-17} cm que sí dominan nuestros aceleradores, mientras que la cuerda está en una distancia de 10^{-33} cm que les está prohibida; allí no podemos llegar, no tenemos energía suficiente para ello.

Está muy claro para los físicos que, aunque teóricamente, en la TSC* se pueden unir todas las fuerzas, todavía tenemos que seguir sosteniendo que la gravedad resulta una fuerza solitaria para todos los efectos, ya que ha resistido todos los intentos para saber, con certeza, si finalmente se podrá unir a las otras fuerzas de la naturaleza. La gravedad está descrita por la teoría de la relatividad general de Einstein y tiene una naturaleza esencialmente geométrica. Se entiende como la curvatura del espaciointiempo alrededor de un objeto masivo. En los gráficos, generalmente, se representa como un objeto pesado sobre una superficie fina y tensa (una pelota o bola pesada de jugar a los bolos que dejamos encima de una sábana extendida tirando de las cuatro

* TSC = Teoría de Supercuerdas.

esquinas). El peso de la bola (materia) hundirá la sábana (espaciotiempo) con mayor intensidad en la distancia más cercana a donde se encuentre su masa.



El espacio tiempo se distorsiona allí donde residen objetos pesados como los planetas, las estrellas, galaxias y cualesquier otros cuerpos masivos.

La teoría de Einstein goza de una amplia aceptación debido a los aciertos macroscópicos que han sido verificados de manera experimental. Los más recientes están referidos a los cambios de frecuencia de radiación en púlsares binarios debido a la emisión de ondas gravitacionales, que actualmente estudia Kip S. Thorne, en relación a los agujeros negros. Entre las predicciones que Einstein propugna en su teoría se encuentran, por ejemplo, la existencia de ondas gravitacionales, que el universo está en constante expansión y que, por lo tanto, tuvo un inicio: el Big Bang o los agujeros negros.

Se trata de regiones donde la gravedad es tan intensa que ni siquiera la luz puede escapar de su atracción. Estas regiones se forman por el colapso

gravitatorio de estrellas masivas en la etapa final de su existencia como estrella, acabado el combustible nuclear y no pudiendo fusionar hidrógeno en helio, fusiona helio en carbono, después carbono en neón, más tarde neón en magnesio y así sucesivamente hasta llegar a elementos más complejos que no se fusionan, lo que produce la última resistencia de la estrella contra la fuerza de gravedad que trata de comprimirla, se degeneran los neutrones como último recurso hasta que, finalmente, la estrella explota en supernova lanzando al espacio las capaz exteriores de su material en un inmenso fogonazo de luz; el equilibrio queda roto, la fuerza de expansión que contrarrestaba a la fuerza de gravedad no existe, así que, sin nada que se oponga la enorme masa de la estrella supermasiva, se contrae bajo su propio peso, implosiona hacia el núcleo, se reduce más y más, su densidad aumenta hasta lo inimaginable, su fuerza gravitatoria crece y crece, hasta que se convierte en una singularidad, un lugar en el que dejan de existir el tiempo y el espacio. Allí no queda nada, ha nacido un agujero negro y a su alrededor nace lo que se ha dado en llamar el Horizonte de Sucesos, que es una región del espacio, alrededor del agujero negro que una vez traspasada no se podrá regresar; cualquier objeto que pase esta línea mortal, será literalmente engullida por la singularidad del agujero negro. De hecho, el telescopio espacial Hubble, ha enviado imágenes captadas cerca de Sagitario X-1, en el centro de nuestra galaxia, donde reside un descomunal agujero negro que, en las fotos enviadas por el telescopio, aparece como atrapa la materia de una estrella cercana y se la engulle.

Esta es la fuerza que se pretende unir a la Mecánica Cuántica en la teoría de supercuerdas, es decir, que Einstein con su relatividad general que nos describe el cosmos macroscópico, se pueda reunir con Max Planck y su cuanto infinitesimal del universo atómico, lo muy grande con lo muy pequeño.

Hasta el momento, Einstein se ha negado a esta reunión y parece que desea caminar solo. Las otras fuerzas están presentes en el Modelo Estándar, la gravedad no quiere estar en él, se resiste.

De hecho, cuando se ha tratado de unir la mecánica cuántica con la gravedad, aunque el planteamiento estaba muy bien formulado, el resultado

siempre fue desalentador; las respuestas eran irreconocibles, sin sentido, como una explosión entre materia y antimateria, un desastre.

Sin embargo, es preciso destacar que las nuevas teorías de supersimetría, supergravedad, supercuerdas o la versión mas avanzada de la teoría M de Ed Witten, tienen algo en común: todas parten de la idea expuesta en la teoría de Kaluza-Klein de la quinta dimensión que, en realidad, se limitaba a exponer la teoría de Einstein de la relatividad general añadiendo otra dimensión en la que se incluían las ecuaciones de Maxwell del electromagnetismo.

Hasta hoy no se ha logrado, ni mucho menos, inventar una teoría de campo que incluya la gravedad. Se han dado grandes pasos, pero la brecha “científicounificante” es aún muy grande. El punto de partida, la base, ha sido siempre la relatividad y conceptos en ella y con ella relacionados, por la excelencia que manifiesta esa teoría para explicar la física gravitatoria cósmica. El problema que se plantea surge de la necesidad de modificar esta teoría de Einstein sin perder por ello las predicciones ya probadas de la gravedad a gran escala y resolver al mismo tiempo el problema de la gravedad cuántica en distancias cortas y de la unificación de la gravedad con las otras fuerzas de la naturaleza. Desde la primera década del siglo XX se han realizado intentos que buscan la solución a este problema, y que han despertado gran interés.

Después de la explosión científica que supuso la teoría de la relatividad general de Einstein que asombró al mundo, surgieron a partir e inspiradas por ella, todas esas otras teorías que antes he mencionado desde la teoría Kaluza-Klein a la teoría M.

Es de enorme interés el postulado que dichas teorías expone. Es de una riqueza incalculable el grado de complejidad que se ha llegado a conseguir para desarrollar y formular matemáticamente estas nuevas teorías que, como la de Kaluza-Klein o la de supercuerdas (la una en cinco dimensiones y la otra en 10 ó 26 dimensiones) surgen de otra generalización de la relatividad general tetradimensional einsteniana que se plantea en cuatro dimensiones, tres espaciales y una temporal, y para formular las nuevas teorías se añaden más dimensiones de espacio que, aunque están enrolladas en una distancia

de Planck, facilitan el espacio suficiente para incluir todas las fuerzas y todos los componentes de la materia, tratando de postularse como la Teoría de Todo.

La Gran Teoría Unificada que todo lo explique es un largo sueño acariciado y buscado por muchos. El mismo Einstein se pasó los últimos treinta años de su vida buscando el *Santo Grial de la teoría del todo* en la física, unificadora de las fuerzas y de la materia. Desgraciadamente, en aquellos tiempos no se conocían elementos y datos descubiertos más tarde y, en tales condiciones, sin las herramientas necesarias, Einstein no podría alcanzar su sueño tan largamente buscado. Si aún viviera entre nosotros, seguro que disfrutaría con la teoría de supercuerdas o la teoría M, al ver como de ellas, sin que nadie las llame, surgen, como por encanto, sus ecuaciones de campo de la relatividad general.

La fuerza de la naturaleza, en el universo primitivo del Big Bang, era una sola fuerza y el estado de la materia es hoy conocido como “plasma”; las enormes temperaturas que regían no permitía la existencia de protones o neutrones, todo era como una sopa de quarks. El universo era opaco y estaba presente una simetría unificadora.

Más tarde, con la expansión, se produjo el enfriamiento gradual que finalmente produjo la rotura de la simetría reinante. Lo que era una sola fuerza se dividió en cuatro. El plasma, al perder la temperatura necesaria para conservar su estado, se trocó en quarks que formaron protones y neutrones que se unieron para formar núcleos. De la fuerza electromagnética, surgieron los electrones cargados negativamente y que, de inmediato, fueron atraídos por los protones de los núcleos, cargados positivamente; así surgieron los átomos que, a su vez, se juntaron para formar células y éstas para formar los elementos que hoy conocemos. Después se formaron las estrellas y las galaxias que sirvieron de fábrica para elementos más complejos surgidos de sus hornos nucleares hasta completar los 92 elementos naturales que conforma toda la materia conocida. Existen otros elementos que podríamos añadir a la Tabla, pero estos son artificiales como el plutonio o el einstenio.

Estos conocimientos y otros muchos que hoy posee la ciencia es el fruto de mucho trabajo, de la curiosidad innata al ser humano, del talento de algunos y del ingenio de unos pocos, todo ello después de años y años de evolución pasando los descubrimientos obtenidos de generación en generación.

¿Cómo habría podido Einstein formular su teoría de la relatividad general sin haber encontrado el Tensor métrico del matemático alemán Riemann?

¿Qué formulación del electromagnetismo habría podido hacer James C. Maxwell sin el conocimiento de los experimentos de Faraday?

La relatividad especial de Einstein, ¿habría sido posible sin Maxwell y Lorentz?

¿Qué unidades habría expuesto Planck sin los números de Stoney?

Así podríamos continuar indefinidamente, partiendo incluso, del átomo de Demócrito, hace ahora más de 2.000 años. Todos los descubrimientos e inventos científicos están apoyados por ideas que surgen desde conocimientos anteriores que son ampliados por nuevas y más modernas formulaciones.

Precisamente, eso es lo que está ocurriendo ahora con la teoría M de las supercuerdas de Witten. Él se inspira en teorías anteriores que, a su vez, se derivan de la original de A. Einstein que pudo surgir, como he comentado, gracias al conocimiento que en geometría aportó Riemann con su tensor métrico.

Y no sería extraño que, al igual que Einstein pudo salir del callejón sin salida en el que estaba metido, hasta que por fin apareció la geometría espacial curva de Riemann para salvarlo que, de la misma manera, Witten y otros, puedan salir del escollo en el que han quedado aprisionados con la teoría de supercuerdas, gracias a las *funciones modulares* de aquel extraño matemático llamado Ramanujan que, como Riemann, murió antes de cumplir los treinta y cinco años.

En el ranking de los científicos más importantes del mundo, elaborado en función del impacto de los artículos publicados por cada cual en las revistas científicas, los trabajos realizados y los libros, etc, que es un buen indicador de la carrera de cada uno, no parece haber ninguna duda en que Ed Witten, el físico-matemático estadounidense, tiene el número uno de esa lista, y muy destacado sobre el segundo. Aunque es Físico Teórico, en 1.990, la Unión Internacional de Matemáticos le concedió la Medalla Field, algo así como el primeo Nobel en matemáticas que no concede la Academia Sueca. Es la figura más destacada en el campo de las supercuerdas, un complicado entramado teórico que supera el gran contrasentido de que las dos vertientes más avanzadas de la física, la teoría relativista de la gravitación y la mecánica cuántica, sean incompatibles pese a que cada una por separado estén más que demostradas.

Ningún físico se siente cómodo con este divorcio recalcitrante, aunque no todos tienen la misma confianza en esta concepción de las supercuerdas, en que las partículas elementales (electrones, quarks, etc) son modos de vibración de cuerdas de tamaño inimaginablemente pequeño (10^{-33} cm) que existen en universos con 11 dimensiones en lugar de las cuatro cotidianas, tres de espacio y una de tiempo de la teoría de A. Einstein. Las supercuerdas están en ebullición desde que hace unos veinte años Witten dio un fuerte tirón a toda la cuestión al sintetizar brillantemente ideas que estabas en el ambiente y que nadie había sido capaz de formular a plena satisfacción de todos, ya que, esta especialidad de supercuerdas y de las 11 dimensiones exige un nivel y una profundidad matemática que sólo está al alcance de unos pocos. Este trabajo de Witten desembocó en lo que hasta ahora todos denominan teoría M (Witten, como ya he comentado antes, se refería en su exposición de la nueva teoría – o mejor, nuevo planteamiento – a magia, misterio y matriz).

La teoría de supercuerdas tiene tantas sorpresas fantásticas que cualquiera que investigue en el tema reconoce que está llena de magia. Es algo que funciona con tanta belleza... Cuando cosas que no encajan juntas e incluso se repelen, si se acerca la una a la otra alguien es capaz de formular un camino mediante el cual, no sólo no se rechazan, sino que encajan a la perfección dentro de ese sistema, como ocurre ahora con la teoría M que acoge

con naturalidad la teoría de la relatividad general y la teoría mecánico-cuántica; ahí, cuando eso se produce, está presente la belleza.

Lo que hace que la teoría de supercuerdas sea tan interesante es que el marco estándar mediante el cual conocemos la mayor parte de la física es la teoría cuántica y resulta que ella hace imposible la gravedad. La relatividad general de Einstein, que es el modelo de la gravedad, no funciona con la teoría cuántica. Sin embargo, las supercuerdas modifican la teoría cuántica estándar de tal manera que la gravedad no sólo se convierte en posible, sino que forma parte natural del sistema; es inevitable para que éste sea completo.

Un sistema como el Modelo Estándar, que acoge todas las fuerzas de la naturaleza, dejando aparte la fuerza gravitatoria, no refleja la realidad de la naturaleza, está incompleto.

Hace muchos años que la física persigue ese modelo, la llaman Teoría de Todo y debe explicar todas las fuerzas que interaccionan con las partículas subatómicas que conforman la materia y, en definitiva, el universo, su comienzo y su final, el hiperespacio y los universos paralelos. Esa es la teoría de supercuerdas.

¿Por qué es tan importante encajar la gravedad y la teoría cuántica? Porque no podemos admitir una teoría que explique las fuerzas de la naturaleza y deje fuera a una de esas fuerzas. Así ocurre con el Modelo Estándar que deja aparte y no incluye a la fuerza gravitatoria que está ahí, en la naturaleza.

La teoría de supercuerdas se perfila como la teoría que tiene implicaciones si tratamos con las cosas muy pequeñas, en el microcosmos; toda la teoría de partículas elementales cambia con las supercuerdas que penetra mucho más; llega mucho más allá de lo que ahora es posible.

En cuanto a nuestra comprensión del universo a gran escala (galaxias, el Big Bang...), creo que afectará a nuestra idea presente, al esquema que

hoy rige y, como la nueva teoría, el horizonte se ampliará enormemente; el cosmos se presentará ante nosotros como un todo, con un comienzo muy bien definido y un final muy bien determinado.

Para cuando eso llegue, sabremos lo que es, como se genera y dónde están situadas la esquiva materia oscura y energía invisible que sabemos que están ahí, pero no sabemos explicar ni el qué ni el por qué.

La Humanidad, aún en proceso de humanización, para su evolución necesita otro salto cuantitativo y cualitativo del conocimiento que les permita avanzar notablemente hacia el futuro. Ese avance está supeditado a que la teoría M, la versión más avanzada de supercuerdas, se haga realidad.

Todos los avances de la Humanidad han estado siempre cogidos de la mano de las matemáticas y de la física. Gracias a estas dos disciplinas del saber podemos vivir cómodamente en ciudades iluminadas en confortables viviendas. Sin Einstein, pongamos por ejemplo, no tendríamos láseres o máseres, pantallas de ordenadores y de TV, y estaríamos en la ignorancia sobre la curvatura del espacio-tiempo o sobre la posibilidad de ralentizar el tiempo si viajamos a gran velocidad; también estaríamos en la más completa ignorancia sobre el hecho cierto y demostrado de que masa y energía ($E = mc^2$), son la misma cosa.

Como ese ejemplo podríamos aportar miles y miles. Es necesario continuar avanzando en el conocimiento de las cosas para hacer posible que, algún día, dominemos las energías de las estrellas, de los agujeros negros y de las galaxias. Ese dominio será el único camino para que la Humanidad que habita el planeta Tierra, pueda algún día, lejano en el futuro, escapar hacia las estrellas para instalarse en otros mundos lejanos. Ese es nuestro inevitable destino. Llegará ese irremediable suceso que convertirá nuestro Sol en una gigante roja, cuya órbita sobrepasará Mercurio, Venus y posiblemente el planeta Tierra. Pero antes, en el proceso, las temperaturas se incrementarán y los mares y océanos del planeta se reconvertirán en vapor. Toda la vida sobre el planeta será eliminada y para entonces, si queremos sobrevivir y preservar la especie, estaremos ya muy lejos, buscando nuevos mundos habitables en algunos casos, o instalados como colonizadores de otros pla-

netas. Mientras tanto, el Sol habrá explotado en nova y se convertirá en una estrella enana blanca. Sus capas exteriores serán lanzadas al espacio estelar y el resto de la masa del Sol se contraerá sobre sí misma. La fuerza de gravedad reducirá más y más su diámetro, hasta dejarlo en unos pocos kilómetros, como una gran pelota de enorme densidad que poco a poco se enfriará. Un cadáver estelar.

Ese es el destino del Sol que ahora hace posible la vida en nuestro planeta, enviándonos su luz y su calor, sin los cuales, no podríamos sobrevivir.

Para cuando eso llegue (faltan 4.000 millones de años), la Humanidad tendrá que contar con medios tan avanzados que ahora sólo podríamos imaginar. Las dificultades que habrá que vencer son muchas y, sobre todo, increíblemente difíciles de superar.

¿Cómo podremos evitar las radiaciones gamma y ultravioletas?

¿En qué clase de naves podremos escapar a esos mundos lejanos?

¿Seremos capaces de vencer la barrera de la velocidad de la luz?

Nuestros ingenios espaciales, nuestra naves hoy (estamos en la edad primitiva de los viajes espaciales), pueden alcanzar una velocidad máxima de 40 ó 50 mil kilómetros por hora y, además, la mayor parte de su carga es el combustible necesario para moverla.

La estrella más cercana al Sol es Alfa Centauro; un sistema triple, consistente en una binaria brillante y una enana roja débil a 2° , llamada Próxima Centauro. La binaria consiste en una enana G2 de amplitud $-0'01$ y una enana K1 de magnitud $1'3$. Vistas a simple vista, aparecen como una única estrella y se encuentran a $4'3$ años luz del Sol.

Sabemos que 1 año luz es la distancia recorrida por la luz en un año trópico a través del espacio vacío, y equivale a $9'4607 \times 10^{12}$ km, ó 63.240 Unidades Astronómicas, ó $0'3066$ parsecs.

La Unidad Astronómica es la distancia que separa al planeta Tierra del Sol, y equivale a 150 millones de kilómetros; poco más de 8 minutos luz.

Ahora pensemos en la enormidad de la distancia que debemos recorrer para llegar a Alfa Centauro, nuestra estrella vecina más cercana.

63.240 Unidades Astronómicas a razón de 150 millones de km. Cada una nos dará 9.486.000.000.000 de kilómetros recorridos en un año y, hasta llegar a Alfa Centauro, lo multiplicamos por 4'3 y nos resultarían 40.789.800.000.000 de kilómetros hasta Alfa. La cantidad resultante son millones de kilómetros.

Ahora pensemos que con nuestras actuales naves que alcanzan velocidades de 50.000 km/h, tratáramos de llegar a Alfa Centauro. ¿Cuándo llegaríamos, en el supuesto caso de que no surgieran problemas durante el viaje?

Bueno, en estas condiciones, los viajeros que salieran de la Tierra junto con sus familias, tendrían que pasar el testigo a las siguientes generaciones que, con el paso del tiempo (muchos, muchos siglos), olvidarían su origen y, posiblemente, las condiciones de ingratitud del espacio mutarían el físico de estos seres en forma tal que, al llegar a su destino podrían ser cualquier cosa menos humanos. Precisamente para evitar este triste final, estamos investigando, haciendo pruebas en viajes espaciales, trabajando en nuevas tecnologías y probando con nuevos materiales, y buscando en nuevas teorías avanzadas, como la teoría M, las respuestas a preguntas que hacemos y de las que hoy no tenemos respuesta, y sin estas respuestas, no podemos continuar avanzando para que, cuando llegue ese lejano día, podamos con garantía salir hacia las estrellas, hacia esos otros mundos que acogerá a la Humanidad, cuyo destino, irremediablemente, está en las estrellas. De material de estrellas estamos hechos y en las estrellas está nuestro destino.

Si finalmente el destino del universo (supeditado a su densidad crítica), es el Big Crunch, entonces la Humanidad tendrá otro problema, este aún más gordo que el anterior, para resolver.

El primero será buscar soluciones para escapar de nuestro sistema solar, lo que en un futuro lejano, y teniendo encuentra que el avance tecnológico, es exponencial, parece que dicho problema puede tener una solución dentro de los límites que la lógica nos puede imponer. El segundo parece más serio, ¡escapar de nuestro universo! Pero... ¿a dónde podríamos escapar? Stephen Hawking y otros científicos nos hablan de la posibilidad de universos paralelos o múltiples; en unos puede haber condiciones para albergar la vida y en otros no. ¿Pero cómo sabremos que esos universos existen y cuál es el adecuado para nosotros? ¿Cómo podremos escapar de este universo para ir a ese otro?

Son preguntas que nadie puede contestar hoy. La Humanidad, para saber con certeza su futuro, tendrá que seguir trabajando y buscando nuevos conocimientos y, para dentro de unos milenios (si antes no se destruye a sí misma), seguramente, habrá obtenido algunas respuestas que contestarán esta difícil pregunta que, a comienzos del siglo XXI, nadie está capacitado para contestar.

Se puede sentir la fascinación causada por la observación de la belleza que encierra el universo, la simple observación de lo que encierra nos causará asombro, aunque no se tenga preparación científica, pero el nivel de apreciación de la naturaleza, la verdadera maravilla, vendrá de comprender mejor lo que estamos viendo, que es mucho más que grandes figuras luminosas y múltiples objetos brillantes, es... la evolución... la vida.

Ensimismado en mis pensamientos me asombro del enorme talento que tenía Einstein. Su gravedad es una predicción de las supercuerdas; sus ecuaciones surgen de esta nueva teoría como por arte de magia, nadie las ha llamado, pero aparecen. Dicha aparición espontánea es una pista importante a favor de esta nueva teoría que aspira a contestar alguna de las preguntas pendientes. Por otra parte, las supercuerdas originan la idea de la supersimetría, considerada uno de los grandes descubrimientos en física.

En el CERN (Laboratorio Europeo de Física de Partículas), situado cerca de Ginebra, los países europeos están construyendo un nuevo acelerador de partículas, el LHC, y en él se buscará esta supersimetría, la partícula

de Higgs que proporciona la masa a todas las partículas, y tratará de despejar interrogantes que en los aceleradores actuales no pueden ser contestados.

Pero volviendo al tema principal, tendremos que convenir todos en el hecho innegable de que, en realidad, estas nuevas teorías que pretenden explicarlo todo, en realidad, como digo, están todas basadas en la teoría de la relatividad general de Einstein.

La han ampliado elevándola a más dimensiones que les permite añadir más factores, pero las ecuaciones de campo de Einstein subyacen en la base de todas estas teorías, desde la que expusieron Kaluza-Klein en la 5^a dimensión, hasta estas otras más recientes de 10, 11 y 26 dimensiones.

Lo que realmente podemos constatar en nuestra experiencia cotidiana es que las dimensiones espaciotemporales del mundo en que vivimos son tres de espacio y una de tiempo. Sin embargo, muchos propugnan otro esquema en el que el universo tiene más dimensiones que, en el primer segundo del comienzo del tiempo, cuando se produjo el Big Bang, quedaron compactificadas y no pudieron expandirse como las otras tres (longitud, anchura y altura), sino que se quedaron en la longitud de Planck, inmóviles, mientras que sus compañeras se expandían y se hacían más y más grandes. Estas estructuras conceptuales, la más famosa (por ser la primera), la teoría de Kaluza que más tarde perfeccionó Klein y pasó a llamarse de Kaluza-Klein, más tarde inspiró otras teorías hasta llegar a las supercuerdas y a la teoría M, la más avanzada y completa. Sin embargo, es importante recordar que Kaluza se inspiró en la teoría de Einstein para formular su teoría, a la que añadió otra dimensión de espacio que le permitió incluir dentro de la nueva teoría, además de las ecuaciones de Einstein, las de Maxwell; uniendo así la gravedad con el electromagnetismo.

Las supercuerdas en más dimensiones, al tener mucho más espacio disponible, puede incluir dentro de su esquema a todas las fuerzas y a todas las partículas que conforman la materia del universo, como se ve claramente en el gráfico de la página 73 que partiendo de la gravedad de Einstein pasa al electromagnetismo de Maxwell, a las fuerzas nucleares, con sus partículas

transmisoras y se llega a los quarks y leptones de la materia. Es la primera teoría que ha sido capaz de unir la relatividad y la mecánica cuántica.

Hemos conseguido grandes logros y enormes conocimientos, cualquiera de ellos es suficiente para causar nuestro asombro. Por ejemplo, matemáticamente, la fuerza eléctrica fue descubierta en el año 1.785 por el ingeniero en estructuras Charles Coulomb. Ahora bien, con relación a las grandes distancias, la fuerza eléctrica y magnética actúa igual a como lo hace la gravedad: al duplicar la distancia, su magnitud disminuye a la cuarta parte. Claro que la gravedad depende de la masa y la electricidad de la carga y, mientras que la primera sólo es atractiva, la segunda puede ser atractiva cuando los objetos tienen carga diferentes (protón positiva y electrón negativa) o repulsivos cuando las cargas son iguales (protón rechaza a protón y electrón rechaza a electrón); se puede probar jugando con dos imanes que se juntarán por sus polos negativos-positivo y se rechazarán por sus polos positivo-positivo y negativo-negativo. Más tarde llegó Michael Faraday con sus experimentos eléctricos y magnéticos y, finalmente, James Clero Maxwell formuló con sus ocho ecuaciones vectoriales la teoría del electromagnetismo.

Lorentz nos descubrió que un objeto que viaje a velocidades cercanas a la de la luz, c , se achatará por la parte delantera del sentido de su marcha (contracción de Lorentz) y, mientras tanto, su masa aumentará (lo que ha sido comprobado en los aceleradores de partículas).

Max Planck nos trajo su cuanto de acción, h , que dio lugar a la mecánica cuántica al descubrir que la energía se transmite en forma discontinua mediante paquetes discretos a los que llamó cuantos. También fue obra de Planck perfeccionar las unidades de Stoney y nos dejó esas cantidades naturales de tiempo, espacio, energía y masa.

Schrödinger, con su función de onda (Ψ), nos dijo la manera de solucionar, en parte, el problema planteado por Heisemberg con su principio de incertidumbre, según el cual no podemos saber, al mismo tiempo, dónde está una partícula y hacia dónde se dirige; sólo estamos capacitados para saber una de las dos cosas, pero no las dos al mismo tiempo. Así que la función de

onda nos dice la probabilidad que tenemos para encontrar esa partícula y en qué lugar se encuentra.

La llegada de Einstein, en 1.905, fue para la física como el elefante que entró en la cacharrería; lo puso todo patas arriba. Los cimientos de la física temblaron con aquellos nuevos y osados conceptos que, en un primer momento, no todos pudieron comprender. Precisamente, Max Planck fue uno de esos pocos privilegiados que, al leer el artículo de Einstein sobre la relatividad especial, comprendió que a partir de ese momento habría que concebir la física bajo la base de otros principios.

Einstein, un desconocido, le decía al mundo científico que la velocidad de la luz en el vacío, c , era el límite de la velocidad alcanzable en nuestro universo; nada podía ir más rápido que la luz. Además, decía que el tiempo es relativo y que no transcurre igual para todos. La velocidad del paso del tiempo depende de la velocidad a la que se viaje y de quien sea el observador.

El jefe de estación observa como para el tren que viaja a 60 km/h. Puede ver como un niño que viaja con su padre, sentado junto a él, se asoma por la ventanilla y arroja una pelota, en el mismo sentido de la marcha del tren, impulsándola con una fuerza de 20 km/h. Si el que mide la velocidad de la pelota es el jefe de estación, comprobará que ésta va a 80 km/h, los 60 km a los que viaja el tren, más los 20 km a los que el niño lanzó la pelota; ambas velocidades se han sumado. Sin embargo, si la velocidad de la pelota es medida por el padre del niño que también va viajando en el tren, la velocidad será de 20 km/h, sólo la velocidad de la pelota; no se suma la velocidad del tren, ya que quien mide está montado en él y por lo tanto esta velocidad no cuenta. La velocidad de la pelota será distinta dependiendo de quien la mida, si el observador está en reposo o en movimiento.

De la misma manera, Einstein, en su teoría, nos demostraba que el tiempo transcurre más lentamente si viajamos a velocidades cercanas a las de la luz.

Tal afirmación dio lugar a la conocida como paradoja de los gemelos. Resulta que dos hermanos gemelos de 28 años de edad se han preparado, uno para arquitecto y el otro para astronauta. El hermano astronauta se dispone a realizar un viaje de inspección hasta Alfa Centauri y su hermano se queda en la Tierra esperando su regreso.

Cuando por fin el astronauta, que a viajado a 250.000 km/s, regresa a la Tierra, desembarca con una edad de 38 años y es recibido por su hermano gemelo que se quedó en la Tierra y que tiene la edad de 80 años. ¿Cómo es posible eso?

Pues ha sido posible porque el hermano que viajó a velocidades cercanas a la de la luz ralentizó el tiempo que transcurrió más lentamente para él que para su hermano de la Tierra. El astronauta viajó hasta Alfa Centauro a 4'3 años luz de la Tierra, ida y vuelta 8'6 años luz. Pero al viajar tan rápido, muy cerca de la velocidad de la luz, transcurrieron sólo 10 años, mientras que en la Tierra pasaron 52 años.

Aunque parezca increíble, esa es la realidad comprobada.

También Einstein postulaba en su teoría que la masa y la energía eran dos aspectos de una misma cosa; la masa sólo era energía congelada. Para ello formulaba su famosa ecuación $E = mc^2$.

En otro artículo, inspirado por el “cuanto” de Planck, Einstein dejó plasmado lo que desde entonces se conoce como “efecto fotoeléctrico”, demostrando que las partículas unas veces se comportan como tales y otras como una onda. Este trabajo le valió el premio Nobel de Física de 1.923, aunque la mayoría de la gente cree que se lo dieron por su teoría de la relatividad. En verdad, si se considera la importancia de sus trabajos, la Relatividad Especial se merecía un premio Nobel y la Relatividad General de 1.915, se merecía otro.

De todos sus trabajos, el más completo e importante, es el de la relatividad general, de cuya importancia para la física y para la cosmología, aún

hoy, cerca de un siglo después, se están recogiendo resultados. Así de profunda, importante y compleja (dentro de su sencillez y belleza) son las ecuaciones de Einstein que un siglo después continua enviando mensajes nuevos de cuestiones de vital importancia. La teoría M también tiene su origen en la relatividad general que curva el espacio y distorsiona el tiempo en presencia de grandes masas, haciendo posible la existencia de agujeros negros y agujeros de gusano que según algunos, serán la posible puerta para viajar a otros universos y a otro tiempo.

Es necesario que los científicos piensen en estas cosas para solucionar los problemas del futuro y cuándo llegue el momento, salir de las encrucijadas a las que, irremediablemente, estamos destinados.

La gente corriente no piensa en estas cuestiones; su preocupación es más cercana y cotidiana, la hipoteca del piso o los estudios de los niños y, en la mayoría de los casos, lo importante es el fútbol. Es una lástima, pero así son las cosas. No se paran ni a pensar cómo se forma una estrella, de qué está hecha y por qué brilla. Nuestro Sol, por ejemplo, es una estrella mediaña, amarilla, del Grupo G-2, ordinaria, que básicamente consume hidrógeno y como en el Big Bang original, lo fusiona en helio. Sin embargo, puesto que los protones en el hidrógeno pesan más que en el helio, existe un exceso de masa que se transforma en energía mediante la fórmula de Einstein $E = mc^2$. Esta energía es la que mantiene unidos los núcleos. Esta es también la energía liberada cuando el hidrógeno se fusiona para crear helio. Esta, al fin, es la razón de que brille el Sol.

Ya hemos comentado antes que los elementos complejos se forman en las estrellas que, desde el hidrógeno, helio, litio, berilio, carbono, neón, etc, hasta el uranio, sin las estrellas no existirían... y nosotros tampoco, ya que nuestra forma de vida está basada en el carbono, un material que tiene su origen en las estrellas.

Cuestiones tan básicas como estas son ignoradas por la inmensa mayoría del común de los mortales que, en la mayor parte de los casos tiene una información errónea y deformada de las cosas que se han transmitido de

unos a otros de oída, sin base científica alguna y, generalmente, confundiendo los términos y los conceptos.

En EEUU, por ejemplo, se realizó una encuesta entre la gente de la calle y una enorme mayoría desconocía que el universo está en expansión, que la Tierra se mueve a 30 km/s, y cuáles son los nucleones (partículas) que forman los núcleos de los átomos. Muy pocos contestaron el nombre del grupo de galaxias al que pertenece la nuestra, la Vía Láctea, y tampoco supieron contestar a qué distancia se encontraba nuestra vecina, la galaxia Andrómeda, o simplemente a qué distancia estamos nosotros del centro de nuestra galaxia, qué diámetro mide ésta o cuántas estrellas contiene.

En ese examen del conocimiento básico sobre el lugar donde nos encontramos o cómo funciona el Sol, los examinados se llevaron a sus casas (como diría Aznar) un cero patatero. Lástima, pero así son las cosas, y lo grave es que el resultado de la encuesta habría sido el mismo en cualquier parte. A la inmensa mayoría de las veces en que alguien expone conocimientos científicos, ocurre lo mismo, no va nadie del pueblo llano, ni por curiosidad y, de ser así (he sido testigo), a los diez minutos están bosteando. A esta mayoría, la inteligencia les persigue, pero ellos son mucho mas rápidos.

Así las cosas, estamos supeditados a unos pocos enamorados de la ciencia que, muchas veces, en las más ínfimas condiciones, (se les escatima el presupuesto) trabajan e investigan por la propia inercia de su curiosidad y deseo de saber para entregar al mundo (que no lo agradece) el logro de sus desvelos.

Como dijo Karl Raimund Popper, filósofo británico de origen austriaco (Viena, 1902 – Croydon, 1994) que realizó sumas importantes trabajos en el ámbito de la metodología de la ciencia: “*cuanto más profundizo en el saber de las cosas, más consciente soy de lo poco que sé. Mis conocimientos son finitos pero, mi ignorancia, es infinita*”.

Está claro que la mayoría de las veces, no hacemos la pregunta adecuada porque nos falta conocimiento para realizarla. Así, cuando se hacen nuevos descubrimientos nos dan la posibilidad de hacer nuevas preguntas, ya que en la ciencia, generalmente, cuando se abre una puerta nos lleva a una gran sala en la que encontramos otras puertas cerradas y tenemos la obligación de buscar las llaves que nos permitan abrirlas para continuar. Esas puertas cerradas esconden las cosas que no sabemos y las llaves son retazos de conocimiento que nos permiten entrar en esos nuevos compartimentos del saber.

Desde tiempos inmemoriales, la Humanidad para avanzar se sirvió de las llaves encontradas por Tales de Mileto, Empédocles, Demócrito, Platón, Pitágoras, Aristóteles... Galileo, Newton... Stoney, Max Planck, Einstein, Heisemberg, Dirac, Feynman,... Witten... y vendrán otros que, con su ingenio y sabiduría, impedirán que todos los demás regresen a las cavernas. Así que ja disfrutar de la TV, el fax, los ordenadores, internet, los satélites, los teléfonos móviles tan necesarios, etc! No sabemos cómo funciona todo eso pero ¿qué más da?

Siempre habrá gente que se preocupe por los demás y harán el trabajo necesario para sacarles las castañas del fuego. Esa gente a la que me refiero, son los “chiflados” científicos, siempre en las nubes todos ellos, y no como los políticos “tan pendiente siempre de solucionar nuestros problemas”.

Pero dejemos el tema de la política para evitar que esto termine como el rosario de la aurora. Contemplando lo que ocurre, la desfachatez de los gobernantes que retuerzen la ley para hacernos creer que esta dice todo lo contrario que pretendía el legislador al promulgarla, para así conseguir sus fines particulares y de partido a costa de dar una patada al trasero del bien general. Contemplando esto, digo, me entrar ganas, asqueado, de realizar un viaje en el tiempo y desaparecer de este mezquino, injusto e hipócrita momento.

Ahora que menciono el viaje en el tiempo recuerdo “*La máquina del tiempo*” de H. G. Wells, en la que el científico se sienta en un sillón situado en su sala de estar, gira unos pocos botones, ve luces parpadeantes y es tes-

tigo del vasto panorama de la Historia; coloca la aguja para el pasado o para el futuro, señala el año que desea visitar y las guerras y civilizaciones pasan vertiginosamente ante sus ojos y la máquina se detiene en el año, mes y día que él señaló en una especie de dial.

Tan rudimentario artilugio contrasta con el que propone Kip S. Thorne. Éste consiste en dos cabinas, cada una de las cuales contiene dos placas de metal paralelas. Los intensos campos eléctricos creados entre cada par de placas (mayores que cualquier cosa posible con la tecnología actual) rizan el tejido del espacio-tiempo, creando un agujero en el espacio que une las dos cabinas. Una cabina se coloca entonces en una nave espacial y es acelerada hasta velocidades cercanas a la de la luz, mientras que la otra cabina permanece en la Tierra. Puesto que un agujero de gusano puede conectar dos regiones del espacio con tiempos diferentes, un reloj en la primera cabina marcha más despacio que un reloj en la segunda cabina. Debido a que el tiempo transcurrirá diferente en los dos extremos del agujero de gusano, cualquiera que entrase en un extremo del agujero de gusano sería instantáneamente lanzado el pasado o al futuro.

Otra máquina del tiempo podría tener el siguiente aspecto. Si puede encontrarse materia exótica y dárselle la forma de metal, entonces la forma ideal sería probablemente un cilindro. Un ser humano está situado en el centro del cilindro. La materia exótica distorsiona entonces el espacio y el tiempo a su alrededor, creando un agujero de gusano que se conecta a una parte lejana del universo en un tiempo diferente. En el centro del vértice está el ser humano, que no experimenta más que 1 g de tensión gravitatoria cuando es absorbido en el agujero de gusano y se encuentra así mismo en el otro extremo del universo.

Aparentemente, el razonamiento matemático de Thorne es totalmente impecable. Las ecuaciones de Einstein muestran en realidad que las soluciones de agujeros de gusano permiten que el tiempo transcurra a diferentes velocidades en cada extremo del agujero de gusano, de modo que el viaje en el tiempo es posible en principio. El problema reside en crear el agujero de gusano en primer lugar, y como Thorne y sus colaboradores señalan rápidamente, lo difícil está en cómo dominar la energía suficiente para crear y

mantener un agujero de gusano, como se ha dicho, con materia exótica que, de momento, no parece fácil de conseguir.

Normalmente, una de las ideas básicas de la física elemental es que todos los objetos tienen energía positiva. Las moléculas vibrantes, los automóviles en movimiento, los pájaros que vuelan y los misiles propulsados tienen todas energías positivas. (Por definición, el espacio vacío tiene energía nula.) Sin embargo, si podemos producir objetos con “energías negativas” (es decir, algo que tiene un contenido de energía menor que el del vacío), entonces podríamos ser capaces de generar configuraciones exóticas de espacio y tiempo en las que el tiempo se curve en un círculo.

Este concepto más bien simple se conoce con un título que suena complicado: la condición de energía media débil (AWEC). Como Thorne tiene cuidado de señalar, la AWEC debe ser violada; la energía debe hacerse temporalmente negativa para que el viaje en el tiempo tenga éxito. Sin embargo, la energía negativa ha sido históricamente anatema para los relativistas, que advierten que la energía negativa haría posible la antigravedad y un montón de otros fenómenos que nunca se han visto experimentalmente, y que desde luego, nos vendrían como anillo al dedo para solucionar serios problemas.

Kip S. Thorne señala al momento que existe una forma de obtener energía negativa, y esto es a través de la teoría cuántica. En 1948, el físico holandés Herrik Casimir demostró que la teoría cuántica puede crear energía negativa: tomemos simplemente dos placas de metal paralelas y descargadas. Ordinariamente, el sentido común nos dice que estas dos placas, puesto que son eléctricamente neutras, no ejercen ninguna fuerza entre sí. Pero Casimir demostró que, debido al principio de incertidumbre de Heisenberg, en el vacío que separa estas dos placas hay realmente una agitada actividad, con billones de partículas y antipartículas apareciendo y desapareciendo constantemente a partir de la nada en ese espacio “vacío”, partículas virtuales que mediante el efecto túnel vienen y van fugaces, tan fugaces que son en su mayoría inobservables, y no violan ninguna de las leyes de la física. Estas “partículas virtuales” crean una fuerza neta atractiva entre las dos placas de Casimir que predijo que era medible.

Cuando Casimir publicó su artículo, se encontró con un fuerte escepticismo. Después de todo, ¿cómo pueden atraerse dos objetos eléctricamente neutros, violando así las leyes normales de la electricidad clásica? Esto era inaudito. Sin embargo, 10 años después, en 1.958, el físico M. J. Sparnaay observó este efecto en el laboratorio, exactamente como predijo Casimir. Desde entonces, ha sido bautizado como el “efecto Casimir”.

Por el momento, aun no hay veredicto sobre la máquina del tiempo de Thorne. Todos están de acuerdo en que el factor decisivo es tener una teoría de la gravedad completamente cuantizada para zanjar la cuestión de una vez por todas. Por ejemplo, Stephen Hawking ha señalado que la radiación emitida en la entrada del agujero de gusano sería muy grande y contribuiría a su vez al contenido de materia y energía de las ecuaciones de Einstein. Esta re-alimentación en las ecuaciones de Einstein distorsionaría la entrada del agujero de gusano, quizá incluso cerrándolo para siempre. Thorne, sin embargo, discrepa en que la radiación sea suficiente para cerrar la entrada.

Los dos físicos, Hawking y Thorne, muy amigos, tienen una apuesta sobre el tema. ¿Quién la ganará? Puede suceder que la respuesta llegue cuando ninguno de los dos exista.

Thorne, a petición de su amigo Carl Sagan, le asesoró en la novela “*Contact*” que en el cine interpretó Jodie Foster, y en la que una experta astrónoma buscaba contactar con inteligencia extraterrestre y lo consigue, recibiendo los planos para la construcción de una maquina del tiempo mediante el agujero de gusano de Thorne.

La película está conseguida y el objetivo perseguido también; un mensaje de lo que, en un futuro (aún lejano) podría ser posible.

Claro que, para ello, antes habrá que conseguir unificar la Relatividad General de Einstein (la gravitación universal), con la Mecánica Cuántica de Planck (el microcosmos, el átomo), lo que de nuevo nos lleva al punto de partida:

“La teoría M o supercuerdas”

Lo gracioso de todo esto es que Stephen Hawking, que discrepa de la propuesta de Kip. S. Thorne, ha propuesto una nueva teoría de agujeros de gusano que es incluso más fantástica. En lugar de conectar el presente y el pasado, Hawking propone utilizar agujeros de gusano ¡para conectar nuestro universo con un número infinito de universos paralelos!

Lo curioso y asombroso de estas propuestas, al parecer fantásticas, es que están bien apoyadas por ecuaciones matemáticas muy bien sentadas en los métodos ortodoxos de la ciencia, y ninguno de los dos proponentes, ni Hawking ni Thorne, son ningunos tontos, sino que, por el contrario, tienen un sólido prestigio dentro de la comunidad científica donde son muy respetados por un serio historial profesional de reconocimiento mundial.

Y ambos nos están hablando de viajar en el tiempo.

Por mi parte, con lo poco que sé, tengo más que suficiente. Algún día lejos en el futuro podremos, como vaticinan estos dos grandes físicos de hoy, viajar en el tiempo del mañana.

Está claro que todos estos temas futuristas son semillas de grandes controversias entre los físicos que, en todo lo nuevo que surge redividen en dos grupos, los que están a favor y los que no lo están.

Lo mismo ocurre con las nuevas teorías y, la de supercuerdas y más perfeccionada, la llamada teoría M, también tienen sus detractores. La primera controversia en salir a la luz contra la teoría de cuerdas entre las discusiones entre físicos teóricos es aquella que, por comparación con el Modelo Estándar (que explica interacciones y partículas) cuyas predicciones han sido comprobadas en el laboratorio, el nuevo modelo en el marco de las supercuerdas, no da esa posibilidad, ya que no se han logrado que las predicciones que formula la teoría se puedan comprobar mediante experimentos que requieren disponer de una energía de Planck, 10^{19} GeV, cuando hoy la energía disponible en los aceleradores es de 10^3 GeV y los efectos de gravedad cuántica no aparecen en los laboratorios de física de partículas. Hoy día es totalmente impensable disponer de tales energías para poder verificar

la teoría de cuerdas que exige descender en el microcosmos hasta 10^{-33} cm, la longitud de Planck que está dada por $L_p = \sqrt{(G\hbar/c^3)}$, donde G es la constante gravitacional, \hbar es la constante de Planck racionalizada y c la velocidad de la luz. El valor de la longitud de Planck es del orden de 10^{-35} m (veinte órdenes de magnitud menor que el tamaño del protón 10^{-15} m). Para llegar a esa longitud, se necesitan 10^{19} GeV, energía que nuestra tecnología actual es incapaz de facilitarnos.

Esta dificultad física de comprobar las predicciones que hace la teoría de supercuerdas, mantiene un frente belicoso en su contra, a pesar de que son muchos los que están a favor.

Particularmente creo que los detractores de la teoría de cuerda son físicos frustrados que son incapaces de abrir sus mentes al futuro. Siempre existieron científicos así, especializados – por envidia – en tratar de quitar importancia a los logros de los demás y, la mayoría de las veces, por no tener capacidad para entenderlo. Todos los grandes logros de la física pasaron por tales pruebas, como la “herejía cuántica”, la “ralentización del tiempo” de la relatividad especial, y otros grandes descubrimientos de la física que, como los de Max Planck y Einstein, al principio no fueron totalmente entendidos por algunos y, aunque sin conseguirlo, trataron de sepultar dichas ideas. Menos mal que ese grupo especializado en negarlo todo y experto en poner pegas, en realidad aún tiene éxito; si no fuera así ¿dónde estaríamos ahora? La Iglesia recluyó a Galileo y retiró todos los libros en los que se decía que nuestro mundo se movía alrededor del Sol.

¿Qué sería de la cosmología actual sin $R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g\mu\nu R = \frac{8\pi}{c^2}GT_{\mu\nu}$? Es la ecuación de Einstein donde $T_{\mu\nu}$ es el tensor energía-momento que mide el contenido de materia-energía, mientras que $R_{\mu\nu}$ es el Tensor de curvatura de Riemann contraído que nos dice la cantidad de curvatura presente en el hipérspacio.

La cosmología estaría 100 años atrás sin esta ecuación.

Los físicos teóricos realizan un trabajo impagable. Con imaginación desbordante efectúan continuamente especulaciones matemáticas referidas a las ideas que bullen en sus mentes. Claro que, de tener éxito, no sería la primera vez que descubrimientos teóricos en la ciencia física terminan dando en el claro y dejando al descubierto de manera espectacular lo que realmente ocurre en la naturaleza. Los ejemplos son muchos:

- Planck, con su cuanto de acción, h , que trajo la mecánica cuántica.
- Einstein, con sus dos versiones de la relatividad que nos descubrió un universo donde la velocidad estaba limitada a la de la luz, donde la energía estaba escondida, quieta y callada, en forma de masa, y donde el espacio y el tiempo se curva y distorsiona cuando están presentes grandes objetos estelares. Además, nos dijo la manera de conseguir que el tiempo transcurriera más lentamente y nos avisó de la existencia de agujeros negros.
- Heisenberg nos abrió los ojos hacia el hecho de que nunca podríamos saberlo todo al mismo tiempo, su Principio de Incertidumbre dejó al descubierto nuestras limitaciones.
- Schrödinger, con su función de onda probabilística, que por medio de una ecuación matemática nos ayuda a encontrar la situación de una partícula.
- P. Dirac, el físico teórico y matemático que predijo la existencia de la antimateria. Poco después de publicar su idea, descubrieron el positrón.

Así podríamos continuar elaborando una lista interminable de logros científicos que comenzaron con simples especulaciones deducidos de la observación sumada a la imaginación.

Uno de los problemas ligados a las supercuerdas y que más resalta es el que tiene que ver con la propia pequeñez de las cuerdas, esos infinitesimales objetos vibrantes. Mientras más pequeño es algo, más difícil es de ver. Estas cuerdas son tan pequeñas que nuestra actual tecnología no es suficiente para bajar a esa escala microscópica para permitirnos experimentar en esas dimensiones; la energía necesaria para ello (como ya dije antes) no está a nuestro alcance en el mundo actual. Esa es la frustración de sus creadores y adeptos; no pueden demostrarla o ver si están equivocados. En la ciencia, no basta con sólo una bonita teoría bien elaborada y de fascinante presencia; hay que ir más allá, experimentar y comprobar con certeza lo que nos está diciendo.

La teoría es avanzada y tiene problemas que se encuentran dentro de los enunciados de sus propios conceptos. Para desarrollar su formulación es necesario aplicar al menos diez dimensiones y, en algunos casos, se ha llegado hasta un número de veintiséis: sólo vemos tres dimensiones de espacio y una de tiempo, el resto de dimensiones adicionales están enroscadas en el límite de Planck e invisibles para nosotros, ya que en el Big Bang, las dimensiones que podemos ver se expandieron, mientras que las otras permanecieron compactadas. Hay numerosas explicaciones que tratan de decírnos el motivo de que estas dimensiones permanecieran en su estado primitivo, pero ninguna parece muy convincente.

Sin embargo, y a pesar de tantos inconvenientes, cada día que pasa la teoría M tiene más adictos. Parece la única candidata seria a que algún día se convierta en la teoría de Todo. En ella encontramos todas las fuerzas, explica todas las partículas y la materia, la relatividad, la mecánica cuántica y también la luz; están allí presentes, perfectamente encajadas en una perfecta simetría y sin que surjan infinitos sin sentido como ocurre otras teorías. Es la esperanza de muchos, la llave que necesitamos para abrir la puerta hacia el futuro.

En el universo en que vivimos, nada desaparece; con el tiempo se cumplen los ciclos de las cosas y se convierten en otra distinta, es un proceso irreversible.

En lo concerniente a cambios y transformaciones, el que más me ha llamado siempre la atención es el de las estrellas que se forman a partir de gas y polvo cósmico. Nubes enormes de gas y polvo se van juntando. Sus moléculas cada vez más apretadas se rozan, se ionizan y se calientan hasta que en el núcleo central de esa bola de gas caliente, la temperatura alcanza millones de grados. La enorme temperatura hace posible la fusión de los protones y, en ese instante, nace la estrella que brillará durante miles de millones de años y dará luz y calor. Su ciclo de vida estará supeditado a su masa. Si la estrella es supermasiva, varias masas solares, su vida será más corta, ya que consumirá el combustible nuclear de fusión (hidrógeno, helio, litio, oxígeno, etc) con más voracidad que una estrella mediana como nuestro Sol, de vida más duradera.

Una estrella, como todo en el universo, está sostenida por el equilibrio de dos fuerzas contrapuestas; en este caso, la fuerza que tiende a expandir la estrella (la energía termonuclear de la fusión) y la fuerza que tiende a contraerla (la fuerza gravitatoria de su propia masa). Cuando finalmente el proceso de fusión se detiene por agotamiento del combustible de fusión, la estrella pierde la fuerza de expansión y queda a merced de la fuerza de gravedad; se hunde bajo el peso de su propia masa, se contrae más y más, y en el caso de estrellas súper masivas, se convierten en una singularidad, una masa que se ha comprimido a tal extremo que acaba poseyendo una fuerza de gravedad de una magnitud difícil de imaginar para el común de los mortales.

Para hacernos una idea y entender algo mejor la fuerza de gravedad que puede generar la singularidad de un agujero negro (que es el destino final las estrellas súper masivas), pongamos el ejemplo de un objeto más cercano, el planeta Tierra.

La Tierra, un objeto minúsculo en comparación con esos objetos súper masivos estelares, genera una fuerza de gravedad que, para escapar de ella, una nave o cohete espacial tiene que salir disparado desde la superficie terrestre a una velocidad de 11'18 km/s; el sol exige 617'3 km/s. Es lo que se conoce como *velocidad de escape*, que es la velocidad mínima requerida para escapar de un campo gravitacional que, lógicamente, aumenta en función de la masa del objeto que la produce. El objeto que escapa puede ser una co-

sa cualquiera, desde una molécula de gas a una nave espacial. La velocidad de escape de un cuerpo está dada por $\sqrt{2GM/R}$, donde G es la constante gravitacional, M es la masa del cuerpo y R es la distancia del objeto que escapa del centro del cuerpo. Un objeto que se mueva con una velocidad menor que la de escape entra en una órbita elíptica; si se mueve a una velocidad exactamente igual a la de escape, sigue una órbita parabólica, y si el objeto supera la velocidad de escape, se mueve en una trayectoria hiperbólica y rompe la atadura en que la mantenía sujeto al planeta, la estrella o el objeto que emite la fuerza gravitatoria.

La mayor velocidad que es posible alcanzar en nuestro universo es la de la luz, c, velocidad que la luz alcanza en el vacío y que es de 299.793'458 km/s.

Pues bien, es tal la fuerza de gravedad de un agujero negro que ni la luz puede escapar de allí; la singularidad la absorbe, la luz desaparece en su interior, de ahí su nombre, *agujero negro*, cuando la estrella supermasiva se contrae, llega a un punto que desaparece de nuestra vista. De acuerdo con la relatividad general, cabe la posibilidad de que una masa se comprima y reduzca sin límites su tamaño y se auto confine en un espacio infinitamente pequeño que encierre una densidad y una energía infinitos. Allí, el espacio y el tiempo dejan de existir.

Las singularidades ocurren en el Big Bang, en los agujeros negros y en el Big Crunch (que se podría considerar como una reunión de todos los agujeros negros generados por el paso del tiempo en el universo y que nos llevará a un fin que será el nuevo comienzo).

Las singularidades de los agujeros negros están rodeados por una circunferencia invisible a su alrededor que marca el límite de su influencia. El objeto que traspasa ese límite es atraído, irremisiblemente, hacia la singularidad que lo engulle, sea una estrella, una nube de gas o cualquier otro objeto cósmico que ose traspasar la línea que se conoce como *horizonte de sucesos* del agujero negro.

La existencia de los agujeros negros fue deducida por Schwarzschild, en el año 1.916, a partir de las ecuaciones de Einstein de la relatividad general. Este astrónomo alemán predijo su existencia, pero el nombre de agujero negro se debe a Wehleer.

Así, el conocimiento de la singularidad está dado por las matemáticas de Einstein y más tarde por la observación de las señales que la presencia del agujero generan. Es una fuente emisora de rayos X que se producen al engullir materia que traspasa el horizonte de sucesos y es atrapada hacia la singularidad, donde desaparece para siempre sumándose a la masa del agujero cada vez mayor.

En el centro de nuestra galaxia, la Vía Láctea, ha sido detectado un enorme agujero negro, ya muy famoso, llamado Cygnus X-1.

Después de todo, la velocidad de la luz, la máxima del universo, no puede vencer la fuerza de gravedad del agujero negro que la tiene confinada para siempre.

En nuestra galaxia, con cien mil años luz de diámetro y unos doscientos mil millones de estrellas, ¿cuántos agujeros negros habrá?

Para mí, la cosa está clara: el tiempo es imparable, el reloj cósmico sigue y sigue andando sin que nada lo pare, miles o cientos de miles, millones y millones de estrellas súper masivas explotarán en brillantes supernovas para convertirse en temibles agujeros negros.

Llegará un momento que el número de agujeros negros en las galaxias será de tal magnitud que comenzarán a fusionarse unos con otros hasta que todo el universo se convierta en un inmenso agujero negro, una enorme singularidad, lo único que allí estará presente: la gravedad.

Esa fuerza de la naturaleza que ahora está sola, no se puede juntar con las otras fuerzas que, como se ha dicho, tienen sus dominios en la mecánica cuántica, mientras que la gravitación residen en la inmensidad del cosmos;

las unas ejercen su dominio en los confines microscópicos del átomo, mientras que la otra sólo aparece de manera significativa en presencia de grandes masas estelares. Allí, a su alrededor, se aposenta curvando el espacio y distorsionando el tiempo.

Esa reunión final de agujeros negros será la causa de que la Densidad Crítica sea superior a la ideal. La gravedad generada por el inmenso agujero negro que se irá formando en cada galaxia tendrá la consecuencia de parar la expansión actual del universo. Todas las galaxias que ahora están separándose las unas de las otras se irán frenando hasta parar y, despacio al principio pero más rápido después, comenzarán a recorrer el camino hacia atrás. Finalmente, toda la materia será encontrada en un punto común donde chocará violentamente formando una enorme bola de fuego, el Big Crunch.

Antes de que eso llegue, tendremos que resolver el primer problema: la muerte del Sol.

Los científicos se han preguntado a veces qué sucederá eventualmente a los átomos de nuestros cuerpos mucho tiempo después de que hayamos muerto. La posibilidad más probable es que nuestras moléculas vuelvan al Sol. En páginas anteriores he explicado el destino del Sol: se agotará su combustible de hidrógeno y fusionará helio; se hinchará en gigante roja y su órbita es probable que sobrepase la Tierra y la calcine; las moléculas que hoy constituyen nuestros cuerpos serán consumidas por la atmósfera solar.

Carl Sagan pinta el cuadro siguiente:

“Dentro de miles de millones de años a partir de ahora, habrá un último día perfecto en la Tierra... Las capas de hielo Ártica y Antártica se fundirán, inundando las costas del mundo. Las altas temperaturas oceánicas liberarán más vapor de agua al aire, incrementando la nubosidad y escondiendo a la Tierra de la luz solar retrasando el final. Pero la evolución solar es inexorable. Finalmente los océanos hervirán, la atmósfera se eva-

porará en el espacio y nuestro planeta será destruido por una catástrofe de proporciones que ni podemos imaginar.”

En una escala de tiempo de varios miles de millones de años, debemos enfrentarnos al hecho de que la Vía Láctea, en la que vivimos, morirá. Más exactamente, vivimos en el brazo espiral Orión de la Vía Láctea. Cuando miramos al cielo nocturno y nos sentimos reducidos, empequeñecidos por la inmensidad de las luces celestes que puntúan en el cielo, estamos mirando realmente una minúscula porción de las estrellas localizadas en el brazo de Orión. El resto de los 200 mil millones de estrellas de la Vía Láctea están tan lejanas que apenas pueden ser vistas como una cinta lechosa que cruza el cielo nocturno.

Aproximadamente a dos millones de años luz de la Vía Láctea está nuestra galaxia vecina más cercana, la gran galaxia Andrómeda, dos o tres veces mayor que nuestra galaxia. Las dos galaxias se están aproximando a 125 km/s, y chocarán en un periodo de 5 a 10.000 millones de años. Como ha dicho el astrónomo Lars Hernquist de la Universidad de California en Santa Cruz, esta colisión será “*parecida a un asalto. Nuestra galaxia será literalmente consumida y destruida*”.

Así las cosas, no parece que la Humanidad del futuro lo tenga nada fácil. Primero tendrá que escapar, dentro de unos 4.000 millones de años del gigante rojo en que se convertirá el Sol que calcinará al planeta Tierra. Segundo, en unos 10.000 millones de años, la escapada tendrá que ser aún más lejana; la destrucción será de la propia galaxia que se fusionará con otra mayor sembrando el caos cósmico del que difícilmente se podría escapar quedándose aquí. Por último, el final anunciado, aunque para más largo tiempo, es el del propio universo que, por congelación o fuego, tiene los eones contados.

Por todas estas catástrofes anunciadas por la ciencia, científicos como Kip S. Thorne y Stephen Hawking sugieren viajar a otros universos paralelos a través de agujeros de gusano en el hiperespacio. Sería la única puerta de salida para que la Humanidad no se destruyera.

Si lo alcanzaremos o no, es imposible de contestar, no tenemos los datos necesarios para ello. Incluso se podría decir que aparte de estas catástrofes futuras que sabemos a ciencia cierta que ocurrirán, seguramente existan otras que están ahí latentes en la incertidumbre de si finalmente ocurren o no, sólo pendiente de decidir lo uno o lo otro por parámetros ocultos que no sabemos ni que puedan existir.

En esta situación de impotencia, de incapacidad física e intelectual, nos tenemos que dar cuenta y admitir que, verdaderamente, comparados con el universo y las fuerzas que lo rigen, somos insignificantes, menos que una mota de polvo flotando en el haz de luz que entra, imparable, por la ventana entre-abierta de la habitación.

Sin embargo, tampoco es así. Que se sepa, no existe ningún otro grupo inteligente que esté capacitado para tratar de todas estas cuestiones. Que la especie humana sea consciente de dónde vino y hacia dónde va, en verdad tiene bastante mérito, y más, si consideramos que nuestro origen está a partir de materia inerte evolucionada y compleja que, un día, hace probablemente miles de millones de años, se fraguó en estrellas muy lejanas.

Ya he comentado que la teoría de cuerdas tiene un origen real en las ecuaciones de Einstein en las que se inspiró Kaluza para añadir la quinta dimensión y perfeccionó Klein (teoría Kaluza-Klein). La teoría de cuerdas surgió a partir de su descubrimiento accidental por Veneziano y Suzuki, y a partir de ahí, la versión de más éxito es la creada por los físicos de Princeton David Gross, Emil Martinec, Jeffrey Harvey y Ryan Rohm; ellos son conocidos en ese mundillo de la física teórica como “el cuarteto de cuerdas”. Ellos han propuesto la cuerda heterótica (híbrida) y están seguros de que la teoría de cuerdas resuelve el problema de “*construir la propia materia a partir de la pura geometría: eso es lo que en cierto sentido hace la teoría de cuerdas, especialmente en su versión de cuerda heterótica, que es inherentemente una teoría de la gravedad en la que las partículas de materia, tanto como las otras fuerzas de la naturaleza, emergen del mismo modo que la gravedad emerge de la geometría*”.

La característica más notable de la teoría de cuerdas (como ya he señalado), es que la teoría de la gravedad de Einstein está contenida automáticamente en ella. De hecho, el gravitón (el cuanto de gravedad) emerge como la vibración más pequeña de la cuerda cerrada, es más, si simplemente abandonamos la teoría de la gravedad de Einstein como una vibración de la cuerda, entonces la teoría se vuelve inconsistente e inútil. Esta, de hecho, es la razón por la que Witten se sintió inicialmente atraído hacia la teoría de cuerdas.

Witten está plenamente convencido de que “*todas las ideas realmente grandes en la física, están incluidas en la teoría de cuerdas*”.

No entro aquí a describir el modelo de la teoría de cuerdas que está referido a la “cuerda heterótica”, ya que su complejidad y profundidad de detalles podría confundir al lector no iniciado. Sin embargo, parece justo que deje constancia de que consiste en una cuerda cerrada que tiene dos tipos de vibraciones, en el sentido de las agujas del reloj y en el sentido contrario, que son tratadas de forma diferente.

Las vibraciones en el sentido de las agujas de reloj viven en un espacio de diez dimensiones. Las vibraciones de sentido contrario viven en un espacio de veintiséis dimensiones, de las que diecisésis han sido compactificadas (recordemos que en la teoría pentadimensional Kaluza-Klein, la quinta dimensión se compactificaba curvándose en un círculo). La cuerda heterótica debe su nombre al hecho de que las vibraciones en el sentido de las agujas de reloj y en el sentido contrario viven en dos dimensiones diferentes pero se combinan para producir una sola teoría de supercuerdas. Esta es la razón de que se denomine según la palabra griega *heterosis*, que significa “vigor híbrido”.

En conclusión, las simetrías que vemos a nuestro alrededor, desde el arcoíris a las flores y a los cristales, pueden considerarse en última instancia como manifestaciones de fragmentos de la teoría decadimensional original. Riemann y Einstein habían confiado en llegar a una comprensión geométrica de por qué las fuerzas pueden determinar el movimiento y la naturaleza de la materia.

La teoría de cuerdas, a partir del descubrimiento Veneziano-Suzuki, estaba evolucionando hacia atrás buscando las huellas de Faraday, Riemann, Maxwell y Einstein para poder construir una teoría de campos de cuerdas. De hecho, toda la física de partículas estaba basada en teoría de campos. La única teoría no basada en teoría de campos era la teoría de cuerdas.

De la teoría de cuerdas combinada con la supersimetría dio lugar a la teoría de supercuerdas. La cuerda es un objeto unidimensional que en esta nueva teoría se utiliza remplazando la idea de la partícula puntual de la teoría cuántica de campos. La cuerda se utiliza en la teoría de partículas elementales y en cosmología y se representa por una línea o lazo (una cuerda cerrada). Los estados de una partícula pueden ser producidos por ondas estacionarias a lo largo de esta cuerda.

En esta teoría se trata de unificar a todas las fuerzas fundamentales incorporando simetría y en la que los objetos básicos son objetos unidimensionales que tienen una escala de 10^{-35} metros y, como distancias muy cortas están asociadas a energías muy altas, para este caso la escala de energía requerida es del orden de 10^{19} GeV, que está muy por encima de la que hoy en día pueda alcanzar cualquier acelerador de partículas.

Como antes expliqué, las cuerdas asociadas con los bosones sólo son consistentes como teorías cuánticas en un espacio-tiempo de 26 dimensiones; aquella asociadas con los fermiones sólo lo son en un espacio tiempo de 10 dimensiones. Ya se ha explicado antes que las dimensiones extras, además de las normales que podemos constatar, tres de espacio y una de tiempo, como la teoría de Kaluza-Klein, están enrolladas en una distancia de Planck. De momento, inalcanzables.

Una de las características más atractivas de la teoría de supercuerdas es que dan lugar a partículas de espín 2, que son identificadas con los gravitones (las partículas que transportan la gravedad y que aún no se han podido localizar). Por tanto, una teoría de supercuerdas automáticamente contiene una teoría cuántica de la interacción gravitacional. Se piensa que las supercuerdas, al contrario que ocurre con otras teorías (entre ellas el Modelo Estándar), están libres de infinitos que no pueden ser eliminados por renorma-

lización, que plagan todos los intentos de construir una teoría cuántica de campos que incorpore la gravedad. Hay algunas evidencias de que la teoría de supercuerdas está libre de infinitos, pero se está a la búsqueda de la prueba definitiva.

Aunque no hay evidencia directa de las supercuerdas, algunas características de las supercuerdas son compatibles con los hechos experimentales observados en las partículas elementales, como la posibilidad de que las partículas no respeten paridad*, lo que en efecto ocurre en las interacciones débiles.

Estoy convencido de que la teoría de supercuerdas será finalmente corroborada por los hechos y, para ello, se necesitará algún tiempo; no se puede aún comprobar ciertos parámetros teóricos que esas complejas matemáticas a las que llaman topología nos dicen que son así.

Habrá que tener siempre a mano las ecuaciones de Einstein, las funciones modulares de Ramanujan y el Supertensor métrico de ese genio matemático que, al igual que Ramanujan, fue un visionario llamado Riemann.

Las historias de estos dos personajes, en cierto modo, son muy parecidas. Tanto Riemann como Ramanujan murieron antes de cumplir los 40 años y, también en ambos casos, en condiciones difíciles. Estos personajes desarrollaron una actividad matemática sólo comparable al trabajo de toda la vida de muchos buenos matemáticos.

¿Cómo es posible que, para proteger la simetría conforme original por su destrucción por la teoría cuántica, deben ser milagrosamente satisfechas cierto número de identidades matemáticas, que precisamente son las identidades de la función modular de Ramanujan?

En este trabajo he expresado que las leyes de la naturaleza se simplifican cuando se expresan en dimensiones más altas. Sin embargo, a la luz de

* Paridad: Símbolo P. Propiedad de la función de ondas que determina su comportamiento cuando todas sus coordenadas espaciales son invertidas.

la teoría cuántica, debo corregir algo esta afirmación, y para decirlo correctamente debería decir: las leyes de la naturaleza se simplifican cuando se expresan coherentemente en dimensiones más altas. Al añadir la palabra *coherentemente* hemos señalado un punto crucial. Esta ligadura nos obliga a utilizar las funciones modulares de Ramanujan, que fijan en diez de dimensiones del espacio-tiempo. Esto a su vez, puede facilitarnos la clave decisiva para explicar el origen del universo.

Riemann, por su parte, contribuyó tanto a las matemáticas modernas que, sin temor a equivocarnos, podríamos decir que su geometría desterró la que implantaron los griegos 2.000 años antes, y además, sin su tensor métrico, Einstein no podría haber expuestos su teoría de la relatividad general.

Como en otros trabajos anteriores, este que ahora estoy finalizando, es un encargo de la Sociedad Cultural “Amigos de la Física, 137 e/hc” que será reproducido para los socios y, más tarde, dará lugar a un seminario coloquio en el que serán comentados todos los temas aquí tratados, y los asistentes podrán realizar preguntas al autor del trabajo, que gustosamente contestaré.

Se trata de difundir la cultura científica relacionada con la física, sus teorías y modelos y sus conexiones con la naturaleza y con el universo.

Dentro de nuestras limitaciones procuramos que en cada trabajo (esta es la libreta número 40), aparezcan temas nuevos y del interés de los lectores que, así, serán introducidos en el saber científico conociendo temas nuevos y descubrimientos fascinantes realizados por grandes genios que, con su trabajo, procuran que vivamos en un mundo cada vez mejor y, sobre todo, que aportan sus ideas y su talento para procurar que algún día, cuando llegue el momento, la Humanidad pueda escapar de la Tierra sentenciada a muerte por el final, como estrella en activo, de nuestro Sol.

Hemos hablado de las constantes universales existentes en la naturaleza y de que, gracias a que son así, ha sido posible la existencia de vida inteligente en nuestro planeta. También se ha dejado aquí una reseña amplia y

precisa de estas constantes y de las unidades que las describen (Stoney, Planck, etc).

El que tenga la paciencia de leer este trabajo, entenderá que estamos hechos del polvo de las estrellas que, durante miles de millones de años, fabricaron los materiales complejos de los que estamos hechos.

Las leyes de la naturaleza son las mismas en cualquier lugar de nuestro universo; todo está formado por partículas elementales que se unen para formar núcleos, átomos, células y materia.

Einstein se inspiró en la invariancia de la velocidad de la luz para regalarnos su teoría de la relatividad especial con su sencilla y asombrosa fórmula $E = mc^2$, que nos dice la igualdad entre masa y energía. Nos dejó cómo se ralentizaba el tiempo al viajar más rápido y, con su teoría de la relatividad general, nos dejó una profunda lección de cómo se formula una teoría de la máxima eficacia mediante unas ecuaciones de bella factura y, sobre todo, de un extenso e inmenso mensaje.

Los grandes números de Eddington y Dirac, y trabajos de otros muchos personajes, han quedado aquí reflejados para facilitar al lector datos que no conocía y aspectos interesantes de las ciencias físicas.

El espacio “vacío” del universo, las fuerzas que lo rigen, la simetría original en el Big Bang, las familias de las partículas con sus quarks, leptones y hadrones (bariones y mesones), y las partículas mediadoras de las fuerzas, gluones, fotones, partículas W y Z y el esquivo gravitón.

El Modelo Estándar con sus parámetros discretionales y sus muchos beneficios con su eficacia como herramienta de trabajo.

Las nuevas teorías de supercuerdas, la teoría M, sus autores y el final que pretenden unificar todas las fuerzas del universo, la materia, la luz y la gravedad (la teoría cuántica de Max Planck con la Relatividad de Einstein), la explicación de todo.

También de pasada hemos comentado sobre el principio de incertidumbre de Heisemberg, la función de onda de Schrödinger, el cuanto de Planck, el positrón de Dirac, la nueva teoría de Witten, el radio de Schwarzschild que, a partir de las ecuaciones de Einstein dedujo la existencia de agujeros negros con su singularidad y el horizonte de sucesos, punto sin retorno de lo que pueda traspasar sus límites.

Se han incluido, en algunos casos, diagramas explicativos que tratan de hacer comprender mejor lo que digo. De pasada, he mencionado y explicado algo de lo que encierra el número 137, con sus secretos que nos recuerda lo poco que sabemos, número puro y adimensional.

He dedicado algunas líneas a explicar la teoría de los viajes en el tiempo, permitidos por las ecuaciones de Einstein a través de los agujeros de gusano que nos llevarían desde este universo hasta otros lugares muy lejanos y en otros tiempos distintos.

La materia exótica, lo que piensan Kip S. Thorne y el físico Stephen Hawking sobre estos viajes que, hoy al menos, son pura teoría; no tenemos los medios ni las energías necesarias para poder realizarlos (tampoco la tecnología ni el conocimiento).

Hemos llegado a teorías avanzadas como todas las modalidades de supercuerdas que han desembocado en la última teoría M de Ed Witten. Esta nueva aspirante a la teoría del todo, tiene su base en las ecuaciones de Einstein, fueron ampliadas por el matemático Kaluza y perfeccionadas por Klein; siguió el camino Veneziano, David Gross, Emil Martinec, Jeffrey Harvey y Ryan Rohm (el cuarteto de cuerda) y, finalmente, Witten.

Claro que llegar a estas teorías que exigen matemáticas topológicas de una profundidad y complejidad inusitadas, ha sido posible a que antes que todos ellos, estuvieron ahí Galileo y Newton, Faraday y Maxwell, Lorentz, Planck, Einstein y Riemann, y estoy seguro que también Ramanujan que, probablemente, tendrá aún algo que decir en todo esto con sus funciones modulares.

Muchos más también han hecho posible llegar al punto en que nos encontramos. Sería imposible mencionarlos a todos, sin embargo, aunque sin mencionar sus nombres, dejemos aquí un homenaje a todos ellos junto con nuestro agradecimiento; sin sus contribuciones todos nosotros estaríamos peor.

Es bueno para el ser humano que sepa el por qué de las cosas, que se interese por lo que ocurre a su alrededor, por su planeta que le acoge, por el lugar que ocupamos en el universo, por cómo empezó todo, cómo terminará y qué será del futuro de nuestra civilización y de la Humanidad en este universo que, como todo, algún día lejano del futuro terminará.

El fin del universo es irreversible, de ello hemos dejado amplio testimonio a lo largo de este trabajo, su final estará determinado por la Densidad Crítica, la cantidad de materia que contenga nuestro universo que será la que lo clasifique como universo plano, universo abierto, o universo cerrado. En cada uno de estos modelos de universos, el final será distinto..., claro que para nosotros, la Humanidad, será indiferente el modelo que pueda resultar; en ninguno de ellos podríamos sobrevivir cuando llegara ese momento límite del fin. La congelación y el frío del cero absoluto o la calcinación del fuego final a miles de millones de grados del Big Crunch, acabarán con nosotros.

Para evitar eso se está trabajando desde hace décadas. Se buscan formas de superar dificultades que nos hacen presas fáciles de los elementos. La naturaleza indomable, sus leyes y sus fuerzas, hoy por hoy son barreras insuperables, para poder hacerlo, necesitamos saber.

El saber nos dará soluciones para conseguir más energías, viajar más rápido y con menos riesgos, vivir mejor y más tiempo, superar barreras hoy impensables como las del límite de Planck, la barrera de la luz (para poder viajar a las estrellas) y el saber también posibilitará, algún día, que nuestras generaciones futuras puedan colonizar otros mundos en sistemas solares de estrellas lejanas, viajar a otras galaxias, viajar a otro tiempo y, finalmente, viajar para escapar de nuestro destino, a otros universos.

Sí, lo sé, algunos de los que esto puedan leer pensarán que estoy fantaseando, pero la verdad es que no he hablado con más seriedad en mi vida, ya que, si no fuera como estoy diciendo, entonces, ¿para qué tantas calamidades, desvelos y sufrimientos?

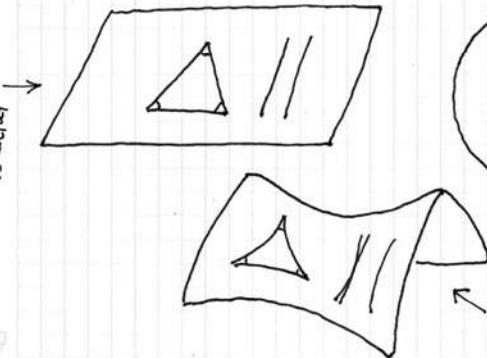
Creo que la Humanidad tiene que cumplir su destino, primero en las estrellas lejanas, en otros mundos dentro y fuera de nuestra galaxia, y después..., ¿quién sabe?

Gracias por su atención. Si aprendió algo, estoy pagado.

Gravedad y, posteriormente lo utilizó Kaluza y Klein para su teoría en la quinta dimensión de la que años más tarde se derivaron las teorías de supergravedad, supersimetría y, finalmente las supercuerdas.

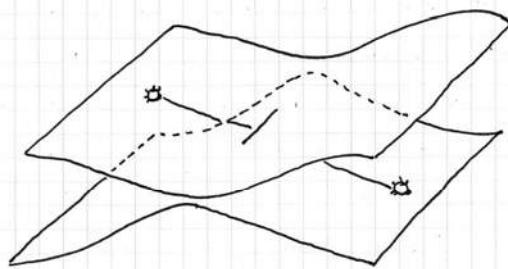
Para asombro de Einstein, cuando tuvo ante sus ojos la conferencia de Riemann de 1854, que le había enviado su amigo Marcel Grossmann, rápidamente se dio cuenta de que allí estaba la clave para resolver su problema. Descubrió que podía incorporar todo el contenido del trabajo de Riemann en la reformulación de su principio. Casi linea por linea, el gran trabajo de Riemann encontraba su veredadera lugar en el principio de Einstein de la relatividad general. Esta fue la obra más soberbia de Einstein, incluso más que su célebre ecuación $E=mc^2$. La reinterpretación física de la famosa conjetura de Riemann se denomina ahora relatividad general, y las ecuaciones de campo de Einstein se sitúan entre los ideales más profundos de la historia de la ciencia.

Un plano tiene curva cero.
Los ángulos interiores del triángulo suman 180° y las paralelas nunca se cortan.



La esfera tiene curva positiva, los ángulos interiores del triángulo tienen, sumados más de 180° . Las paralelas siempre se cortan.

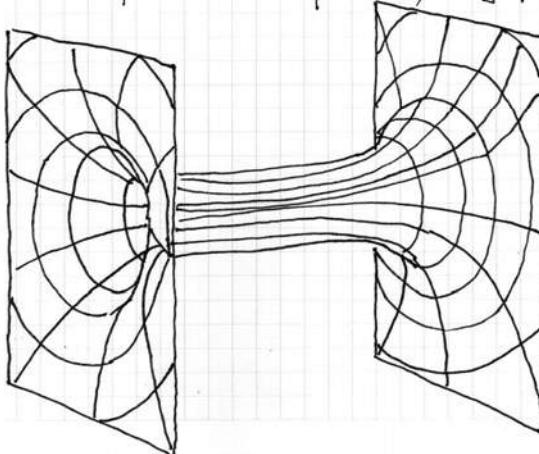
Una silla de montar tiene curva curva negativa. Los ángulos internos suman menos de 180° . Existe un número infinito de líneas paralelas a una línea dada que pasan por un punto fijo.



Un corte de Riemann, con dos hojas conectadas a lo largo de una linea. Si caminamos alrededor del corte, permanecemos dentro del mismo espacio. Pero si atravesamos el corte, pasamos de una hoja a la contigua. Esta es una superficie múltiplemente conexa.

De la lección de Riemann se deduce que, en espacios multidimensionales se crea el principio de que el espacio múltiple (de más dimensiones) unifica las leyes de la naturaleza evitándolas en el tensor métrico como piezas de un rompecabezas. Con más dimensiones, existe más sitio para unirlos en espacios N-dimensional.

Riemann anticipó otro desarrollo de la física; fue uno de los primeros en discutir espacios múltiples y conexos, o agujeros de gusano



Ajagüero de Gusano que conecta dos Universos o dos reinos que existen en diferentes períodos de tiempo.

PASADO, PRESENTE Y FUTURO

UNA ILUSIÓN LLAMADA ¡TIEMPO!

Emilio Silvera Vázquez

PRESENTACIÓN

El presente trabajo, como otros anteriores, trata de introducir al lector en temas de física y astronomía y, con una gran sencillez, nos transporta al universo de lo muy pequeño en las profundidades del átomo, para visitar a los quarks que forman protones y neutrones en los núcleos o, por el contrario, nos lleva a la inmensidad del cosmos, al universo de lo infinitamente grande, donde habitan los agujeros negros con sus “singularidades” de inmensas densidades e infinitas energías donde el espacio y el tiempo dejan de existir.

Nos habla de las fuerzas de la naturaleza que lo rigen todo y de otros temas de interés, y su único cometido (así lo pretende el autor), es el de divulgar la ciencia y poner un granito de arena para que esa inmensa “montaña de ignorancia” que nos aplasta, se reduzca un poco.

Como decía Popper, “*cuanto más sé y más profundizo en el conocimiento de las cosas, más consciente soy de mi ignorancia. Mis conocimientos son limitados; mi ignorancia, infinita*”.

Lo que sí es seguro es el hecho de que quien lea el presente trabajo, cuando finalice, será un poquito más sabio y sus ideas actuales sobre lo que es el tiempo, la densidad crítica, los agujeros negros, el Big Bang o el Big Crunch, habrán cambiado por completo.

Que leáis bien.

El autor

Pasado, Presente y Futuro...

En realidad, una ilusión que se llama ¡Tiempo!

----- o -----

¡El tiempo! ¿Qué es el tiempo? ¿Cuándo comenzó? ¿Es igual para todos? El tiempo, una cuarta dimensión.

Nos referimos al tiempo en múltiples ocasiones y para distintas situaciones y motivos, como al referirnos a la duración de las cosas sujetas a cambios, época durante la cual ocurrieron unos hechos, edad de los objetos, estación del año, el período de vida de alguien desde que crece hasta que deja de existir, ocasión o coyuntura de hacer algo, cada uno de los actos sucesivos en que dividimos la ejecución de un trabajo, y otros mil temas que requieren la referencia temporal.

En física, el tiempo es la cuarta coordenada espacial en el continuo espacio-tiempo. En gramática es la categoría que indica el momento relativo en que se realiza o sucede la acción del verbo: pretérito, lo que ha sucedido; presente, lo que sucede en ese momento y futuro, lo que aún no ha sucedido. Nos referimos al tiempo meteorológico para explicar el estado del clima (hace mal tiempo; qué tiempo más bueno hace hoy, etc). En mecánica, el tiempo puede estar referido a las fases de un motor. También están los tiempos referidos a cada una de las partes de igual duración en que se divide el compás musical. En astronomía nos referimos al tiempo de aberración en relación al recorrido de un planeta hasta llegar a un observador terrestre. El tiempo está también en la forma de cálculo horario que empleamos en nuestra vida cotidiana para controlar nuestros actos y evitar el caos (¿qué haríamos sin horario de trenes, de comercio, bancos, oficinas, etc?).

El tiempo es tan importante en nuestras vidas que está presente siempre, de mil formas diferentes, desde que nacemos (cuando comienza “nuestro tiempo”), hasta que morimos (cuando “nuestro tiempo ha terminado”). El tiempo siempre está. Es algo que, simplemente, está ahí.

Sin embargo, a pesar de lo importante que es el TIEMPO, no he podido leer nunca una explicación satisfactoria sobre el mismo; una explicación que lo defina con sencillez y claridad sin restarle la importancia que tiene para todos y lo que en realidad es dentro del contexto – no ya de nuestras vidas, simples e insignificantes puntos en la inmensidad del universo – de la naturaleza cósmica de la que formamos parte.

En el año 1.905, Einstein público su teoría de la relatividad especial y desde entonces, el concepto de “tiempo” cambió para el mundo.

Minkowski, un antiguo profesor de Einstein, cuando repasó el trabajo de la relatividad especial, se dio cuenta de que a partir de ese momento se tendría que hablar del continuo espacio-temporal; el espacio y el tiempo dejan de estar separados, dejan de considerarse como entidades distintas, para pasar a estar conectados; conexión que, desde el punto de vista matemático, la dan las transformaciones de Lorentz.

Las transformaciones de Lorentz ponen de manifiesto cómo varía el tiempo, considerado como una cuarta coordenada.

Estamos acostumbrados a considerar el mundo como tridimensional. Para especificar exactamente la posición de un objeto en una habitación, por ejemplo un reloj encima de una mesa, partiremos de un ángulo de la habitación e indicaremos las distancias del reloj a las dos paredes que forman el ángulo y la altura respecto al suelo; la posición del reloj queda globalmente determinada por tres números, esto es, tres coordenadas espaciales.

Pero al hacerlo así no tenemos en cuenta el hecho de que el reloj en cuestión, que estaba encima de la mesa a las diez, puede estar en el dormitorio a las once y ser colocado en el mismo punto de la mesa que ocupaba antes a las once y media. Esto no importa cuando se considera un tiempo absoluto y, por tanto, hay un único reloj para todos los observadores, pero resulta esencial cuando sistemas de referencia en movimiento relativo tienen distintos relojes no sincronizables. Por tanto, todo observador tiene un espacio cuatridimensional (el espacio-tiempo) relativo al propio sistema de referencia.

Las transformaciones de Lorentz son más complejas que las de Galileo, pero tienen la ventaja de eliminar todas las contradicciones halladas anteriormente. Sin embargo, para velocidades muy inferiores a la de la luz, estas nuevas relaciones se reducen a las de Galileo, y sólo se manifiestan grandes diferencias cuando los sistemas de referencia tienen velocidades relativas próximas a la de la luz; entonces, el tiempo transcurre más lentamente para ese hipotético viajero que viaje a esas velocidades relativistas.

La diferencia fundamental entre la mecánica clásica y la mecánica relativista radica en el hecho de que, en el primer caso, la velocidad de un cuerpo es diferente para un observador en reposo y para otro en movimiento, es decir, es un concepto relativo; sin embargo, en el segundo caso la velocidad es un concepto absoluto, no cambia con el movimiento. No obstante, como cociente que es entre dos magnitudes fundamentales, espacio y tiempo, el hecho de que dos velocidades que deben ser diferentes sean iguales obliga a que exista una variación en el espacio y el tiempo. Así, se debe producir un acortamiento de los metros y un retrasamiento del tiempo. En la mecánica de Newton, por el contrario, los metros y los segundos son invariables.

Las transformaciones de Lorentz son un conjunto de ecuaciones que relacionan las coordenadas espacio-tiempo de dos sistemas que se mueven a velocidad constante el uno respecto al otro. Efectivamente, las fórmulas predicen una contracción espacial (contracción conocida como de Lorentz-Fitzgerald) y una dilatación temporal, cuando la velocidad relativa de los dos sistemas se aproximan a la de la luz. Sin embargo, Lorentz se vio obligado a introducir el concepto de tiempo local, que supone que el paso del tiempo varía según el lugar. Einstein se basó en la transformación de Lorentz y la mejoró para el desarrollo de su teoría de la relatividad especial.

El Diccionario Oxford-complutense de Física explica que, cuando se viaja a velocidades relativistas, cercanas a c , se produce lo que conocemos como *contracción de Lorentz-Fitzgerald* que se concreta en la contracción de un cuerpo móvil en la dirección del movimiento. Fue propuesta independientemente por H. A. Lorentz (1.853 -1.928) y G. E. Fitzgerald (1.851-1.900) en 1892 para explicar el resultado negativo del experimento de Michelson – Morley. A la contracción se le dio el marco teórico en la teoría especial de la relatividad como antes hemos reseñado. La ecuación está definida de la forma siguiente:

(1)

$$L = L_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

(2)

$$\frac{t - t_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

De donde se sigue que, L_0 es la longitud en reposo (por ejemplo una barra), L es la longitud cuando el objeto se desplaza a velocidad v y c es la velocidad de la luz.

Si un reloj en reposo mide un intervalo de tiempo t_0 , cuando el mismo reloj se halla en movimiento, el mismo intervalo de tiempo está dado por la ecuación (2).

La mecánica clásica estudia los fenómenos a una escala tal que $v < c$, por lo que estos cambios son apreciables.

Simultaneidad

Esa variación que experimenta el tiempo en la mecánica relativista cuestiona el concepto de simultaneidad, ya que bajo ese punto de vista no es fácil afirmar que dos fenómenos son simultáneos. Si lo son, deben ocurrir en el mismo instante, y para medir ese tiempo debe emplearse un mismo reloj para cada uno de los sucesos.

Lorentz supuso dos sistemas de ejes coordenados que se mueven uno respecto al otro con velocidad v . Las coordenadas de ambos sistemas están relacionadas entre sí según muestran las ecuaciones siguientes:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \beta^2}}; \quad y' = y; \quad z' = z; \quad t' = \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

Siguen otra serie de ecuaciones que, al no ser el presente trabajo de tipo técnico ni para entendidos, no me parece procedente reseñar, y me limitaré a explicaciones escritas, no numéricas que no estarían al alcance de todos.

Así que, en realidad, tanta numerología nos viene a decir que:

- Los objetos se contraen en el sentido de su marcha si sus velocidades son relativistas (cercanas a c , la velocidad de la luz).
- El tiempo se dilata para el viajero que ocupe una nave espacial que corre a la velocidad de la luz o similar. Su tiempo transcurre más despacio que el tiempo de los que quedamos en la Tierra.

De esta forma, podemos demostrar cómo el tiempo es distinto para cada persona, lugar o circunstancia, tendremos tiempos unitarios y tiempos universales.

El transcurrir del tiempo en el universo está referido a un tiempo uniforme igual para todo y para todos. El transcurrir del tiempo de personas individuales o de grupos, en realidad, puede ser distinto del tiempo de otras personas o de otros grupos.

No es lo mismo el transcurrir del tiempo para quien está junto a la persona amada en un lugar paradisiaco que ese mismo periodo de tiempo para quien postrado en el lecho de un hospital sufre continuos dolores. El primero verá pasar el tiempo velozmente, mientras que el segundo lo verá eternizarse. En ambos casos, la noción de tiempo será engañosa según aconseje cada circunstancia; la realidad será que el tiempo transcurrido para ambos es el mismo.

Sin embargo, esta igualdad se rompe si el tiempo que transcurre es medida por un observador que está pendiente del tiempo que pasa en la Tierra y el tiempo que pasa en la nave espacial que partió de ella a 270.000 Km/s con destino a Alfa Centauro, a 4'3 años-luz de nuestro Sol.

El encargado de la medición comprobaría como el tiempo que transcurre es distinto en el planeta Tierra y en la nave espacial, donde debido a su velocidad (cercana a la de la luz) el tiempo transcurre mucho más lento, y se puede dar el caso real de que, al regreso de la nave, sus pasajeros astronautas sólo tengan 8'6 años más, mientras que sus amigos y familiares que a su

partida tenía la misma edad, soportarán el transcurso de varias decenas de años y ahora sean viejos.

Así lo demuestra $\sqrt{1 - v^2/c^2}$. Son los efectos predichos por la teoría de la relatividad especial de Einstein; los tiempos son relativos al movimiento de los observadores. El reloj viajero es más lento en un factor = ecuación arriba reseñada.

Para poder contestar la pregunta ¿cuándo comenzó el tiempo?, nos vemos obligado a retroceder 13.500 millones de años, hasta lo que conocemos como Big Bang, el origen del universo. Allí, en ese preciso momento, nació el tiempo y el espacio.

El Big Bang es la teoría más acertada del origen y evolución del universo que se originó a partir de un estado inicial de alta temperatura y densidad que, desde entonces, ha estado siempre expandiéndose, y es precisamente esta expansión la que da lugar al espacio (cada vez mayor) que abarca el universo y, al mismo ritmo, crece o transcurre el tiempo inexorable.

El paso del tiempo lo cambia todo; los sistemas se transforman, viven y mueren para dar paso a otros nuevos sistemas. Estrellas que brillan durante miles de millones de años y con el paso del tiempo consumen su material-combustible nuclear y mueren explotando en novas o supernovas para, con su material complejo, contribuir a la formación de nuevas estrellas y planetas e incluso formas de vida.

Todo envejece, se deteriora por la acción de la entropía, del paso del tiempo. Sin embargo, él no cambia, es invariante, continúa su camino mientras que, a su alrededor, las mutaciones son continuas y lo único que permanece inalterable es: **el Tiempo**.

Me encantaría tener sabiduría para poder exponer de manera más amplia y precisa lo que es el tiempo. Lo que aquí dejo escrito (después de documentarme), es corto y no me deja satisfecho. Cualquier persona mejor preparada lo habría hecho mejor pero, de todas formas, la voluntad que he

puesto en este trabajo compensa sus posibles deficiencias y el lector sabrá disculpar las mismas.

De todas las maneras posibles en los que me he detenido a pensar sobre lo que es y supone el tiempo, la que más me impresiona es aquella que me hacer ver claramente que no podemos impedir su transcurrir, que su paso nos llevará hacia la eternidad convertidos en polvo, dejando atrás a los seres queridos que nos gustaría seguir protegiendo, sin llevarnos la certeza de lo que el destino les tiene reservado a sus vidas. Esa incertidumbre me causa una aguda impotencia, casi infinita que, en no pocas ocasiones, llego a sentir como un dolor físico y real causado por un pensamiento profundo del significado y las implicaciones irreversibles que el paso del tiempo nos trae a todos.

Individualmente hablando, el tiempo está bien mientras nos acompaña en nuestro recorrido a lo largo de nuestras vidas; después él continúa su camino mientras nosotros desaparecemos. Colectivamente, el tiempo es muy importante. Cada uno de nosotros hacemos un trabajo y desarrollamos una actividad que se va sumando a la de los demás. Con el tiempo, el trabajo, ese conocimiento adquirido, continúa aumentando y ese tiempo “infinito” es el que necesitamos nosotros y los que vendrán detrás para resolver problemas muy graves que se presentarán en el futuro y que, de poder o no poder resolverlos, dependerá que la humanidad perdure.

El tiempo será la mejor herramienta con la que podemos contar para resolver todos los problemas. Así lo dijo Hilbert:

“Por muy inabordables que parezcan estos problemas, y por muy desamparados que nos encontremos frente a ellos hoy, tenemos la íntima convicción de que debe ser posible resolverlos mediante un número finito de deducciones lógicas. Y para ello, la mejor herramienta es el tiempo; él nos dará todas las respuestas a preguntas que hoy no podemos ni sabemos contestar”.

En la tumba de David Hilbert (1862-1943), en el cementerio de Gottinga (Alemania), dice:

“Debemos saber. Sabremos”.

Estoy totalmente de acuerdo con ello. El ser humano está dotado de un resorte interior, algo en su mente que llamamos curiosidad y que nos empuja (sin que en muchas ocasiones pensemos en el enorme esfuerzo y en el alto precio que pagamos) a buscar respuestas, a querer saber el por qué de las cosas, a saber por qué la naturaleza se comporta de una u otra manera y, sobre todo, siempre nos llamó la atención aquellos problemas que nos llevan a buscar nuestro origen en el origen mismo del universo y, como nuestra ambición de saber no tiene límites, antes de saber de dónde venimos, ya nos estamos preguntando hacia dónde vamos. Nuestra osadía no tiene barreras y, desde luego, nuestro pensamiento tampoco las tiene, gracias a lo cual, estamos en un estadio de conocimiento que a principios del siglo XXI, se podría calificar de bastante aceptable para dar el salto hacia objetivos más valiosos.

Es mucho lo que hemos avanzado en los últimos ciento cincuenta años. El adelanto en todos los campos del saber es enorme. Las matemáticas, la física, la astronomía, la química, la biología genética, y otras muchas disciplinas científicas que, en el último siglo, han dado un cambio radical a nuestras vidas.

El crecimiento es exponencial; cuanto más sabemos más rápidamente avanzamos. Compramos ordenadores, teléfonos móviles, telescopios y microscopios electrónicos y cualesquiera otros ingenios e instrumentos que, a los pocos meses, se han quedado anticuados, otros nuevos ingenios mucho más avanzados y más pequeños y con muchas más prestaciones vienen a destituirlos.

¿Hasta dónde podremos llegar?

Con el tiempo suficiente por delante... no tenemos límite. Todo lo que la mente humana pueda idear... podrá hacerlo realidad. A excepción, claro

está, de las imposibilidades físicas que, en este momento, no tenemos la capacidad intelectual para enumerar. La verdad es que nuestra especie es inmortal. Sí, lo sé, a nivel individual morimos pero..., debemos tener un horizonte más amplio y evaluar una realidad más global y, sobre todo, a más largo plazo. Todos dejamos aquí nuestro granito de arena, lo que conseguimos no se pierde y nuestras antorchas son tomadas por aquellos que nos siguen para continuar el trabajo emprendido, ampliar los conocimientos, perfeccionar nuestros logros y pasar a la fase siguiente.

Este es un punto de vista que nos hace inmortales e invencibles, nada podrá parar el avance de nuestra especie, a excepción de nuestra especie misma.

Ninguna duda podemos albergar sobre el hecho irrefutable de que venimos de las estrellas¹ y de que nuestro destino, también está en las estrellas².

La humanidad necesita más energía para continuar avanzando. Los recursos naturales fósiles, como el petróleo, el gas o el carbón, son cada vez más escasos y difíciles de conseguir. Se ha llegado a un punto en el que se deben conseguir otras energías.

Dentro de unos treinta años estaremos en el camino correcto. La energía de fusión sería una realidad que estará en plena expansión de un comenzar floreciente. Sin residuos nocivos peligrosos como las radiaciones de la fisión nuclear, la fusión nos dará energía limpia y barata en base a una materia prima muy abundante en el planeta Tierra.

Nuestro Sol fusiona hidrógeno en helio a razón de 4.654.000 toneladas por segundo. De esta enorme cantidad de hidrógeno, 4.650.000 toneladas se convierten en helio. Las 4.000 toneladas restantes son lanzadas al espacio en

¹ El material de que estamos hechos se formó hace miles de millones de años en estrellas lejanas que explotaron en supernovas y dejaron el espacio regado de la materia que somos.

² El final del Sol, dentro de 4.000 millones de años, nos obligará a que antes tengamos que emigrar a otros mundos lejanos.

forma de luz y calor, energía termonuclear de la que, una parte, llega al planeta Tierra y hace posible la vida.

Resulta pues que el combustible nuclear de las estrellas es el hidrógeno que mediante su fusión hace posible que genere tal enormidad de energía. Así lleva el Sol unos 4.500 millones de años y se espera que al menos durante un período similar nos esté regalando su luz y su calor.

Pero ¿tenemos hidrógeno en el planeta Tierra para tal empresa de fusión nuclear?

La verdad es que sí. La fuente de suministro de hidrógeno con la que podemos contar es prácticamente inagotable...

¡El agua de los mares y de los océanos!

Todos sabemos que el hidrógeno es el elemento más ligero y abundante del universo. Está presente en el agua y en todos los compuestos orgánicos. Químicamente, el hidrógeno reacciona con la mayoría de los elementos. Fue descubierto por Henry Cavendisch en 1.776. El hidrógeno se utiliza en muchos procesos industriales, como la reducción de óxidos minerales, el refinado del petróleo, la producción de hidrocarburos a partir de carbón y la hidrogenación de los aceites vegetales y, actualmente, es un candidato muy firme para su uso potencial en la economía de los combustibles de hidrógeno en la que se usan fuentes primarias distintas a las energías derivadas de combustibles fósiles (por ejemplo, energía nuclear, solar o geotérmica) para producir electricidad, que se emplea en la electrólisis del agua. El hidrógeno formado se almacena como hidrógeno líquido o como hidruros de metal.

Bueno, tantas explicaciones sólo tienen como objeto hacer notar la enorme importancia del hidrógeno. Es la materia prima del universo, sin él no habría estrellas, no existiría el agua y, lógicamente, tampoco nosotros podríamos estar aquí sin ese preciado elemento.

Cuando dos moléculas de hidrógeno se junta con una de oxígeno (H_2O), tenemos el preciado líquido que llamamos agua y sin el cual la vida no sería posible.

Así las cosas, parece lógico pensar que conforme a todo lo antes dicho, los seres humanos deberán fijarse en los procesos naturales (en este caso el Sol y su producción de energía) y, teniendo como tiene a su disposición la materia prima (el hidrógeno de los océanos), procurar investigar y construir las máquinas que sean necesarias para conseguir la fusión, la energía del Sol.

Esa empresa está ya en marcha y, como he dicho al principio de este comentario, posiblemente en unos treinta años sería una realidad que nos dará nuevas perspectivas para continuar el imparable avance en el que estamos inmersos.

Pero no me gustaría cerrar este comentario sobre la fusión sin contestar a una importante pregunta...

¿Y por qué la fusión?

Porque tiene una serie de ventajas muy significativas en seguridad, funcionamiento, medio ambiente, facilidad en conseguir su materia prima, ausencia de residuos peligrosos, posibilidad de reciclar los escasos residuos que genere, etc.

- Los recursos combustibles básicos (deuterio y litio) para la fusión son abundantes y fáciles de obtener.
- Los residuos son de helio, no radiactivos.
- El combustible intermedio, tritio, se produce del litio.
- Las centrales eléctricas de fusión no estarán expuestas a peligrosos accidentes como las centrales nucleares de fisión.

- Con una elección adecuada de los materiales para el propio dispositivo de fusión, sus residuos no serán ninguna carga para las generaciones futuras.
- La fuente de energía de fusión es sostenible, inagotable e independiente de las condiciones climáticas.

Para producir la energía de fusión sólo tenemos que copiar lo que hace el Sol. Tenemos que hacer chocar átomos ligeros de hidrógeno para que se fusionen entre sí a una temperatura de 15 millones de grados Celsius, lo que, en condiciones de altas presiones (como ocurre en el núcleo del Sol) produce enormes energías según la formula $E = mc^2$ que nos legó Einstein demostrando la igualdad de la masa y la energía.

Ese estado de la materia que se consigue a tan altas temperaturas, es el plasma, y sólo en ese estado se puede conseguir la fusión.

Aunque en Europa la aventura ya ha comenzado, y para ello se han unido los esfuerzos económicos de varias naciones, la empresa de dominar la fusión no es nada fácil, pero..., démosle...

¡TIEMPO!

Sí, es el tiempo el factor que juega a nuestro favor para conseguir nuestros logros más difíciles, para poder responder preguntas de las que hoy no tenemos respuesta, y es precisamente la sabiduría que adquirimos con el paso del tiempo la que nos posibilita para hacer nuevas preguntas, más profundas que las anteriores y que antes, por ignorancia, no podríamos hacer. Cada nuevo conocimiento nos abre una puerta que nos invita a entrar en una nueva región donde encontramos otras puertas cerradas que tendremos que abrir para continuar nuestro camino. Sin embargo, hasta ahora, con el “tiempo” suficiente para ello, hemos podido franquearlas hasta llegar al momento presente en el que estamos ante puertas cerradas con letreros en los que se puede leer: fusión, teoría M, viajes espaciales tripulados, nuevas formas de materia, el gravitón, la partícula de Higgs, las ondas de energía de

los agujeros negros, hiperespacio, otros universos, materia oscura, y otras dimensiones.

Todas esas puertas y muchas más nos quedan por abrir. Además, tenemos ante nuestras narices puertas cerradas que llevan puesto el nombre de: genética, nanotecnología, nuevos fármacos, alargamiento de la vida media, y muchas más en otras ramas de la ciencia y del saber humano.

Aunque es mucho lo que se ha especulado sobre el tema, en realidad, el tiempo sólo transcurre (que sepamos) en una dirección, hacia delante. Nunca ha ocurrido que unos hechos, que unos sucesos, se pudieran borrar, ya que para ello habría que volver en el tiempo anterior al suceso para evitar que sucedieran. Está claro que en nuestro universo, el tiempo sólo transcurre hacia lo que llamamos *futuro*.

Siempre encontramos las huellas del paso del tiempo, aparecen sutiles efectos que delata el sentido del paso del tiempo, aunque es algo que no se puede ver ni tocar, su paso se deja sentir, lo nuevo lo va convirtiendo en viejo, con su transcurrir, las cosas cambian. La misma Tierra, debido a las fuerzas de marea, con el paso del tiempo va disminuyendo muy lentamente su rotación alrededor de su eje (el día se alarga) y la distancia media entre la Tierra y la Luna crece. El movimiento de un péndulo, con el tiempo disminuye lentamente en su amplitud por las fuerzas de rozamiento. Siempre está presente ese fino efecto delator del sentido del paso del tiempo que va creando entropía destructora de los sistemas que ven desaparecer su energía y cómo el caos lo invade todo.

Nos podríamos hacer tantas preguntas sobre las múltiples vertientes en que se ramifica el tiempo que, seguramente, este libro sería insuficiente para poder contestarlas todas (de muchas no sabríamos la respuesta).

- ¿Por qué consideramos que el tiempo rige nuestras vidas?
- ¿Cómo explicarías “qué es el tiempo”?

- ¿Por qué unas veces te parece que el tiempo “pasa rápido” y otras veces “muy lento”?
- ¿Crees que el tiempo estaba antes del Big Bang? ¿Por qué?
- ¿En algún momento se acabará el tiempo?
- ¿Cómo el ser humano “fue consciente” de la existencia del tiempo?
- ¿Qué cosa es el tiempo?
- ¿Por qué no lo vemos ni tocamos pero notamos sus efectos?
- ¿Por qué la velocidad relativista puede frenar el transcurrir del tiempo?

En realidad, si nos detenemos a pensar detenidamente y en profundidad en el entorno en que nos encontramos, una colonia de seres insignificantes, pobladores de un insignificante planeta, de un sistema solar dependiente de una estrella mediana, amarilla, del tipo G-2, nada especial y situada en un extremo de un brazo espiral, en la periferia (los suburbios del Sistema Solar) de una de entre miles de millones de galaxias... si pensamos en esa inmensidad, entonces caeremos en la cuenta de que no somos tan importantes, y el tiempo que se nos permite estar aquí es un auténtico regalo. Ese tiempo, corto espacio de tiempo en relación al tiempo cosmológico, es por cierto un espacio suficiente para nacer, crecer, aprender, dejar huella de nuestro paso por este mundo a través de nuestros hijos y a veces (si somos elegidos) por nuestro trabajo, tendremos la oportunidad (casi siempre breve) de ser felices y muchas oportunidades para el sacrificio y el sufrimiento, y así irán pasando nuestras vidas para dejar paso a otras que, al igual que nosotros, continuarán el camino iniciado en aquellas cuevas remotas del pasado, cuando huyendo del frío y de los animales salvajes, nos refugíabamos en las montañas buscando cobijo y calor.

Han pasado muchos periodos de tiempo desde entonces, y la humanidad, en verdad, aprovechó el tiempo. No quiero decir que en todos los ámbitos humanos del comportamiento tengamos que felicitarnos, hay algunos (aún hoy) de los que el sonrojo es inevitable, pero eso es debido a que la parte animal que llevamos en nosotros está de alguna manera presente, y los instintos superan a veces a la racionalidad. Aún no hemos superado el proceso de humanización. Sin embargo, los logros conseguidos no han sido pocos; el “tiempo” está bien aprovechado si pensamos que hace sólo unos miles de años no sabíamos escribir, vagamos por los campos cazando y cogiendo frutos silvestres y no existían organizaciones sociales ni poblaciones. Desde entonces, el salto dado en todos los campos del saber ha sido tremendo.

Ahora, pasado el tiempo, nuestra innata curiosidad nos ha llevado a descubrir que vivimos en un planeta que pertenece a una estrella de una galaxia que forma parte de un grupo de treinta galaxias (el “Grupo Local”) y que a su vez, están inmersas en un universo que cuenta con decenas de miles de millones de galaxias como la nuestra.

Hemos podido saber que ese universo está en expansión y que las galaxias se alejan las unas de las otras. Se ha podido deducir que el universo surgió de una explosión a la que llamamos el Big Bang hace ahora 13.500 millones de años. A partir de una singularidad, un punto de energía y densidad infinitas, surgió el universo que, desde entonces, junto con el **espacio** y el **tiempo** continúa expandiéndose.

Surgieron los primeros quarks libres que se juntaron para formar protones y neutrones que, a su vez, se unieron y formaron núcleos que, al tener energía positiva, atrajeron a los electrones, de energía negativa, formándose así los átomos estables.

Los átomos se juntaron para formar moléculas y células y éstas, a su vez, juntas formaron materia. Al principio era todo simetría y existía una sola fuerza que lo regía todo. El universo era totalmente opaco, la temperatura reinante muy alta y todo estaba invadido por una especie de plasma.

Pero la expansión del joven universo continuó imparable. La temperatura fue descendiendo y la simetría se rompió, lo que dio lugar a que donde sólo había una sola fuerza aparecieran cuatro. Las fuerzas nucleares, fuerte y débil, el electromagnetismo y la gravedad surgieron de aquella simetría rota y como hemos dicho antes, surgieron los primeros quarks para, con los electrones, fabricar la materia que está hecha de quarks y leptones. Más tarde, la luz apareció al quedar libres los fotones y donde antes todo era opacidad, surgió la transparencia. Pasaron unos doscientos mil años antes de que nacieran las primeras estrellas y se formaran las galaxias.

Las estrellas evolucionaron y en sus hornos nucleares se fabricaron elementos más complejos que el primario hidrógeno; con la fusión nuclear en las estrellas se fabricó helio, litio, magnesio, neón, carbono, oxígeno, etc, etc. Estas primeras estrellas brillaron durante algunos miles de millones de años y, finalmente, acabado su combustible nuclear, finalizaron su ciclo vital explotando como supernovas lanzando al espacio exterior sus capas más superficiales y lanzando materiales complejos que al inmenso cosmos para hacer posible el nacimiento de nuevas estrellas y planetas y... a nosotros, que sin esas primeras estrellas que fabricaron los materiales complejos de los que estamos hecho, no estaríamos aquí.

Ese inmenso tiempo que hemos tenido desde que asombrados mirábamos brillar las estrellas sobre nuestras cabezas sin saber lo que eran, o bien, asustados nos encogíamos ante los rayos amenazadores de una tormenta o huímos despavoridos ante el rugido aterrador de la Tierra con sus temblores de terremotos pavorosos o explosiones inmensas de enormes montañas que vomitaban fuego.

Desde entonces, hemos aprendido a observar con atención, hemos desechado la superstición, la mitología y la brujería para atender a la lógica y a la realidad de los hechos. Aprendimos de nuestros propios errores y de la naturaleza.

Como ya se dijo antes, ahora sabemos de dónde vinimos, qué debemos hacer para continuar aquí sin estropearlo todo y, seguramente, con poco margen de error podríamos decir también hacia dónde nos dirigimos.

Una de las propiedades del “tiempo” es que en su transcurrir pasan cosas. Estas cosas que pasan, estos sucesos, los reunimos y los guardamos, lo llamamos historia y nos sirven para recordar y aprender. De lo bueno que pasó para repetirlo y mejorarlo, de lo malo para procurar que no vuelva a ocurrir.

Eso, lo que ocurrió, es lo que llamamos pasado. Lo que ocurre ahora mismo, en este preciso instante, es lo que llamamos el presente, y lo que no ha ocurrido aún es lo que llamamos el futuro.

En realidad, como el tiempo nunca se para, el presente no existe, es algo tan efímero que ocurre y al instante es pasado, y entramos en el futuro que, a su vez, pasa vertiginoso por el instante “presente” que se convierte en “pasado” y rápidamente estamos en el “futuro”, otra vez. Así que, en verdad ¿dónde estamos? Hay que mirar estos conceptos de manera muy amplia y a cierta distancia para que tengan sentido.

El concepto de tiempo está enclavado en las profundidades y conceptos más avanzados de la física y la astronomía. Sin embargo, su verdadera naturaleza permanece en el misterio. Todo acontece con el transcurso del tiempo que es implacable y fluye continuamente y todo lo que existió, lo que existe y lo que existirá, está sometido a los efectos del tiempo que, desgraciadamente, sí podemos ver. La destrucción provocada por el paso del tiempo es muy real, y tanto en las cosas como en nosotros mismos, el resultado es el mismo: ¡la aniquilación y la muerte!

Hace mil quinientos años que San Agustín, filósofo y sabio obispo de Hipona, preguntó: “*¿qué es el tiempo?*” Y se respondió a sí mismo: “*Si alguien me lo pregunta, sé lo que es. Pero si deseo explicarlo, no puedo hacerlo*”.

El tiempo, desde “*tiempos remotos*”, ha sido una abstracción que ha cautivado e intrigado a las mentes humanas que han intentado entenderlo en todas las vertientes y en todos los sentidos. Del tiempo, las mentes más preclaras han intentado definir, en esencia, lo que es. La verdad es que, unos

con más fortunas que otros, con más interés o con mejor lógica científica dejaron sus definiciones que, de todas formas, nunca llegaron a llenar ese vacío de una explicación convincente, sencilla, que todo el mundo comprenda y que esté basada en principios naturales que nos digan su origen, su transcurrir y, si es que lo hay, su final, porque ¿es el tiempo infinito?

Infinito, según las leyes de la física, no puede haber nada.

Ni siquiera el universo es infinito y, conforme determine la densidad crítica de la materia que contiene, un día dejará también de existir.

Luego si el tiempo nació con el Big Bang, es probable que finalice con el Big Crunch. Es una posibilidad.

Como antes explicaba, el pasar del tiempo es muy subjetivo dependiendo de la situación de quien lo percibe. Un minuto puede parecer eterno o un suspiro, dependiendo del estado de dolor o de felicidad de quien lo mide. También será relativo, no pasa a la misma velocidad para todos, depende de la velocidad a que esté viajando y de qué observador lo esté midiendo, como quedó demostrado con la teoría especial de la relatividad de Einstein.

Desde tiempos inmemoriales hemos querido medir el tiempo, el día y la noche, las estaciones, el sol, relojes de arena, etc, etc, hasta llegar a sofisticados aparatos electrónicos o atómicos que miden el tiempo cotidiano de los humanos con una exactitud de sólo un retraceo de una millonésima de un segundo cada 100 años.

Hemos inventado estas medidas de tiempo para controlar nuestras actividades cotidianas y nuestras vidas.

La medida de tiempo elegida es el segundo que, en las unidades del SI tiene el símbolo s y su duración es igual a la duración de: hertzios = 9 192 631 770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio-133.

Reloj de Cesio

Reloj atómico cuyo funcionamiento se basa en la diferencia de energía entre dos estados del núcleo de cesio-133 cuando se sitúa en un campo magnético. En un tipo, los átomos de cesio-133 son irradiados con radiación de radiofrecuencia, cuya frecuencia es elegida para corresponder a la diferencia de energía entre dos estados. Algunos núcleos de cesio absorben esta radiación y son excitados al nivel superior. Estos átomos son desviados por otro campo magnético, que hace que choquen contra un detector. Una señal de ese detector es llevada al oscilador de radio frecuencia para evitar que se desplace de la frecuencia de resonancia de la que indicamos antes del orden de 9 192 631 770 hertzios. De este modo, el instrumento está fijado a esta frecuencia con una precisión mejor que una parte en 10^{13} (algo mayor que tera -T-). Así, el reloj de cesio es utilizado en la definición del segundo en el SI (Sistema Internacional).

Como podemos ver, la imaginación humana no tiene límites, y si nos dan el “tiempo” suficiente, quien sabe hasta donde podremos llegar.

Como estamos comentando sobre cuestiones que están conectadas con lo que llamamos tiempo, es difícil que, al estar el tiempo siempre presente, ocurra algo que no tenga nada que ver con él, de alguna manera, el tiempo está presente. Sin embargo, puede existir algún fenómeno que, de alguna manera, esquive al tiempo.

$$\text{Velocidad de escape para fotones: } v_{esc} = \left(\frac{2gm}{r} \right)^{1/2}$$

Los núcleos para formar átomos están rodeados por varios niveles de electrones y todos sabemos que un átomo es la parte más pequeña que puede existir de un elemento, es la fracción mínima de ese elemento. Consta de un denso núcleo de protones y neutrones (los nucleones) rodeados de electrones moviéndose a velocidades cercanas a las de la luz. Es lo que se conoce como estructura electrónica del núcleo y que tiene que ver con los niveles de energía que los electrones ocupan.

Una vez dejada la reseña básica de lo que es el átomo y donde están situados los electrones por capas o niveles alrededor de su núcleo, veamos el fenómeno principal de este comentario referido a “esquivar el tiempo”.

Si un fotón viajero va por el espacio a 299.792'458 Km/s, velocidad de c , golpea a un electrón situado alrededor de un núcleo, lo que ocurre trae de cabeza a los científicos que no saben explicar de manera convincente la realidad de los hechos. El electrón golpeado absorbe el fotón y, de manera inmediata, desaparece del nivel que ocupa y, sin recorrer la distancia que los separa, simultáneamente aparece en el nivel superior.

¿Por dónde hizo el viaje? ¿En qué lugar se escondió mientras desapareció? ¿Cómo pudo aparecer simultáneamente en otro lugar, sin recorrer la distancia existente entre el nivel de partida y el de llegada? Y, ¿cómo esquivó el tiempo para que todo ocurriera simultáneamente?

Estas son preguntas que aún no podemos contestar, aunque sí es verdad que nos gusta especular con viajar en el tiempo, y lo del electrón, conocido como “*efecto túnel*” o *salto cuántico*, es una idea.

Necesitamos tiempo para cambiar las cosas. Sobre todo, la cultura científica de los pueblos. Hace pocas fechas sentí vergüenza en la sala de espera de un consultorio médico. Todos los allí presentes, esperando su turno, leían revistas de índole diversa (generalmente de las mal llamadas “del corazón” que mejor deberían llamarse “de la degradación”). De pronto, en un grupito de tres mujeres que no se recataban en contar sus intimidades en alta voz, una soltó: ¡leamos el horóscopo!

Aquello colmó el vaso de mi paciencia y, no pudiendo soportarlo por más tiempo, me marché dejando la consulta médica para otra ocasión. ¿Cómo es posible que, en pleno siglo XXI, aún estemos anclados en esa zafiedad, esa ordinariez y esa enorme falta de cultura?

Sinceramente creo que son los gobiernos los que fomentan este tipo de sociedades “no pensantes” que se pueden guiar fácilmente con los progra-

mas “basura” de las televisiones que facilitan y colaboran a que no levantemos cabeza.

¡¡ Es una pena!!

Tenemos que desterrar esta situación de programas vacíos de contenido o prensa embrutecedora de los sentidos. Mejorar los hábitos y, desde pequeñitos, hacer que los niños lean mucho, que se interesen por las cosas verdaderamente importantes y que sientan dentro de su ser la curiosidad, la necesidad de saber.

Si lo conseguimos, si desterramos el botellón, los falsos e incultos “dioses” del fútbol que, de manera inmoral ganan lo que 10.000 padres de familia no ganarían en toda sus vidas, aunque ni sepan expresarse ni aporten nada positivo para la humanidad, hasta que no consigamos eso, el avance en el saber estará ralentizado. No es lo mismo que unos pocos trabajen para salvarlo todo, a que todos juntos trabajen para conseguir el objetivo común más conveniente. El esfuerzo de los científicos, sin la ayuda de los gobiernos, no es suficiente.

Por otra parte, la pena que se siente por tal situación está fundada, principalmente, en la impotencia que produce el comprobar la cantidad de maravillas que se pierden este número inmenso de personas que, desgraciadamente, nunca disfrutarán de los enormes logros y descubrimientos científicos que desde hace miles de años, fueron y están siendo conquistados por la humanidad de la que forman parte.

Si preguntamos por el significado del Big Bang, la expansión del universo, cómo nacen y mueren las estrellas, qué es una singularidad, a qué se refiere la libertad asintótica de los quarks, qué son los nucleones, qué significan las constantes universales, qué es la mecánica cuántica, el modelo estándar, la relatividad general, el significado de $E = mc^2$, el principio de incertidumbre, la función de onda de Schrödinger, la exclusión de Pauli, el cuanto de acción, h , o el límite, la energía o tiempo de Planck..., cualquiera

de estas cuestiones, todas tan importantes, serán desconocidas para el 99'99% de los encuestados. ¡Una auténtica calamidad!

Esa es la penosa realidad en la que estamos inmersos. Esas personas desconocedoras de las preguntas de antes sí podrían contestar, en cambio, cualquier tema que se les plantee sobre una famosa cantante de la copla y de lo que hizo o dejó de hacer el novio vago de aquella famosilla por enseñar el culo y, en verdad, necesitamos políticos honrados para poder cambiar todo esto.

Para seguir avanzando habrá que eliminar esta clase de sociedad aberrante, lo que de nuevo nos lleva a la misma cruda realidad, necesitamos tiempo... y buena voluntad. Pero sigamos con lo nuestro.

El tiempo es una dimensión que permite distinguir entre dos sucesos que ocurren en el mismo punto del espacio y que de otra forma serían idénticos (espacio-tiempo). El intervalo entre dos de esos sucesos constituye la base de la medida del tiempo. Para propósitos generales, más cotidianos, la rotación de la Tierra sobre su eje sirve para definir las unidades del reloj (el día y la noche con 24 horas) y la órbita del planeta Tierra, alrededor del Sol, (el año) se utiliza para definir las unidades del calendario con 365 días. Para fines científicos, los intervalos de tiempo son ahora definidos mediante la frecuencia de una radiación electromagnética especificada*. También es interesante pararse a ver lo que es dilatación de tiempos, que en páginas anteriores explicamos que estaba dado en un factor $\sqrt{1 - v^2/c^2}$. Por otra parte, podríamos hablar de la operación de reemplazar el tiempo t por el tiempo $-t$. La simetría de la inversión temporal es conocida como invariancia.

Como estamos comentando asuntos diversos que de alguna manera pueden estar relacionados con el tiempo, y comentamos también las diversas

* La medida de tiempo elegida es el segundo, que en las unidades del SI tiene el símbolo s y su duración es igual a la duración de: hertzios = 9 192 631 770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio-133.

perspectivas y formas o enfoques de mirar el tiempo, no me puedo resistir aquí una reseña de lo que es el...

Tiempo de Planck

Es el tiempo que necesita el fotón (viajando a la velocidad de la luz, c , para moverse a través de una distancia igual a la longitud de Planck. Está dado por $T_p = \sqrt{G\hbar/c^5} \approx 5'39121(40) \times 10^{-44}$ segundos, donde G es la constante gravitacional ($6'672\ 59\ (85) \times 10^{-11}\ \text{N m}^2\ \text{kg}^{-2}$), \hbar es la constante de Planck racionalizada ($\hbar = h/2\pi = 1'054589 \times 10^{-34}$ Julios segundo) y c es la velocidad de la luz ($299.792.458\ \text{m/s}$).

El valor del tiempo del Planck es del orden de 10^{-44} segundos. En la cosmología del Big Bang, hasta un tiempo T_p después del instante inicial, es necesaria usar una teoría cuántica de la gravedad para describir la evolución del universo.

Expresado en números corrientes que todos podamos entender, su valor es $0'000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.1$ de 1 segundo, que es el tiempo que necesita el fotón para recorrer la longitud de Planck, de 10^{-35} metros (veinte ordenes de magnitud menor que el tamaño del protón de 10^{-15} metros). El límite de Planck es $L_p = \sqrt{G\hbar/c^3} \approx 1'61624 \times 10^{-35}\ \text{m}$

Todo, desde Einstein, es relativo. Depende de la pregunta que se formule y de quién nos de la respuesta.

Si preguntamos ¿qué es el tiempo?, tendríamos que ser precisos y especificar si estamos preguntando por esa dimensión temporal que no deja de fluir desde el Big Bang y que nos acompaña a lo largo de nuestras vidas, o nos referimos al tiempo atómico, ese adoptado por el SI, cuya unidad es el segundo y se basa en las frecuencias atómicas, definida a partir de una línea

espectral particular de átomo de cesio-133, o nos referimos a lo que se conoce como tiempo civil, tiempo coordinado, tiempo de crecimiento, tiempo de cruce, tiempo de integración, tiempo de relajación, tiempo dinámico o dinámico de Baricéntrico, dinámico terrestre, tiempo terrestre, tiempo de Efemérides, de huso horario, tiempo estándar, tiempo local, tiempo luz, tiempo medio, etc, etc. Cada una de estas versiones del tiempo tiene una respuesta diferente, ya que no es lo mismo el tiempo propio que el tiempo sidéreo o el tiempo solar, o solar aparente, o solar medio, o tiempo terrestre, o tiempo universal. Como se puede ver, la respuesta dependerá de cómo hagamos la pregunta.

En realidad, para todos nosotros el único tiempo que rige es el que tenemos a lo largo de nuestras vidas; los otros tiempos, son inventos del hombre para facilitar sus tareas de medida, de convivencia o de otras cuestiones técnicas o astronómicas pero, sin embargo, el tiempo es sólo uno; ese que comenzó cuando nació el universo y que finalizará cuando éste llegue a su final.

Lo cierto es que para las estrellas supermasivas, cuando llegan al final de su ciclo y dejan de brillar por agotamiento de su combustible nuclear, en ese preciso instante, el tiempo se agota para ella. Cuando una estrella pierde el equilibrio existente entre la energía termonuclear (que tiende a expandir la estrella) y la fuerza de gravedad (que tiende a comprimirla), al quedar sin oposición esta última, la estrella supermasiva se contrae aplastada bajo su propia masa. Queda comprimida hasta tal nivel que llega un momento que desaparece, para convertirse en un agujero negro, una singularidad, donde dejan de existir el “tiempo” y el espacio. A su alrededor nace un *horizonte de sucesos*, que si se traspasa se es engullido por la enorme gravedad del agujero negro.

El tiempo, de esta manera, deja de existir en estas regiones del universo que conocemos como *singularidad*. El mismo Big Bang surgió de una singularidad de energía y densidad infinitas que, al explotar, se expandió y creó el tiempo, el espacio y la materia.

Como contraposición a estas enormes densidades de las enanas blancas, estrellas de neutrones y agujeros negros, existen regiones del espacio que contienen menos galaxias que el promedio o incluso ninguna galaxia; a estas regiones las conocemos como vacío cósmico. Han sido detectados vacíos con menos de una décima de la densidad promedio del universo en escalas de hasta 200 millones de años luz en exploraciones a gran escala. Estas regiones son a menudo esféricas. El primer gran vacío en ser detectado fue el de Boötes en 1.981; tiene un radio de unos 180 millones de años luz y su centro se encuentra aproximadamente a 500 millones de años luz de la Vía Láctea. La existencia de grandes vacíos no es sorprendente, dada la existencia de cúmulos de galaxias y supercúmulos a escalas muy grandes.

Mientras que en estas regiones la materia es muy escasa, en una sola estrella de neutrones, si pudiéramos retirar 1 cm³ de su masa, obtendríamos una cantidad de materia increíble. Su densidad es de 10¹⁷ Kg/m³; los electrones y los protones están tan juntos que se combinan y forman neutrones que se degeneran haciendo estable la estrella de ese nombre que, después del agujero negro, es el objeto estelar más denso del universo.

Es interesante ver cómo a través de las matemáticas y la geometría, han sabido los humanos encontrar la forma de medir el mundo y encontrar las formas del universo. Pasando por Arquímedes, Pitágoras, Newton, Gauss o Riemann (entre otros), siempre hemos tratado de buscar las respuestas de las cosas por medio de las matemáticas.

“Magia es cualquier tecnología suficientemente avanzada”

Arthur C. Clarke

Pero también es magia el hecho de que en cualquier tiempo y lugar, de manera inesperada, aparezca una persona dotada de condiciones especiales que le permiten ver estructuras complejas matemáticas que hacen posible que la humanidad avance considerablemente a través de esos nuevos conceptos que nos permiten entrar en espacios antes cerrados, ampliando el horizonte de nuestro saber.

Recuerdo aquí uno de esos extraños casos que surgió el día 10 de Junio de 1.854 con el nacimiento de una nueva geometría: la teoría de dimensiones más altas que fue introducida cuando Georg Friedrich Bernhard Riemann dio su célebre conferencia en la facultad de la Universidad de Göttingen en Alemania. Aquello fue como abrir de golpe todas las ventanas cerradas durante 2.000 años de una lóbrega habitación que, de pronto, se ve inundada por la luz cegadora de un Sol radiante. Riemann regaló al mundo las sorprendentes propiedades del espacio multidimensional.

Su ensayo, de profunda importancia y elegancia excepcional, “*sobre las hipótesis que subyacen en los fundamentos de la geometría*” derribó pilares de la geometría clásica griega, que habían resistido con éxito todos los asaltos de los escépticos durante dos milenios. La vieja geometría de Euclides, en la cual todas las figuras geométricas son de dos o tres dimensiones, se venía abajo, mientras una nueva geometría riemanniana surgía de sus ruinas. La revolución riemanniana iba a tener grandes consecuencias para el futuro de las artes y las ciencias. En menos de tres decenios, la “misteriosa cuarta dimensión” influiría en la evolución del arte, la filosofía y la literatura en toda Europa. Antes de que hubieran pasado seis decenios a partir de la conferencia de Riemann, Einstein utilizaría la geometría riemanniana tetradimensional para explicar la creación del universo y su evolución mediante su asombrosa teoría de la relatividad general. Ciento treinta años después de su conferencia, los físicos utilizarían la geometría decadimensional para intentar unir todas las leyes del universo. El núcleo de la obra de Riemann era la comprensión de las leyes físicas mediante su simplificación al contemplarlas en espacios de más dimensiones.

Contradictoriamente, Riemann era la persona menos indicada para anunciar tan profunda y completa evolución en el pensamiento matemático y físico. Era hurao, solitario y sufria crisis nerviosas. De salud muy precatcharia que arruinó su vida en la miseria abyecta y la tuberculosis.

Riemann nació en 1.826 en Hannover, Alemania, segundo de los seis hijos de un pobre pastor luterano que trabajó y se esforzó como humilde predicador para alimentar a su numerosa familia que, mal alimentada, ten-

drían una delicada salud que les llevaría a una temprana muerte. La madre de Riemann también murió antes de que sus hijos hubieran crecido.

A edad muy temprana, Riemann mostraba ya los rasgos que le hicieron famoso: increíble capacidad de cálculo que era el contrapunto a su gran timidez y temor a expresarse en público. Terriblemente apocado era objeto de bromas de otros niños, lo que le hizo recogerse aún más en un mundo matemático intensamente privado que le salvaba del mundo hostil exterior.

Para complacer a su padre, Riemann se propuso hacerse estudiante de teología, obtener un puesto remunerado como pastor y ayudar a su familia. En la escuela secundaria estudió la Biblia con intensidad, pero sus pensamientos volvían siempre a las matemáticas. Aprendía tan rápidamente que siempre estaba por delante de los conocimientos de sus instructores, que encontraron imposible mantenerse a su altura. Finalmente, el director de la escuela dio a Riemann un pesado libro para mantenerle ocupado. El libro era la Teoría de números de Adrien-Marie Legendre, una voluminosa obra maestra de 859 páginas, el tratado más avanzado del mundo sobre el difícil tema de la teoría de números. Riemann devoró el libro en seis días.

Cuando el director le preguntó: “*¿hasta dónde has leído?*”, el joven Riemann respondió: “*este es un libro maravilloso. Ya me lo sé todo*”.

Sin creerse realmente la afirmación de su pupilo, el director le planteó varios meses después cuestiones complejas sobre el contenido del libro, que Riemann respondió correctamente.

Con mil sacrificios, el padre de Riemann consiguió reunir los fondos necesarios para que a los 19 años pudiera acudir a la Universidad de Göttingen, donde encontró a Carl Friedrich Gauss, el aclamado por todos “Príncipe de las Matemáticas”, uno de los mayores matemáticos de todos los tiempos. Incluso hoy, si hacemos una selección por expertos para distinguir a los matemáticos más grandes de la Historia, aparecerá indudablemente Euclides, Arquímedes, Newton y Gauss.

Los estudios de Riemann no fueron un camino de rosas precisamente. Alemania sacudida por disturbios, manifestaciones y levantamientos, fue reclutado en el cuerpo de estudiantes para proteger al rey en el palacio real de Berlín y sus estudios quedaron interrumpidos.

En aquel ambiente, el problema que captó el interés de Riemann fue el colapso que, según él pensaba, suponía la geometría euclíadiana, que mantiene que el espacio es tridimensional y “plano” (en el espacio plano, la distancia más corta entre dos puntos es la línea recta; lo que descarta la posibilidad de que el espacio pueda estar curvado, como en una esfera).

Para Riemann, la geometría de Euclides era particularmente estéril cuando se la comparaba con la rica diversidad del mundo. En ninguna parte veía Riemann las figuras geométricas planas idealizadas por Euclides. Las montañas, las olas del mar, las nubes y los torbellinos no son círculos, triángulos o cuadrados perfectos, sino objetos curvos que se doblan y retuercen en una diversidad infinita. Riemann, ante aquella realidad, se rebeló contra la aparente precisión matemática de la geometría griega, cuyos fundamentos, descubrió él, estaban basados en definitiva sobre las arenas movedizas del sentido común y la intuición, no sobre el terreno firme de la lógica y la realidad del mundo.

Euclides nos habló de la obviedad de que un punto no tiene dimensión. Una línea tiene una dimensión: longitud. Un plano tiene dos dimensiones: longitud y anchura. Un sólido tiene tres dimensiones: longitud, anchura y altura. Y allí se detiene. Nada tiene cuatro dimensiones, incluso Aristóteles afirmó que la cuarta dimensión era imposible. En *Sobre el cielo*, escribió: “*La línea tiene magnitud en una dirección, el plano en dos direcciones, y el sólido en tres direcciones, y más allá de éstas no hay otra magnitud porque los tres son todas*”. Además, en el año 150 d. C. el astrónomo Ptolomeo de Alejandría fue más allá de Aristóteles y ofreció, en su libro sobre la distancia, la primera “demostración” ingeniosa de que la cuarta dimensión es imposible.

En realidad, lo único que Ptolomeo demostraba era que era imposible visualizar la cuarta dimensión con nuestros cerebros tridimensionales (de

hecho, hoy sabemos que muchos objetos matemáticos no pueden ser visualizados, aunque puede demostrarse que en realidad, existen). Ptolomeo puede pasar a la Historia como el hombre que se opuso a dos grandes ideas en la ciencia: el sistema solar heliocéntrico y la cuarta dimensión.

La ruptura decisiva con la geometría euclíadiana llegó cuando Gauss pidió a su discípulo Riemann que preparara una presentación oral sobre los “fundamentos de la geometría”. Gauss estaba muy interesado en ver si su discípulo podía desarrollar una alternativa a la geometría de Euclides.

Riemann desarrolló su teoría de dimensiones más altas.

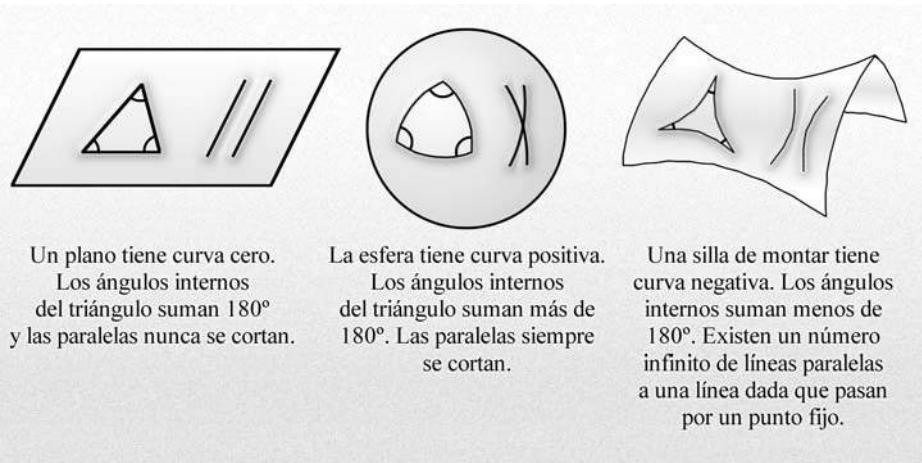
Finalmente, cuando hizo su presentación oral en 1.854, la recepción fue entusiasta. Visto en retrospectiva, esta fue, sin discusión, una de las conferencias públicas más importantes en la historia de las matemáticas. Rápidamente se entendió por toda Europa la noticia de que Riemann había roto definitivamente los límites de la geometría de Euclides que había regido las matemáticas durante dos milenios.

Riemann creó su *tensor métrico* para que, a partir de ese momento, otros dispusieran de una poderosa herramienta que les hacía posible expresarse, a partir del famoso teorema de Pitágoras (uno de los grandes descubrimientos de los griegos en matemáticas que establece la relación entre las longitudes de los tres lados de un triángulo rectángulo: afirma que la suma de los cuadrados de los lados menores es igual al cuadrado del lado mayor, la hipotenusa; es decir, si a y b son las longitudes de los dos catetos, y c es la longitud de la hipotenusa, entonces $a^2 + b^2 = c^2$). El teorema de Pitágoras, por supuesto, es la base de toda la arquitectura; toda estructura construida en este planeta está basada en él. Claro que, es una herramienta para utilizar en un mundo tridimensional).

El tensor métrico de Riemann, o *N dimensiones*, fue mucho más allá y podemos decir que es el teorema para dimensiones más altas con el que podemos describir fenómenos espaciales que no son planos, tales como un remolino causado en el agua o en la atmósfera, como por ejemplo también la

curvatura del espacio en presencia de grandes masas. Precisamente, el tensor de Riemann permitió a Einstein formular su teoría de la gravedad y posteriormente lo utilizó Kaluza y Klein para su teoría en la quinta dimensión de la que años más tarde se derivaron las teorías de supergravedad, supersimetría y, finalmente, las supercuerdas.

Para asombro de Einstein, cuando tuvo ante sus ojos la conferencia de Riemann de 1854 que le había enviado su amigo Marcel Grossman, rápidamente se dio cuenta de que allí estaba la clave para resolver su problema. Descubrió que podía incorporar todo el cuerpo del trabajo de Riemann en la reformulación de su principio. Casi línea por línea, el gran trabajo de Riemann encontraba su verdadero lugar en el principio de Einstein de la relatividad general. Esta fue la obra más soberbia de Einstein, incluso más que su celebrada ecuación $E = mc^2$. La reinterpretación física de la famosa conferencia de Riemann se denomina ahora relatividad general, y las ecuaciones de campo de Einstein se sitúan entre las ideas más profundas de la historia de la ciencia.



Un plano tiene curva cero.
Los ángulos internos
del triángulo suman 180°
y las paralelas nunca se cortan.

La esfera tiene curva positiva.
Los ángulos internos
del triángulo suman más de
180°. Las paralelas siempre
se cortan.

Una silla de montar tiene
curva negativa. Los ángulos
internos suman menos de
180°. Existe un número
infinito de líneas paralelas
a una línea dada que pasan
por un punto fijo.

Pero volvamos al trabajo de Riemann. Su propósito era introducir un nuevo objeto en las matemáticas que le capacitase para describir todas las superficies, por complicadas que fueran. Ésto le condujo inevitablemente a reintroducir el concepto de campo de Faraday.

El campo de Faraday, recordémoslo, era como un campo de granjero que ocupa una región de un espacio bidimensional. El campo de Faraday ocupa una región de un espacio tridimensional; a cualquier punto del espacio le asignamos una colección de números que describe la fuerza eléctrica o magnética en dicho punto. La idea de Riemann consistía en introducir una colección de números en cada punto del espacio que descubriera cuánto estaba torcido o curvado.

Por ejemplo, para una superficie bidimensional ordinaria, Riemann introdujo una colección de tres números en cada punto que describe completamente la curvatura de dicha superficie. Riemann descubrió que en cuatro dimensiones espaciales se necesita una colección de diez números en cada punto del espacio para describir sus propiedades. Por muy retorcido o distorsionado que esté el espacio, esta colección de diez números en cada punto es suficiente para codificar toda la información sobre dicho espacio. Hoy, esta colección de números se denomina el *Tensor métrico de Riemann*. Hablando crudamente, cuanto mayor es el valor del tensor métrico, mayor es el arrugamiento de la superficie, digamos de una hoja de papel, y el tensor métrico nos da un medio sencillo para medir la curvatura en cada punto. Si alisamos completamente la hoja arrugada, entonces recuperamos la fórmula de Pitágoras.

El tensor métrico de Riemann le permitió erigir un potente aparato para describir espacios de cualquier dimensión con curvatura arbitraria. Para su sorpresa, encontró que todos estos espacios están bien definidos y son auto-consistentes. Previamente, se pensaba que aparecerían terribles contradicciones al investigar el mundo prohibido de dimensiones más altas. Riemann no encontró ninguna. De hecho, resultaba casi trivial extender su trabajo a un espacio N-dimensional. El tensor métrico se parecía ahora a un tablero de ajedrez de N x N casillas.

$$\begin{pmatrix} g^{11} & g^{12} & g^{13} & g^{14} \\ g^{21} & g^{22} & g^{23} & g^{24} \\ g^{31} & g^{32} & g^{33} & g^{34} \\ g^{41} & g^{42} & g^{43} & g^{44} \end{pmatrix}$$

El tensor de Riemann contiene toda la información necesaria para poder describir un espacio curvo en N-dimensiones. Se necesita dieciséis números para describir el tensor métrico en un espacio tetradimensional. Estos números pueden disponerse en una matriz cuadrada (seis de dichos números son realmente redundantes; de modo que el tensor métrico tiene diez números independientes).

De hecho, en las nuevas teorías de supercuerdas, planteadas en diez y veintiséis dimensiones, tendríamos que hablar del supertensor métrico de Riemann y de cientos de componentes.

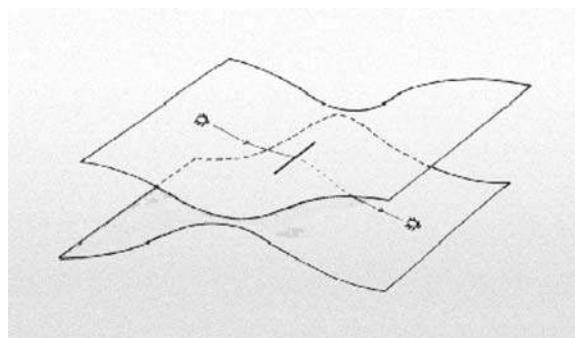
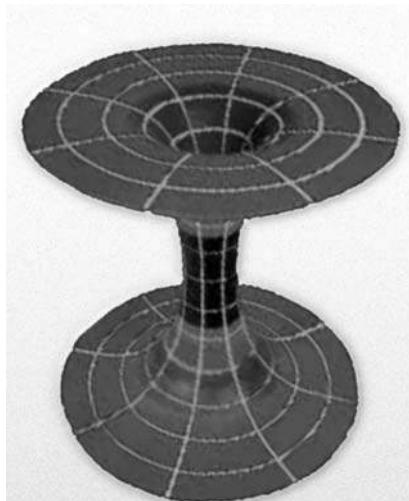


Gráfico: Un corte de Riemann, con dos hojas conectadas a lo largo de una línea. Si caminamos alrededor del corte, permanecemos dentro del mismo espacio. Pero si atravesamos el corte, pasamos de una hoja a la continua. Esta es una superficie múltiplemente conexa

De la lección de Riemann se deduce que en espacios multidimensionales se crea el principio de que el espacio múltiple (de más dimensiones) unifica las leyes de la naturaleza encajándolas en el tensor métrico como piezas de un rompecabezas N-dimensional.

Riemann anticipó otro desarrollo de la física; fue uno de los primeros en discutir espacios múltiples y conexos, o agujeros de gusano.



Agujero de gusano que conecta dos universos o dos regiones que existen en diferentes períodos de tiempo.

Topológicamente hablando, el dibujo adjunto es equivalente a lo que sería un agujero de gusano con boca de entrada y de salida en regiones que nos llevarían a otro tiempo (así lo aseguró en 1.988, el físico Kip S. Thorne, del MIT – Instituto Tecnológico de Massachusetts en California –).

El legado de Riemann (a pesar de su muerte prematura) fue extenso y en general muy valioso. En 1958, anunció incluso que finalmente había logrado una descripción unificada de la luz y la electricidad. Escribió: “*Estoy completamente convencido de que mi teoría es la correcta, y de que en pocos años será reconocida como tal*”. Aunque su tensor métrico le proporcionó un medio poderoso de describir cualquier espacio curvo en cualquier dimensión, él no conocía las ecuaciones exactas a que obedecía el tensor métrico; es decir, no sabía cuál es lo que hacía que la hoja se arrugase, eso lo vio seis décadas más tarde Einstein que se dio cuenta de que, en presencia de grandes masas, tales como planetas o estrellas – entre otros –, el espacio se “arruga” o “distorsiona”, se curva. Sin embargo Einstein sabía el origen de las arrugas y le faltaba el tensor métrico que, finalmente, le permitió legar al mundo su magnífica teoría.

El trabajo de Riemann, al utilizar el espacio multidimensional, logró simplificar las leyes de la naturaleza, es decir, para él, la electricidad y el magnetismo y también la gravedad eran simplemente los efectos causados por el arrugamiento o distorsión del hiperespacio.

Su asombroso trabajo (que no terminó), fue rematado por dos genios como Maxwell (electricidad y magnetismo) y Einstein (gravedad).

El mensajero de la cuarta dimensión, un pintoresco matemático inglés llamado Charles Howard Hinton que atravesó el Atlántico y la llevó a NorTEAMÉRICA, formó bastante ruido a cuenta de la cuarta dimensión y se presentaba como experto en ella; tenía respuesta para cualquier pregunta.

Si le preguntaban ¿dónde está la cuarta dimensión?, su respuesta era invariable: “*Está aquí, con nosotros, pero es tan pequeña que no la podemos ver*”.

Básicamente, la respuesta de Hinton fue la misma que después dieron Kaluza y Klein para su quinta dimensión (la famosa teoría que unía el electromagnetismo de Maxwell y la gravedad de Einstein mediante la ocurrencia de elevar la teoría einsteniana en una dimensión más) y las que han dado otros físicos y matemáticos para explicar las teorías decadimensionales. En todas, cuando nació el tiempo y el espacio, en el Big Bang, resultó que tres dimensiones espaciales y una de tiempo se expandieron con el universo; las otras dimensiones se quedaron compactados en minúsculos círculos en la longitud de Planck, es decir una distancia de 10^{-33} cm que se formula mediante $L_p = \sqrt{G\hbar/c^3}$, donde G , es la constante gravitacional de Newton, \hbar es la constante de Planck racionalizada, y c es la velocidad de la luz en el vacío. Esa es una distancia que, hoy por hoy, nuestros aparatos tecnológicos (microscópicos electrónicos, etc), no están capacitados para alcanzar.

Hay asuntos que en física, matemáticas o astronomía, están esperando una respuesta clara, y sobre todo urgente.

Tenemos pendientes las preguntas sobre lo que encierra el número 137, ese número puro y adimensional que se relaciona con e , el electrón del electromagnetismo, con h , el cuanto de acción de la constante de Planck, y con c , la velocidad de la luz de la relatividad especial de Einstein. Es lo que denominamos constante de estructura fina que es igual a $1/137$ y resulta de los productos de $2\pi e^2/hc$, pero, ¿por qué? El día que tengamos la respuesta habremos despejado los misterios encerrados en e , h y c .

También esperamos respuesta a preguntas pendientes en geometría de los objetos a la que se ha dado en llamar *topología*, es la rama de la matemática que se ocupa del estudio de las propiedades de los objetos que no cambian al deformarlos continuamente: estirarlos, achatarlos o retorcerlos. Siempre sin cortarlos ni pegarlos. Los topólogos no miran la distancia, puesto que se puede cambiar al deformar el objeto, sino nociones más sutiles.

Henri Poincaré, físico y matemático francés, allá por el año 1.904 planteó algo que desde entonces se conoce como: “*La conjetura de Poincaré*”. La pregunta de Poincaré fue la siguiente: ¿Es la esfera la única variedad tridimensional para la cual toda curva se contrae?

Desde que planteó este dilema hace ya más de un siglo, parece que nadie ha resuelto tal problema.

Ya he hablado antes de nuestro mundo tetradimensional con tres dimensiones de espacio y una de tiempo, y el salto enorme que dio la geometría cuando llegó Riemann a mediados del siglo XIX para cambiar conceptos que prevalecieron más de 20 siglos.

Finalmente, en el mes de agosto de 2006, alguien llamado G. Perelman (un matemático ruso excéntrico) en el Congreso Internacional de Matemáticas que se celebró en Madrid, expondría la solución final de “*La conjetura de Poincaré*” que, según todos los indicios, había resuelto. Sin embargo, ni se presentó al Congreso ni a recoger la Medalla Field que se había previsto le entregara el rey de España en ese acto. Dijo que no merecía la pena explicar a todos aquellos que no comprendían la profundidad de su trabajo.

Este extraño personaje, que vive con su madre en un piso de menos de 60 m² y se mantienen con una corta pensión, se pasa el día investigando sus teorías y números, y en los ratos libres sale al campo a buscar setas. Ha rechazado ofertas millonarias de universidades y multinacionales. Sólo está interesado en su mundo particular, y cuando le parece, publica algún descubrimiento en internet.

La respuesta tan esperada en astronomía es el que alguien responda a la pregunta siguiente: ¿Qué es y donde está la energía y la materia oscura?

Sí, sabemos que su presencia puede ser inferida por sus efectos sobre los movimientos de las estrellas y galaxias, aunque no puede ser observada directamente debido a que emite poca o ninguna radiación. Se piensa que algo más del 90% de la masa del universo se encuentra en alguna forma de materia oscura. Existen evidencias de materia oscura en las galaxias espirales en sus curvas de rotación. La existencia de materia oscura en los cúmulos ricos de galaxias puede ser deducida por el movimiento de las galaxias constituyentes. Una parte de esta materia oscura puede encontrarse en forma de estrellas poco masivas u objetos con masa del orden de la de Júpiter; dicha materia normal se describe como bariónica (los bariones son los protones, neutrones y otras partículas formadoras de materia que podemos ver). Por otra parte, también puede existir materia oscura en el espacio entre galaxias, ese espacio que llamamos vacío y que en realidad está abarrotado de partículas virtuales que aparecen sin saber de dónde y en manos de una milionésima de segundo desaparece sin que sepamos a dónde, y que podría hacer aumentar la densidad media del universo hasta la densidad crítica requerida para invertir la expansión actual.

Si la teoría del Bing Bang es correcta, como parece que lo es, debe de existir una gran proporción de materia oscura en forma no bariónica (que no podemos ver), quizás axiones, fotinos o neutrinos masivos, supervivientes de las etapas tempranas del Big Bang y, ¿por qué no?, también podríamos suponer que la materia oscura que tanto nos preocupa pudiera estar encerrada dentro de las singularidades de tantos y tantos agujeros negros que se han debido formar a lo largo de los 13.500 millones de años que es la edad del universo.

Los agujeros negros, cuya existencia se dedujo por Schwarzschild en 1.916 a partir de las ecuaciones de campo de Einstein de la relatividad general, son objetos supermasivos, invisibles a nuestra vista (de ahí su nombre) del que no escapa ni la luz; tal es la fuerza gravitatoria que generan que incluso engullen la materia de sus vecinas, objetos estelares como estrellas que osan traspasar el cinturón de seguridad que llamamos horizonte de sucesos.

Pues bien, si en el universo existen innumerables agujeros negros, por qué no creer que sean uno de los candidatos más firmes para que sea la buscada “materia oscura”.

Para mí particularmente, sin descartar absolutamente nada de lo anterior (cualquier teoría podría ser la cierta), la denominada materia oscura está situada en la quinta dimensión, y nos llegan sus efectos a través de fluctuaciones del “vacío”, que de alguna manera deja pasar a los gravitones que transportan la fuerza gravitacional que emite dicha materia y sus efectos se dejan sentir en nuestro universo, haciendo que las galaxias se alejen las unas de las otras a mayor velocidad de la que tendrían si el universo estuviera poblado sólo de la materia bariónica que nos rodea.

Claro que mi pensamiento es eso, una teoría más de las muchas que circulan. A veces me sorprendo al escuchar como algunos astrofísicos de reconocido nombre, sin pudor alguno, dogmatizan hablando de estas cuestiones sobre las que no tienen la menor certeza.

De todas las maneras, incluso la denominación dada: “materia oscura”, delata nuestra ignorancia.

Mientras tanto, dejamos que el “tiempo” transcurra y como en todo lo demás, finalmente, alguien nos dará la respuesta.

Para que tengamos todas las respuestas que necesitamos para viajar a las estrellas, tener energía infinita obtenida de agujeros negros, lograr el

traslado de materia viva a lugares distantes, dominar toda una galaxia, etc, tendrán que transcurrir algunos eones* de tiempo.

Hace menos de un siglo no existían televisores, teléfonos móviles, faxes, ni aceleradores de partículas. En los últimos cien años hemos avanzado de una manera que sería el asombro de nuestros antepasados.

¿Qué maravillas tendremos dentro de cincuenta años? ¿Qué adelantos científicos se habrán alcanzado?

Dejando a un lado, a los primeros descubridores, como Ptolomeo, Copérnico, Galileo, Kepler y otros muchos de tiempos pasados, tenemos que atender a lo siguiente:

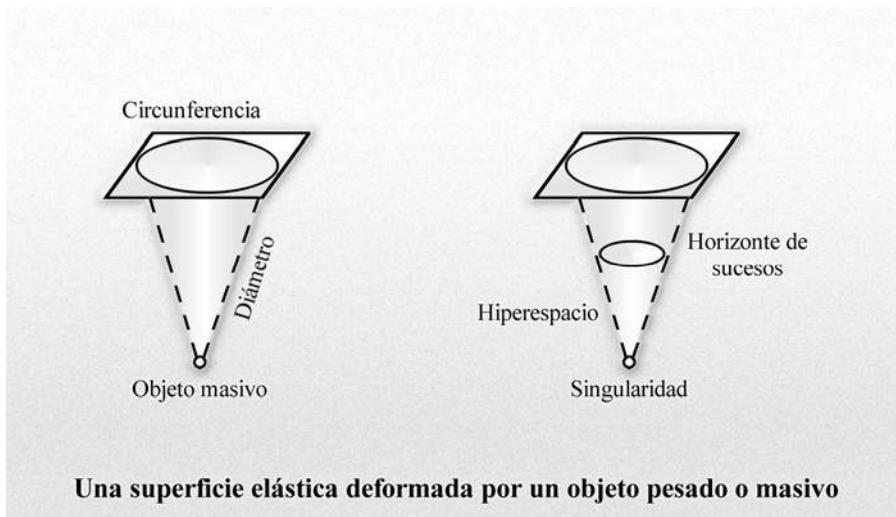
La primera revolución de la física se produjo en 1.905, cuando Albert Einstein con su relatividad especial nos ayudó en nuestra comprensión de las leyes que gobiernan el universo. Esa primera revolución nos fue dada en dos pasos: 1905 la teoría de la relatividad especial y en 1.915, diez años después, la teoría de la relatividad general. Al final de su trabajo relativista, Einstein concluyó que el espacio y el tiempo están distorsionados por la materia y la energía, y que esta distorsión es la responsable de la gravedad que nos mantiene en la superficie de la Tierra, la misma que mantiene unidos los planetas del Sistema Solar girando alrededor del Sol y también la que hace posible la existencia de las galaxias.

Nos dio un conjunto de ecuaciones a partir de los cuales se puede deducir la distorsión del tiempo y del espacio alrededor de objetos cósmicos que pueblan el universo y que crean esta distorsión en función de su masa. Se han cumplido 100 años desde entonces y miles de físicos han tratado de extraer las predicciones encerradas en las ecuaciones de Einstein (sin olvidar a Riemann) sobre la distorsión del espaciotiempo.

* Eón: periodo de 10^9 años, es decir, 1.000 millones de años.

Un agujero negro es lo definitivo en distorsión espaciotemporal, según las ecuaciones de Einstein: está hecho única y exclusivamente a partir de dicha distorsión. Su enorme distorsión está causada por una inmensa cantidad de energía compactada: energía que reside no en la materia, sino en la propia distorsión. La distorsión genera más distorsión sin la ayuda de la materia. Esta es la esencia del agujero negro.

Si tuviéramos un agujero negro del tamaño de la calabaza más grande del mundo, de unos 10 metros de circunferencia, entonces conociendo las leyes de la geometría de Euclides se podría esperar que su diámetro fuera de $10 \text{ m} / \pi = 3'14159\dots$, o aproximadamente 3 metros. Pero el diámetro del agujero es mucho mayor que 3 metros, quizás algo más próximo a 300 metros. ¿Cómo puede ser esto? Muy simple: las leyes de Euclides fallan en espacios muy distorsionados.



Como se puede ver, el objeto pesado o masivo colocado en el centro de la superficie elástica, se ha hundido a consecuencia del peso y ha provocado una distorsión que cambia completamente la medida original del diámetro de esa circunferencia que, al ser hundida por el peso, se agranda en función de éste.

Al espacio le ocurre igual.

De la misma manera se puede considerar que el espacio tridimensional dentro y alrededor de un agujero negro está distorsionado dentro de un espacio plano de dimensión más alta (a menudo llamado hipervínculo), igual que la lámina bidimensional está distorsionada como describo en el dibujo de la página anterior.

Lo más intrigante de los agujeros negros es que, si caemos en uno, no tendremos manera alguna de salir o enviar señales a los que están fuera esperándonos. Pensemos que la masa de la Tierra que es de $5'974 \times 10^{24}$ Kg (densidad de 5'52 gramos por cm^3), requiere una velocidad de escape de 11'18 Km/s, ¿cuál no será la masa y densidad de un agujero negro si pensamos que ni la luz que viaja a 299.792'458 Km/s puede escapar de su fuerza de gravedad?

Es tanta la densidad que no sólo distorsiona el espacio, sino que también distorsiona el tiempo según las ecuaciones de Einstein: el flujo del tiempo se frena cerca del agujero, y en un punto de no retorno (llamado el “horizonte” del agujero, o límite), el tiempo está tan fuertemente distorsionado que empieza a fluir en una dirección que normalmente sería espacial; el flujo de tiempo futuro está dirigido hacia el centro del agujero. Nada puede moverse hacia atrás en el tiempo¹, insisten las ecuaciones de Einstein; de modo que una vez dentro del agujero, nos veremos arrastrados irremisiblemente hacia abajo con el flujo del tiempo, hacia una “singularidad” escondida en el corazón del agujero; en ese lugar de energía y densidad infinitas, el tiempo y el espacio dejan de existir.

Como he apuntado antes en alguna parte de este mismo trabajo, la descripción relativista del agujero negro procede de la obra de Karl Schwarzschild. En 1916, apenas unos meses después de que Einstein formulara sus famosas ecuaciones, Schwarzschild fue capaz de resolver exactamente las

¹ Según Kip S. Thorne, sería posible utilizando un agujero de gusano, y para que esto sea posible, se necesita materia exótica.

ecuaciones de Einstein y calcular el campo gravitatorio de una estrella masiva estacionaria.

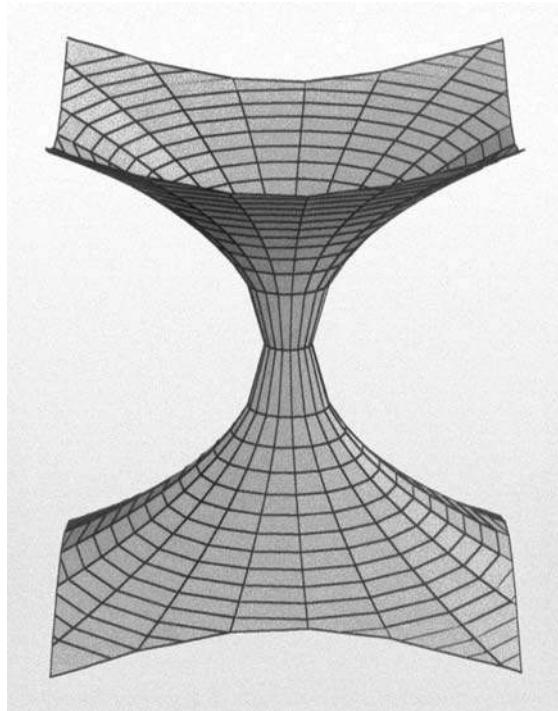
La solución de Schwarzschild tiene varias características interesantes:

- En primer lugar, una línea de no retorno rodea al agujero negro: cualquier objeto que se acerque a una distancia menor que este radio será absorbido inevitablemente en el agujero.
- En segundo lugar, cualquiera que cayera dentro del radio de Schwarzschild será consciente de un “universo especular” al “otro lado” del espacio-tiempo.

Einstein no se preocupaba por la existencia de este extraño universo especular porque la comunicación con él era imposible. Cualquier aparato o sonda enviada al centro de un agujero negro encontraría una curvatura infinita; es decir, el campo gravitatorio sería infinito y, como ya dije antes, ni la luz podría escapar a dicha fuerza, e igualmente, las ondas de radio electromagnéticas también estarían prisioneras en el interior de un agujero negro, con lo cual, el mensaje nunca llegará al exterior. Allí dentro, cualquier objeto material sería literalmente pulverizado, los electrones serían separados de los átomos, e incluso los protones y los neutrones dentro de los propios núcleos serían desgajados. Además, para penetrar en el universo alternativo, la sonda debería ir más rápida que la velocidad de la luz, lo que no es posible; c es la velocidad límite del universo.

Así pues, aunque este universo especular es matemáticamente necesario para dar sentido a la solución de Schwarzschild, nunca podría ser observado físicamente (al menos por el momento).

En consecuencia, el famoso puente de Einstein-Rosen que conecta estos dos universos fue considerado un artificio matemático.



El puente de Einstein-Rosen conecta universos diferentes. Einstein creía que cualquier cohete que entrara en el puente sería aplastado, haciendo así imposible la comunicación entre estos dos universos. Sin embargo, cálculos más recientes muestran que el viaje a través del puente, aunque podría ser muy difícil, no sería imposible; existen ciertas posibilidades de que algún día se pudiera realizar.

Posteriormente, los puentes de Einstein-Rosen se encontraron pronto en otras soluciones de las ecuaciones gravitatorias, tales como la solución de Reisner-Nordstrom que describe un agujero eléctricamente cargado. Sin embargo, el puente de Einstein-Rosen siguió siendo una nota a pie de página curiosa pero olvidada en el saber de la relatividad.

Las cosas comenzaron a cambiar con la solución que el trabajo matemático presentado por el neozelandés Roy Kerr, presentado en 1.963, encontró otra solución exacta de las ecuaciones de Einstein. Kerr supuso que cualquier estrella colapsante estaría en rotación. Así pues, la solución esta-

ciónaria de Schwarzschild para un agujero negro no era la solución físicamente más relevante de las ecuaciones de Einstein.

La solución de Kerr causó sensación en el campo de la relatividad cuando fue propuesta. El astrofísico Subrahmanyam Chandrasekhar llegó a decir:

“La experiencia que ha dejado más huella en mi vida científica, de más de cuarenta años, fue cuando comprendí que una solución exacta de las ecuaciones de Einstein de la relatividad general, descubierta por el matemático Roy Kerr, proporciona la representación absolutamente exacta de innumerables agujeros negros masivos que pueblan el universo. Este estremecimiento ante lo bello, este hecho increíble de que un descubrimiento motivado por una búsqueda de la belleza en matemáticas encontrará su réplica exacta en la naturaleza, es lo que me lleva a decir que la belleza es aquello a lo que lleva la mente humana en su nivel más profundo”.

La solución de Kerr de un agujero negro giratorio permite que una nave espacial pase a través del centro del agujero por el eje de rotación y sobrevivir al viaje a pesar de los enormes pero finitos campos gravitatorios en el centro, y seguir derecha hacia el otro universo espectral sin ser destruida por la curvatura infinita.

El universo, como todos sabemos, abarca a todo lo que existe, incluyendo el espacio y el tiempo y, por supuesto, toda la materia está en la forma que esté constituida. El estudio del universo se conoce como cosmología. Si cuando escribimos Universo nos referimos al conjunto de todo, al cosmos en su conjunto, lo escribimos con mayúscula, el universo referido a un modelo matemático de alguna teoría física, ese se escribe con minúscula.

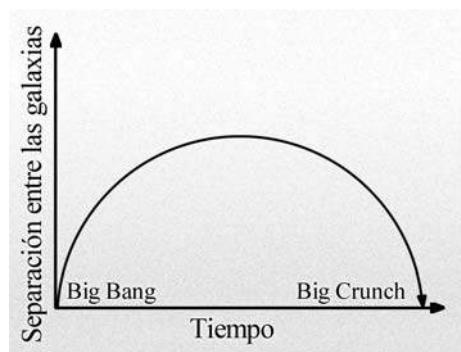
El universo real está constituido en su mayoría por espacios aparentemente vacíos, existiendo materia concentrada en galaxias formadas por estrellas y gas (también planetas, quásares, púlsares, cometas, estrellas enanas

blancas y marrones, estrella de neutrones, agujeros negros y otros muchos objetos espaciales). El universo se está expandiendo, las galaxias se alejan continuamente las unas de las otras. Existe una evidencia creciente de que existe una materia oscura invisible, no bariónica, que puede constituir muchas veces la masa total de las galaxias visibles. El concepto más creíble del origen del universo es la teoría del Big Bang de acuerdo con la cual el universo se creó a partir de una singularidad infinita de energía y densidad a inmensas temperaturas de millones de grados K, hace ahora unos 15.000 millones de años.

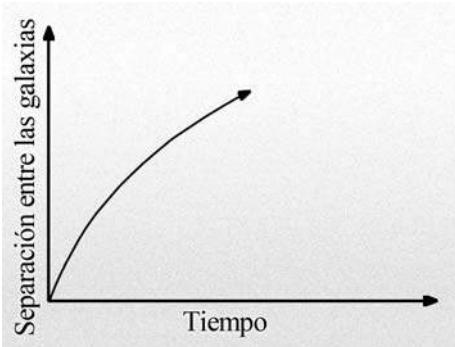
Los científicos y estudiosos del universo han especulado mucho con la clase de universo que nos acoge, y para ello han realizado las más diversas teorías de universo abierto, universo cerrado, universo estacionario, universo en expansión, inflacionario, estático, oscilatorio, etc, etc, etc. Pero, ¿cuál tenemos?

En páginas de este mismo trabajo aparecen unos gráficos de figuras geométricas que pueden representar perfectamente tres clases de universos: el universo plano, el universo abierto y el universo cerrado.

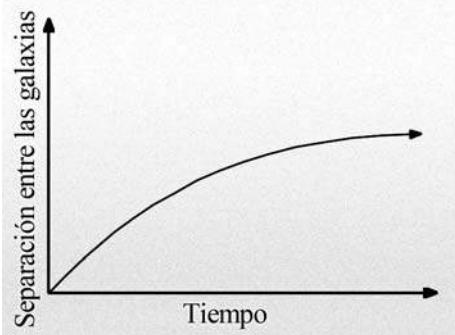
Hagámoslo más simple:



El gráfico representa el universo de Friedman que finalmente se contrae y finaliza en un Big Crunch, es un universo cerrado.



Universo Einstein-de Sitter, es un universo plano. Densidad baja.



Universo en expansión infinita, las galaxias se alejan unas de otras para la eternidad.

Es un universo abierto.

El tipo de universo que nos acoja estaría diseñado y tendrá su final en función de la *Densidad Crítica* que, está referida a la “densidad media” requerida para que la gravedad detenga la expansión del universo. Un universo con una densidad muy baja se expandirá para siempre, mientras que uno con una densidad muy alta colapsará finalmente (universo cerrado). Sin embargo, un universo con exactamente la densidad crítica, alrededor de 10^{-29} g/cm³, es descrito por el modelo de Einstein-de Sitter, que se encuentra en la línea divisoria de los otros dos extremos. La densidad media de materia que puede ser observada directamente en nuestro universo representa sólo el 20% del valor crítico. Pero como antes comentamos, puede existir, sin embargo, una gran cantidad de materia oscura que elevaría la cantidad hasta el valor crítico que es, el que parece que existe realmente.

¡Ya veremos! Si con los 10^{-29} g/cm³ = 10^{-5} átomos/cm³ + la materia oscura, el universo resultante es el ideal y equilibrado para evitar el Big Crunch que es el estado final del universo de Friedmaniano, cerrado, es de-

cir que su densidad excede a la densidad crítica, dicho universo se expande desde el Big Bang inicial, alcanza un radio máximo, y luego colapsa hacia el Big Crunch, donde la densidad de materia se volvería infinita al confluir toda la materia del universo en un punto de una energía, densidad y temperatura infinitas. ¡Una singularidad !

El final del universo, sea cual fuere la densidad crítica, nunca será bueno para la humanidad. El universo cerrado nos achicharrará en una enorme bola de fuego. El universo abierto nos congelaría con el termómetro marcando el cero absoluto (-273,16° Celsius)¹. ¿Qué más da el tipo de universo que nos acoge? El final nos lo pondrá muy difícil.

Pero el problema de la humanidad – si es que llegamos –, está antes de todo eso. Nuestro planeta que tiene unos 4.000 millones de años, contiene los materiales necesarios, la atmósfera ideal, los ríos, los océanos y los mares, las plantas y todo aquello que podamos necesitar. Pero sobre todo, tenemos la luz y el calor que nos regala el Sol. Sin el Sol, la vida no sería posible en el planeta Tierra.

Nuestra atmósfera tiene una composición en volumen de 78% de nitrógeno, un 21% de oxígeno y un 0'9% de argón, además de dióxido de carbono, hidrógeno y otros gases como vapor de agua. La distancia que nos separa del Sol, unos 150 millones de kilómetros (una Unidad Astronómica), hace que la distancia sea la ideal para que la temperatura permita la vida en el planeta. De la enorme importancia que el agua tiene para la vida casi no es necesario mencionarlo aquí, sin agua no estaríamos.

Pues muy bien, todo eso está previsto que se acabe en unos 4.500 millones de años. Cuando nuestro Sol, estrella mediana amarilla del tipo G2V, con un diámetro de 1.392.530 Km, con una masa de $1,989 \times 10^{30}$ Kg, y, que consume 4.654.000 toneladas de hidrógeno cada segundo, de las que 4.650.000 las convierte en helio y 4.000 toneladas son expulsadas al espacio

¹ El cero absoluto está referido en realidad al punto cero de la escala de temperatura termodinámica, igual a -273,16° Celsius ó -459,69° Fahrenheit. Se afirma la posibilidad de que allí cese el movimiento molecular. El cero absoluto es teóricamente la temperatura más fría posible, en la práctica es inalcanzable.

exterior en forma de luz y de calor, de lo que una pequeña parte llega a la Tierra y nos permite vivir (como expliqué antes en alguna parte anterior de este mismo trabajo).

La vida del Sol durará lo que dure su combustible nuclear, el hidrógeno, que la mantiene activa y su horno nuclear sirve de contrapunto a la enorme fuerza gravitatoria que genera su enorme masa.

Cuando se agote el hidrógeno, el Sol se resistirá a morir y fusionará helio y después oxígeno..., llegará un momento en que la estrella se convertirá en una gigante roja, su órbita aumentará tanto que se tragará el planeta Mercurio, se tragará Venus y quedará muy cerca del planeta Tierra. En ese proceso, las temperaturas de nuestro planeta habrán alcanzado miles de grados, los océanos se habrán evaporado y cualquier clase de vida desaparecerá.

La gigante roja se convertirá, mediante una enorme explosión en una nova; las capas exteriores de los materiales del Sol, serán expulsados de manera violenta al espacio y el resto, no teniendo la energía termonuclear que la contrarreste, quedaría a merced de la fuerza gravitatoria que la estrujará literalmente sobre su propio núcleo, hasta convertirla en una estrella enana blanca de gran densidad que, con el tiempo, se irá enfriando para ser un cadáver estelar.

¿Qué podrán hacer nuestros descendientes? ¿Cómo podrán escapar a situación tan terrible?

En tales circunstancias debemos poner nuestras esperanzas en que sobre todo, sabrán aprovechar “el tiempo”¹ para ir buscando soluciones que nos permitan, antes de que todo eso pueda llegar, a trasladarnos a otros mundos. Si es posible, en otro sistema solar, ya que en el nuestro sin el Sol tendríamos algo de frío.

¹ 4.000 millones de años (si antes no nos extinguimos como otras especies antes que nosotros).

¡Qué poca gente piensa en éstos graves problemas que tiene planteados, a plazo fijo, nuestra humanidad!

La capacidad humana para aprender, inventar, buscar recursos, y sobre todo, adaptarse a las circunstancias es bastante grande. A lo largo de los últimos milenios ha demostrado que puede desarrollarse y constituir sociedades que apuntan maneras de querer hacer bien las cosas (al menos sobre el papel).

Aunque después, en realidad, no se cumpla lo estipulado como sociedades democráticas y de derecho. El reparto equitativo de la riqueza es una quimera. Medio mundo se muere de desnutrición mientras el otro medio se muere por la obesidad. Los pueblos, por motivos religiosos, de ocupación de zonas ricas en recursos energéticos y por otras causas que nunca justificaron el resultado, se están matando en pleno comienzo del siglo XXI.

Con tal panorama, nadie podrá negar que la humanidad esté en pleno proceso de “humanización”. Tenemos ingenios espaciales que nos envían datos de las estrellas, robots que hacen fotos de planetas lejanos y hacen análisis de la composición del terreno de las lunas de Júpiter o Saturno, satélites orbitando la Tierra que nos facilitan las comunicaciones y nos envían los parámetros del tiempo en los rincones más alejados del globo, ordenadores que se programan para que un láser opere un ojo humano o mil maravillas más. Sin embargo, a pesar de todo eso, dentro de nosotros prevalece el instinto animal salvaje que, de manera inconsciente, nos hace desconfiar de los demás y nos empuja incluso a matar, de forma inhumana, por defender aquello que consideramos nuestro o que simplemente queremos. Y mientras que sea así, la “humanidad” no sería humana al cien por cien. Parece que el proceso continúa, aún falta bastante tiempo para alcanzar el nivel que, de manera definitiva, nos distinga de los animales irracionales. De momento, no hemos podido conquistar esa racionalidad que, por otra parte tanta falta nos hace. En algunos aspectos, nos comportamos como auténticos idiotas.

¿Cuántos problemas y programas de investigación podríamos solucionar y llevar a buen fin, si se destinara los presupuestos de todos los países del mundo gastados en armas y ejércitos a causas más nobles?

Estamos inmersos en una sociedad del miedo. Si tenemos más armas el vecino nos respetará y la paz está segura y, de paso, como somos más fuertes, nos imponemos al otro. Pero ¿qué manera de pensar es esa?

Me he salido del guión científico para explicar el motivo por el cual (guiado por el egoísmo de unos pocos), la humanidad está dejando de lado su verdadera obligación de avanzar en el sentido del conocimiento para que, llegado el momento, puedan hacer frente a los terribles problemas que tendrán que resolver, pero de momento, el más terrible de todos es el de conseguir una digna capacidad de vida para todos, es el de procurar una digna forma de vida para todos los seres del planeta y que, de manera práctica y efectiva las regiones ricas acudan en ayuda de las regiones pobres del mundo, evitando la miseria, el hambre, la enfermedad y la muerte que sin inmutarnos estamos presenciando, cada día, cómodamente sentados en nuestro confortable sofá viendo y oyendo las horribles noticias que nos llegan desde esas desgraciadas regiones. Lo más lamentable es que tales sucesos, por su cotidianidad, han pasado a ser parte de nuestras vidas, se toma como algo inevitable, que es así y nada podemos hacer.

Habrá que despertar de este terrible sueño-realidad y aunque pueda resultar doloroso, tenemos la obligación moral, ética y social de cambiar el estado actual de las cosas.

Un futuro mejor

Sin importar la procedencia familiar, ni el lugar de nacimiento, y teniendo en cuenta las capacidades personales de cada uno, todos, sin excepción, recibirá las enseñanzas más adecuadas a sus intelectos (el padre de Newton era un humilde y pequeño agricultor que ni sabía escribir).

Matemáticos, físicos, químicos, biólogos, astrónomos, o simples personas de factorías, cada uno será lo que quiera ser, lo que su mente le permita y sus deseos les exija. También escritores, músicos pintores o actores.

Ahora, cada uno de nosotros (por lo general) tiene lo que ha podido conseguir, no lo que verdaderamente quería. ¿Cuántos magníficos médicos, profesores, ingenieros o físicos no se habrán perdido por falta de apoyo?

Tenemos que poner los medios que sean necesarios para que todos podamos ser lo que realmente queremos ser, una de las bases de la felicidad está en el principio de realizar aquello que más nos atrae.

¿Cuántas veces hemos oído decir... ¡me gusta tanto lo que hago que, más que un trabajo es un disfrute!?

Es totalmente cierto, el que hace lo que le gusta no siente el paso del tiempo, se podría pasar horas y horas inmerso en su trabajo, fascinado con lo que llena sus sentidos, inmerso en su mundo particular, sin que nada le pueda distraer, se aísla del entorno y consigue la felicidad personal a través de lo que hace.

Está claro que la calidad, en todos los aspectos, estará presente allí donde se esté desarrollando una actividad acorde con los deseos de las personas que la llevan a cabo. Quien desarrolla un trabajo no deseado se limita a cumplir de cualquier manera, está todo el rato mirando el reloj deseando que la jornada finalice. Por el contrario, quien hace aquello que de verdad le gusta, lo hará a conciencia, buscará la perfección y la belleza en lo que hace, y, mientras lo hace, estará tan inmerso en su mundo que, lo único que prevalece, es su trabajo.

Pues bien, ahí tendremos que llegar algún día para alcanzar el nivel requerido para solucionar los problemas que se nos vienen encima en el futuro. ¿Que aún falta mucho? No tanto como a simple vista parece, el tiempo es inexorable, y pasa, pasa, pasa y no deja de pasar. Me parece ayer mismo cuándo con 20 años hice mi primera oposición.

Cuando escribo, mis pensamientos recorren los caminos más inesperados, y relaciono cosas que a simple vista nadan tienen que ver con el tema que estoy tratando, pero no es así, todo, de alguna manera, está conectado.

Nuestros cerebros son tan complejos que se podrían definir como la máquina pensante más poderosa del universo (más adelante, en la parte que he llamado *La expansión del Universo – La expansión de la mente*, hablaremos de ello).

El avance del saber y de los logros científicos serían más y mejores si los gobiernos les dedicaran atención y presupuesto, al tiempo que se procurara enseñar a los niños de hoy para no tener que castigar a los hombres delincuentes de mañana.

Pero retomemos el tema que nos ocupa y volvamos a las transformaciones que nos esperan en el futuro. Aunque algunos colaboren poco, el avance es irreversible, el conocimiento es insaciable, siempre quiere más y empujado continuamente por la curiosidad prosigue su camino incansable para abrir puertas cerradas que tienen las respuestas que necesitamos para seguir avanzando.

Si calentamos gases de oxígeno e hidrógeno por encima de 3.000° K hasta que se descomponen los átomos de hidrógeno y oxígeno, los electrones se separan de los núcleos y tenemos ahora un plasma (un gas ionizado a menudo llamado el cuarto estado de la materia, después de los gases, líquidos y sólidos). Aunque un plasma no forma parte de la experiencia común, podemos verlo cada vez que miramos al Sol. De hecho, el plasma es el estado más común de la materia en el universo.

Sigamos ahora calentando el plasma hasta 1.000 millones de grados Kelvin, hasta que los núcleos de hidrógeno y oxígeno se descomponen, y tenemos un “gas” de neutrones y protones individuales, similar al interior de una estrella de neutrones.

Si calentamos aun más el gas de nucleones hasta 10.000 millones grados K, estas partículas subatómicas se convertirían irremisiblemente en quarks disociados. Ahora tenemos un gas de quarks y leptones (los electrones y neutrinos).

Está claro que, si calentamos este gas de quarks y leptones, aún más, la fuerza electromagnética y electrodébil se unen. Aparecen simetrías antes ausentes y las fuerzas electrodébil y fuerte se unifican y, aparecen las simetrías superiores GUT [SU (5), O (10), o E (6)].

Finalmente, a la fabulosa temperatura de 10^{32} K, la gravedad se unifica con la fuerza GUT, y aparecen todas las simetrías de la supercuerda decimensional.

Hemos vuelto, con el proceso descrito, a la situación reinante en los primeros instantes del Big Bang, la simetría era total y existía una sola fuerza. Más tarde, el universo recién nacido y en expansión, comenzó a enfriarse, la simetría se rompió para crear las cuatro fuerzas de la naturaleza que hoy nos gobiernan y lo que al principio eran quarks sueltos que formaban un plasma opaco, se juntaron para formar protones y neutrones que unidos, crearon los núcleos que al ser rodeados por los electrones conformaron los átomos que más tarde creó la materia tal como ahora la conocemos, haciendo el universo transparente y apareciendo la luz.

Todo este relato anterior no es gratuito, lo expongo como una muestra de cómo pueden evolucionar las cosas de acuerdo a las condiciones reinantes y a los hechos y circunstancias que concurran. He contado lo que sucedería a un poco de agua que se calienta de manera continua. Pasa por todos los procesos de su evolución hacia atrás hasta llegar a lo que fue en origen: quarks y leptones.

De la misma manera, nuestra civilización, no puede dejar de avanzar en el conocimiento a medida que va pasando el tiempo. Nuestras necesidades (cada vez más exigentes) nos llevan a inventar nuevas tecnologías y a producir artículos de consumo más y más sofisticados que hacen más fácil y cómoda la vida, eliminan las distancias, acercan las conexiones y globaliza el mundo.

Ahora se habla de operaciones delicadas que se realizan sin ningún riesgo mediante láseres que están planificados por ordenador para intervenir

con precisión milimétrica. Se avanza en lo que denominamos nanotecnología, una maravilla de artilugios microscópicos que permitirá (entre otras muchas cuestiones), colocar un fármaco en el lugar exacto de nuestro organismo, el dañado, evitando así (como ocurre ahora) que partes sanas de nuestro cuerpo soporte fármacos que ingerimos para curar partes dañadas pero que, no podemos evitar que incida de manera generalizada en todas partes. Podemos investigar en computación cuántica (teoría cuántica de la luz) que permitirá la revolución tecnológica de crear y transmitir información y crear ordenadores que permitirán cálculos a velocidades ahora imposibles en ordenadores de plasma (Juan Ignacio Cirac, físico español de 41 años, director del Departamento de teoría del Instituto Max Planck, es el autor y responsable de estos estudios). Se investiga en la energía de fusión que estará lista para cuando en los próximos cincuenta años, cuando sea difícil extraer gas y petróleo, se pueda suministrar la demanda mundial que está en aumento creciente.

El que tenga la fortuna de vivir a finales de este siglo XXI y a comienzos del XXII, podrá disfrutar de maravillas ahora impensables. A mediados del siglo XXII, por ejemplo, comenzará a ser utilizado otro medio de transporte que, poco a poco, desbancará al automóvil terrestre que ahora abarrostan las calles y carreteras.

Para desplazarnos por la ciudad, por las calles, tendremos aceras móviles que nos llevaran a cualquier parte. Traslados más rápidos serán cosa de vagones subterráneos o de naves voladores que suplirán a los coches y desterrará, casi por completo, los accidentes de tráfico que nuestro sistema actual de transporte nos hace padecer.

También en los desplazamientos largos se verá un cambio radical. Modernas naves súper rápidas nos llevarán de un continente a otros lejanos en la décima fracción de tiempo que emplean los actuales aviones.

La carrera espacial, en el 2.250, será un hecho tangible y modernas naves tripuladas cruzaran el vacío estelar de nuestro sistema solar visitando las colonias terrestres de Marte, Europa, Titán, Ganímedes o en las minas de Azufre de Io.

Para entonces, modernas naves surcarán el espacio exterior camino de estrellas lejanas, ocupadas por sofisticados robots que irán enviando al planeta Tierra datos y fotografías del cosmos que permitirá confeccionar rutas y mapas para próximos viajes tripulados en aeronaves espaciales que utilizarán nuevas técnicas de desplazamiento basada en la curvatura del espacio-tiempo que, permitirá por vez primera, vencer o mejor burlar la barrera de la velocidad de la luz sin traspasarla.

La luz

La luz es importante en nuestras vidas, tan importante que hasta hemos inventado luz artificial para alumbrar nuestras casas y ciudades y escapar de la fea oscuridad. Es una forma de radiación electromagnética a la que el ojo humano es sensible y sobre la cual depende nuestra conciencia visual del universo y sus contenidos.

La velocidad finita de la luz fue sospechada por muchos experimentadores en óptica, pero fue establecida en 1.676, cuando O. Roemer (1.644 – 1.710) la midió. Sir Isaac Newton (1.642 – 1.727) investigó el espectro óptico y utilizó los conocimientos existentes para establecer una primera teoría corpuscular de la luz, en la que era considerada como un chorro de partículas que provocaban perturbaciones en el “éter” del espacio.

Sus sucesores adoptaron los corpúsculos, pero ignoraron las perturbaciones con forma de onda hasta que Thomas Young (1.773 – 1.829) redescubrió la interferencia de la luz en 1.801 y mostró que una teoría ondulatoria era esencial para interpretar este tipo de fenómenos. Este punto de vista fue adoptado durante la mayor parte del siglo XIX y permitió a James Clerk Maxwell (1.831 – 1.879) mostrar que la luz forma parte del espectro electromagnético. En 1.905, Albert Einstein (1.879 – 1.955) demostró que el efecto fotoeléctrico sólo podía ser explicado con la hipótesis de que la luz consiste en un chorro de fotones de energía electromagnética discretos, esto es, pequeños paquetes de luz que él llamó *fotones* y que Max Planck llamó

cuanto. Este renovado conflicto entre las teorías ondulatoria y corpuscular fue gradualmente resuelto con la evolución de la teoría cuántica y la mecánica ondulatoria. Aunque no es fácil construir un modelo que tenga características ondulatorias y cospusculares, es aceptado, de acuerdo con la teoría de Bohr de la complementariedad, que en algunos experimentos la luz parecerá tener naturaleza ondulatoria, mientras que en otros parecerá tener naturaleza corpuscular. Durante el transcurso de la evolución de la mecánica ondulatoria también ha sido evidente que los electrones y otras partículas elementales tienen propiedades de partícula y onda.

El fotón es una partícula con masa en reposo nula consistente en un cuanto de radiación electromagnética (cuanto de luz). El fotón también puede ser considerado como una unidad de energía igual a hf , donde h es la constante de Planck y f es la frecuencia de radiación en hertzios. Los fotones viajan a la velocidad de la luz, es decir, a 299.792.458 metros por segundo. Son necesarios para explicar (como dijo Einstein) el efecto fotoeléctrico y otros fenómenos que requieren que la luz tenga carácter de partícula unas veces y de onda otras.

El conocimiento de la luz (los fotones), ha permitido a la humanidad avances muy considerables en electrónica que, al sustituir los electrones por fotones (fotónica) se han construido dispositivos de transmisión, modulación, reflexión, refracción, amplificación, detección y guía de la luz. Algunos ejemplos son los láseres y las fibras ópticas. La fotónica es muy utilizada en telecomunicaciones, en operaciones quirúrgicas por láseres, en armas de potentes rayos láser y... en el futuro, en motores fotónicos que, sin contaminación, moverán nuestras naves a velocidades súper-lumínicas.

El electrón, otra partícula elemental importantísima para todos nosotros y para el universo mismo, está clasificado en la familia de los leptones, con una masa en reposo (símbolo m_e) de notación numérica igual a $9'109\ 3897\ (54)\times 10^{-31}$ Kg y una carga negativa de notación numérica igual a $1'602\ 177\ 33\ (49)\times 10^{-19}$ coulombios. Los electrones están presentes en todos los átomos en agrupamientos llamados capas alrededor del núcleo; cuando son arrancados del átomo se llaman electrones libres. La antipartícula del electrón es el positrón cuya existencia fue predicha por el físico Paúl Dirac. El

positrón es un hermano gemelo del electrón, a excepción de la carga que es positiva.

El electrón fue descubierto en 1.897 por el físico Joseph John Thomson (1.856 – 1.940). El problema de la estructura (si es que la hay) del electrón no está resuelto; nuestras máquinas no tienen la potencia suficiente para poder llegar, en el micromundo, a distancias infinitesimales de ese calibre. Si el electrón se considera como una carga puntual su auto energía es infinita y surgen dificultades de la ecuación de Lorentz-Dirac.

Es posible dar al electrón un tamaño no nulo con un radio r_0 llamado el radio clásico del electrón, dado por $r_0 = e^2/(mc^2) = 2'82 \times 10^{-13}$ cm, donde e y m son la carga y la masa, respectivamente, del electrón y c es la velocidad de la luz. Este modelo también tiene problemas como la necesidad de postular las tensiones de Poincaré.¹

Ahora se cree que los problemas asociados con el electrón deben ser analizados utilizando electrodinámica cuántica en vez de electrodinámica clásica.

El electrón es uno de los miembros de la familia de leptones:

electrón, e
muón, μ
tau, τ

$\left. \right\} \text{Con sus neutrinos asociados}$

Las tres partículas, electrón, muón y tau, son exactas, excepto en sus masas. El muón es 200 veces más masivo que el electrón. La partícula tau es

¹ Fuerzas no eléctricas postuladas para dar estabilidad a un modelo del electrón, evitando las dificultades que surgen al postular el electrón como una carga puntual, diciendo así que el electrón es una distribución de carga de radio no nulo. Aquí entra en Tensión de Poincaré.

unas 35.600 veces más masiva que el electrón. Los leptones interaccionan por la fuerza electromagnética y la interacción débil. Para cada lepton hay una antipartícula equivalente de carga opuesta (como explicamos antes, el positrón es la antipartícula del lepton electrón). Los antineutrinos, como los neutrinos, no tienen carga.

La interacción electromagnética es la responsable de las fuerzas que controlan las estructuras atómicas, las reacciones químicas y todos los fenómenos electromagnéticos. Puede explicar las fuerzas entre las partículas cargadas pero, al contrario que las interacciones gravitacionales, pueden ser tanto atractivas como repulsivas (probar con imanes como las fuerzas desiguales y contrarias – positiva/negativa – se atraen, mientras que cargas iguales – negativa/negativa o positiva/positiva – se repelen).

Algunas partículas neutras se desintegran por interacciones electromagnéticas. La interacción se puede interpretar tanto como un campo clásico de fuerzas (Ley de Coulomb) como por el intercambio de fotones virtuales. Igual que en las interacciones gravitatorias, el hecho de que las interacciones electromagnéticas sean de largo alcance significa que tienen una teoría clásica bien definida dadas por las ecuaciones de Maxwell. La teoría cuántica de las interacciones electromagnéticas se describen (como antes dije) con la electrodinámica cuántica. Esta fuerza tiene una partícula portadora, el fotón.

Todos oímos con frecuencia la palabra “electrónica”, pero pocos pensamos que estamos hablando de electrones en diseños de dispositivos de control, comunicación y computación, basándose en el movimiento de los electrones en circuitos que contienen semiconductores, válvulas termoiónicas, resistencias, condensadores y bobinas y en la electrónica cuántica¹ aplicada a la óptica, se han conseguido verdaderas maravillas que han facilitado grandes avances tecnológicos de distintas aplicaciones como la investigación o la medicina y la cirugía, entre otros.

¹ Fotónica.

Este pequeño comentario sobre la electrónica y la fotónica que antes habéis leído, demuestra cómo el conocimiento y el dominio sobre estos dos pequeñísimos objetos, el *fotón* y el *electrón*, nos ha dado unos beneficios increíbles.

Existen otras partículas aún más diminutas que, en realidad, podríamos decir que son los auténticos ladrillos de la materia, los objetos más pequeños que la conforman: los quarks.

En la antigua Grecia, sabios como Demócrito, Empédocles, Thales de Mileto o Aristóteles, ya sospecharon de la existencia de pequeños objetos que se unían para formar materia. Demócrito de Abdera decía que todo estaba formado por pequeños objetos invisibles e indivisibles a los que llamaba a-tomo o átomos (en griego significa “indivisibles”).

Pasaron muchos años de controversia sobre la existencia de los átomos y, en 1.803, el químico y físico británico John Dalton señaló que los compuestos físicos se combinaban para, en ciertas proporciones, formar agrupamiento de átomos para formar unidades llamadas moléculas.

En 1.905 llegó Einstein para dar una de las evidencias físicas más importante de la existencia de los átomos, al señalar que el fenómeno conocido como movimiento browniano – el movimiento irregular, aleatorio de pequeñas partículas de polvo suspendidas en un líquido – podía ser explicado por el efecto de las colisiones de los átomos del líquido con las partículas de polvo.

Por aquella época ya había sospechas de que los átomos no eran, después de todo, indivisibles. Hacía varios años que J. J. Thomson, de Cambridge, había demostrado la existencia de una partícula material, el electrón, que tenía una masa menor que la milésima parte de la masa del átomo más ligero. Se comprendió que estos electrones debían provenir de los átomos en sí. Y, en 1.911, el físico británico Ernest Rutherford mostró finalmente que los átomos de la materia tienen verdaderamente una estructura interna: están

formados por un núcleo extremadamente pequeño y con carga positiva, alrededor del cual gira un cierto número de electrones.

En 1.932, un colega de Rutherford, James Chadwick, descubrió también en Cambridge que el núcleo contenía otras partículas, llamadas neutrones, que tenían casi la misma masa del protón que tiene una carga positiva igual en magnitud a la del electrón que es negativa, con lo cual, como todos los núcleos tienen el mismo número de protones que de electrones hay en el átomo, el equilibrio de éste queda así explicado: carga positiva similar a carga negativa = a estabilidad en el átomo.

Durante mucho tiempo se creyó que los protones y neutrones que conforman el núcleo de los átomos eran partículas “elementales”, pero experimentos en los aceleradores de partículas en los que colisionaban protones con otros protones o con electrones a velocidades cercanas a la de la luz indicaron que, en realidad, estaban formados por partículas aun más pequeñas. Estas partículas fueron llamadas *quarks* por el físico de Caltech, el norteamericano, Murray Gell-Mann, que ganó el Nobel en 1.969 por su trabajo sobre dichas partículas y el modelo del óctuple camino.

La palabra quark se supone que debe pronunciarse como *quart* (“cuarto”), pero con una k al final en vez de una t, pero normalmente se pronuncia de manera que rima con lark (“juerga”).

Existen un cierto número de quarks:

- Up (arriba),
- Down (abajo),
- Strange (extraño),
- Charmed (encantado),
- Bottom (fondo) y
- Top (cima).

Los quarks son mucho más pequeños que la longitud de onda de la luz visible y, por lo tanto, no paseen ningún color en el sentido normal de la palabra. Así, los colores que le asignan los físicos están referidos a cuestiones imaginativas para nombrar a las nuevas partículas a las que asignar colores entre el rojo, verde y azul.

Ahora sabemos que un protón y un neutrón están constituidos por quarks, uno de cada color. Un protón contiene dos quarks up y un quark down; un neutrón contiene dos down y uno up. Se pueden crear partículas constituidas por los otros quarks (strange, charmed, bottom y top), pero todas ellas poseen una masa mucho mayor y decaen muy rápidamente en protones y neutrones.

Actualmente sabemos que ni los átomos, ni los protones y neutrones, dentro de ellos, son indivisibles. La cuestión que se nos plantea es: ¿cuáles son las verdaderas partículas elementales, los ladrillos básicos con los que están hechas todas las cosas, desde una gota de rocío, a una rosa, pasando por nosotros mismos o una inmensa galaxia?

Pero eso sí, tengo muy clara una cuestión:

Después de lo anteriormente explicado está claro que tenemos que dominar lo muy pequeño para poder dominar lo muy grande.

El dominio (relativo) del universo atómico, como hemos visto antes, nos ha reportado grandes beneficios. Sin embargo, nos queda aún mucho camino por recorrer.

El Modelo Estándar de la física nos explica (con sus defectos) las partículas elementales que conforman la materia: quarks, hadrones, leptones, etc. También nos explica las fuerzas que interaccionan con estas partículas: la nuclear fuerte y la débil, el electromagnetismo y la gravedad. Veamos alguna característica y para qué sirven dichas fuerzas, así como su alcance y potencia.

Fuerza nuclear fuerte

Su alcance en metros: $< 3 \times 10^{-15}$, se dice que la propiedad de los quarks conocida como libertad asintótica hace que la interacción entre ellos sea débil cuanto más cerca están los unos de los otros, están confinados con los gluones en un radio o región de: $r \approx hc/\Lambda \approx 10^{-13}$ cm.

Al contrario de las otras fuerzas, esta crece con la distancia. Tiene una fuerza relativa de 10^{41} . Es la responsable de mantener unidos a los protones y neutrones en el núcleo atómico.

La partícula portadora de la fuerza es el gluón (*glue* en inglés, es pegamento) que en número de ocho, actúa como un espeso pegamento en forma de muelle que, cuanto más se estira más fuerza genera.

La interacción nuclear fuerte es la mayor, la de más potencia de las cuatro fuerzas fundamentales, es 10^2 veces mayor que la fuerza electromagnética, aparece sólo entre los hadrones (protones, neutrones, etc). Como dijimos al principio, actúa a tan corta distancia como 10^{-15} metros, mediado por los mesones virtuales que llamamos gluones.

Fuerza nuclear débil

Su alcance es de $< 10^{-15}$ metros, su fuerza relativa de 10^{28} , intervienen en la radiación radiactiva, ocurre entre leptones (electrones, muones, tau y los correspondientes neutrinos asociados) y en la desintegración de los hadrones, la desintegración beta de las partículas y núcleos. Está mediada por el intercambio de partículas virtuales, llamadas bosones vectoriales intermedios: en este caso, las partículas W^+ , W^- y Z^0 . Esta interacción se describe por la teoría electrodébil que la unifica con las interacciones electromagnéticas.

Las interacciones electromagnéticas

Tiene un alcance infinito, su fuerza relativa es de 10^{39} , es la responsable de las fuerzas que controlan la estructura atómica, reacciones químicas y todos los fenómenos electromagnéticos. Unen los átomos para formar moléculas, propaga la luz, las ondas de radio y otras formas de energías.

Puede explicar las fuerzas entre las partículas cargadas, pero al contrario de las interacciones gravitacionales, puede ser tanto atractiva como repulsiva.

Algunas partículas neutras se desintegran por interacciones electromagnéticas. La interacción se puede interpretar tanto como un campo clásico de fuerzas (ley de Coulomb) como por el intercambio de unos fotones virtuales.

Igual que en las interacciones gravitatorias, el hecho de que las interacciones electromagnéticas sean de largo alcance significa que tienen una teoría clásica bien definida dada por las ecuaciones de Maxwell.

La teoría cuántica de las interacciones electromagnéticas, se describen con la electrodinámica cuántica, que es una forma sencilla de teoría gauge.¹

La interacción gravitacional

La interacción gravitacional, conocida como la fuerza de gravedad, es unas 10^{40} veces más débil que la interacción electromagnética; es la más débil de todas las fuerzas de la naturaleza.

¹ Cualquiera de las teorías cuánticas de campos creadas para explicar las interacciones fundamentales. Una teoría gauge requiere un grupo de simetría para los campos y los potenciales (el grupo gauge). En el caso de la electrodinámica, el grupo es abeliano, mientras que las teorías gauge para las interacciones fuerte y débiles utilizan grupos no abelianos. Esta diferencia explica por qué la electrodinámica cuántica es una teoría mucho más simple que la cronodinámica cuántica, que describe las interacciones fuertes y la teoría electro débil. En la gravedad cuántica, el grupo es mucho más complicado aún que los grupos gauge.

Su alcance, como el de la fuerza electromagnética, es infinito, y su fuerza relativa es de 1. Su función es actuar entre los cuerpos masivos sobre los que ejerce una fuerza atractiva en función de sus masas y de las distancias que los separa, mantienen unidos los planetas alrededor del Sol, las estrellas en las galaxias y nuestros pies pegados a la superficie de la Tierra.

La interacción puede ser comprendida utilizando un campo clásico en el que la intensidad de la fuerza disminuye con el cuadrado de la distancia entre los cuerpos interaccionantes (Ley de Newton).

El hipotético cuanto de gravitación, el bosón denominado gravitón, es también un concepto útil en algunos contextos. En la escala atómica, la fuerza gravitacional es despreciablemente débil, pero a escala cosmológica, donde las masas son enormes, es inmensamente importante para mantener el equilibrio entre los componentes del universo.

Sin la fuerza de gravedad, el universo sería un completo caos, todos los planetas, estrellas y demás objetos cosmológicos estarían vagando sin rumbo por el vacío estelar y las colisiones serían lo cotidiano.

Debido a que las interacciones gravitacionales son de largo alcance, hay una teoría macroscópica bien definida, que es la relatividad general de Einstein.

Por el momento no hay teoría cuántica de la gravedad que sea satisfactoria. Es posible que la teoría de supercuerdas, en su versión más avanzada conocida como teoría M de Edward Witten, nos pueda dar una teoría cuántica de la gravedad que sea consistente y nos explique cuestiones que ahora no tienen respuestas.

Estas cuatro fuerzas fundamentales que acabo de describir para todos ustedes son las fuerzas que rigen en nuestro universo. Son las fuerzas que interaccionan con toda la materia y el comportamiento de ésta viene dado

por dichas interacciones. El universo es como es porque las fuerzas son las que son; si alguna de estas fuerzas fueran mínimamente distintas, si la carga o la masa del electrón variaran sólo una millonésima, el universo sería otro muy distinto y, seguramente, nosotros no estaríamos aquí para contarla.

Todo el conjunto está sometido a un equilibrio que, entre otras cuestiones, hizo posible la existencia de vida inteligente en nuestro universo, al menos, que sepamos, en un planeta insignificante de un sistema solar insignificante situado en la periferia de una de los cientos de miles de millones de galaxias que pueblan el universo. Estadísticamente hablando, sería casi imposible que no existieran otros muchos planetas, en otros sistemas solares, ocupados por seres inteligentes similares o distintos a nosotros. El problema está en que podamos coincidir en el tiempo y en que podamos, de alguna manera, vencer las distancias que nos separan.

Hay que pensar en las especies que a lo largo de millones de años se han extinguidos en nuestro planeta. Hace ahora algo más de 65 millones de años que se extinguieron los dinosaurios, que reinaron en nuestro planeta durante 150 millones de años. Podemos decir entonces que nuestra especie es una recién llegada al planeta y, aunque es la primera (así parece ser) que tiene conciencia de ser y algo de “racionalidad”, no sabemos por cuánto tiempo estaremos aquí, si nos extinguiremos antes de tener la oportunidad o los medios de contactar con otras inteligencias, o si nuestra manera de ser no nos lleva a la autodestrucción. Pero somos jóvenes, nuestra presencia más rudimentaria en el planeta (el origen) data de sólo 3 millones de años.

De todas las maneras estamos obligados a continuar avanzando en el conocimiento del universo, de las fuerzas que lo rigen y de la materia y el espacio que lo conforma. En tal empresa están ocupados muchos equipos de científicos, son físicos y matemáticos, astrónomos y astrofísicos, cosmólogos y otros más que tratan de desvelar los secretos muy bien guardados de la naturaleza.

Es preciso encontrar una teoría unificada de todas las fuerzas fundamentales de la naturaleza que incorpore una especie de supersimetría que permita unificar, por fin, la mecánica cuántica con la relatividad general (el

universo de lo muy pequeño con el universo de lo muy grande), el mundo del átomo con el mundo de las galaxias.

Esa teoría puede ser la supercuerdas que está situada en una escala de longitud de unos 10^{-35} metros y, como distancias muy cortas están asociadas a energías muy altas, tienen una escala de energía de 10^{19} GeV, que está muy por encima de la energía que cualquier acelerador de partículas en la actualidad pueda alcanzar, o que con la tecnología actual podamos construir.

Las cuerdas asociadas con los bosones sólo son consistentes como teorías cuánticas en un espacio-tiempo de 26 dimensiones; aquellas asociadas con las fermiones sólo lo son en un espacio-tiempo de 10 dimensiones. Se piensa que las cuatro dimensiones microscópicas surgen por un mecanismo de Kaluza-Klein, estando las restantes dimensiones “enrolladas”, “compactificadas” para ser muy pequeñas.

Una de las características más atractivas de la teoría de supercuerdas es que dan lugar a partículas de espín 2, que son identificadas con los gravitones (no encontrados aún). Por tanto, una teoría de supercuerdas automáticamente contiene una teoría cuántica de la gravedad (se unen la mecánica cuántica de Planck, con la relatividad general de Einstein).

Se piensa que las supercuerdas están libres de infinitos que no pueden ser eliminados por renormalización, que plagan todos los intentos de construir una teoría cuántica de campos que incorpore la gravedad. Hay algunas evidencias de que la teoría de supercuerdas está libre de estos infinitos, pero no tenemos aún una prueba definitiva.

Aunque no hay evidencia directa de las supercuerdas, algunas de sus características son compatibles con los hechos experimentales observados en las partículas elementales, como la posibilidad de que las partículas no respeten paridad, lo que en efecto ocurre en las interacciones débiles.

La cuerda se presenta para reemplazar la idea de partícula elemental puntual (usada en teoría cuántica de campos) por una línea o trozo que se

puede dividir en dos iguales, o un lazo (una cuerda cerrada). Los estados de una partícula pueden ser producidos por ondas estacionarias a lo largo de esta cuerda. La combinación de la teoría de cuerdas y la supersimetría da lugar a la teoría de supercuerdas.

¿Por qué cuerdas?

“La teoría de cuerdas es física del siglo XXI, que cayó accidentalmente en el siglo XX.”

Edward Witten

Edward Witten, del Instituto para Estudios Avanzados de Princeton, New Jersey, domina el mundo de la física teórica. Podríamos decir que Witten, es el que tira del pelotón, el más brillante físico de altas energías que marca las tendencias actuales en la comunidad científica de la física teórica y el que ha sido capaz de plantear la versión más moderna de la teoría de supercuerdas, conocida como teoría M.

Algunos se han atrevido a compararlo con Einstein. Ha ganado la medalla Field de 1.990, una especie de Premio Nobel de las matemáticas. Dice su mujer (también fisico de profesión), que Witten permanece sentado con la mirada perdida en el horizonte a través de una ventana, manipulando y reordenando grandes conjuntos de complejas ecuaciones en su mente. Su esposa señala: “*Nunca hace cálculos excepto en su mente. Yo llenaría páginas con cálculos antes de llegar a comprender lo que está haciendo, pero Edward sólo se sienta para calcular un signo menos o un factor dos*”. Witten dice: “*La mayoría de las personas que no han estudiado física probablemente piensan que lo que hacen los físicos es cuestión de cálculos increíblemente complicados, pero eso no es realmente lo esencial. Lo esencial es que la física trata de conceptos, busca comprender los conceptos, los principios mediante los cuales opera el mundo, el universo*”.

Así que Witten se ha enfrascado en la nada fácil tarea de unir la mecánica cuántica con la gravedad mediante la teoría de supercuerdas que, según él, nos puede incluso descubrir el instante mismo de la creación. El aspecto clave de esta teoría, el factor que le da su potencia tanto como su unicidad, es su geometría inusual. Las cuerdas (como ya dije antes) pueden vibrar autoconsistentemente sólo en 10 y 26 dimensiones.

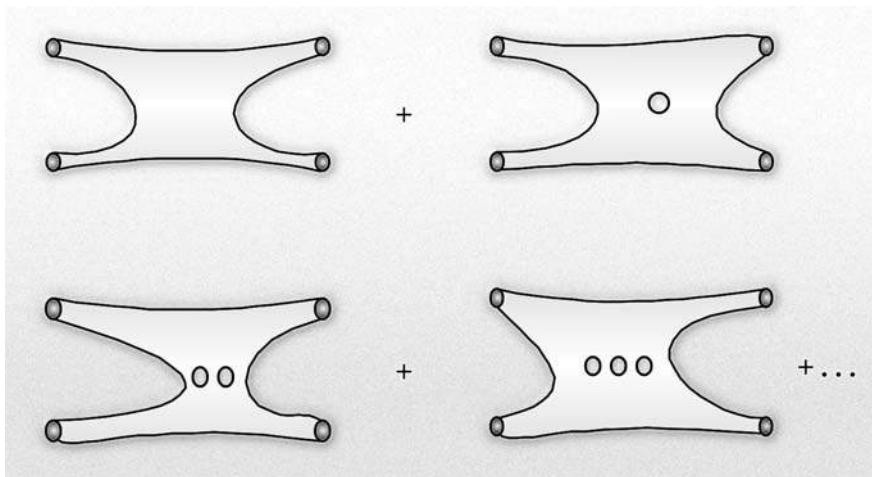
La esencia de la teoría de cuerdas consiste en que puede explicar la naturaleza de la materia y del espacio-tiempo; es decir, la naturaleza del universo entero. Esta teoría responde a una serie de cuestiones enigmáticas acerca de las partículas, tales como por qué existen tantas en la naturaleza. Cuanto más profundamente sondeamos en la naturaleza de las partículas subatómicas, más partículas aparecen. Existen varios centenares de ellas y sus propiedades llenan volúmenes y volúmenes. Incluso con el Modelo Estándar tenemos un desconcertante número de “partículas elementales”. La teoría de cuerdas responde a esta pregunta porque la cuerda, alrededor de 100 trillones de veces más pequeña que un protón, esta vibrando; cada modo de vibración representa una resonancia o partícula distinta. La cuerda es tan increíblemente pequeña que, a cierta distancia, una resonancia de una cuerda y una partícula son indistinguibles. Sólo cuando ampliamos de alguna forma la partícula podemos ver que no es en absoluto un punto, sino un modo de una cuerda vibrante.

Según la teoría de cuerdas, la materia no es nada más que las armonías creadas por cuerdas vibrantes. Del mismo modo que se puede componer un número infinito de armonías para el violín, puede construirse un número infinito de formas de materia a partir de cuerdas vibrantes. Esto explica la riqueza de las partículas en la naturaleza. Análogamente, las leyes de la física pueden ser comparadas a las leyes de la armonía permitida en la cuerda. El propio universo, compuesto de innumerables cuerdas vibrantes, sería entonces comparable a una sinfonía.

La teoría de cuerdas explica la naturaleza de las partículas y del espacio-tiempo. Cuando una cuerda se mueve en el espacio-tiempo, ejecuta un conjunto de complicados movimientos. La cuerda puede, a su vez, romperse en cuerdas más pequeñas o colisionar con otras cuerdas para formar cuerdas

más largas. El punto clave es que todas estas correcciones cuánticas o diagramas cerrados son finitos y calculables. Esta es la primera teoría cuántica de la gravedad en la historia de la física que tiene correcciones cuánticas finitas (recordemos que todas las teorías previas conocidas – incluyendo la teoría original de Einstein, la de Kaluza-Klein y la teoría de supergravedad – fallaban en este criterio clave).

Lazos



En la teoría de cuerdas, la fuerza gravitatoria se representa mediante el intercambio de cuerdas cerradas, que barren tubos en el espacio-tiempo. Incluso si usamos una serie infinita de diagramas con un gran número de agujeros, nunca aparecen infinitos en la teoría, dándonos una teoría de gravedad cuántica.

Cuando se calcularon por primera vez las ligaduras que impone la cuerda sobre el espacio-tiempo, los físicos quedaron sorprendidos al descubrir que las ecuaciones de Einstein emergían de la cuerda. Esto era notable; sin suponer ninguna de las ecuaciones de Einstein, los físicos asombrados descubrían que ellas emergían de la teoría de cuerdas como por encanto.

Las ecuaciones de Einstein ya no resultaban ser fundamentales; podían derivarse de la teoría de cuerdas de la que formaban parte. Einstein pensaba que la geometría por sí sola explicaría un día todas las propiedades de la materia; para él la materia era sólo un nudo o vibración del espacio-tiempo, ni más ni menos. Los físicos cuánticos, por el contrario, pensaban de manera distinta a la de Einstein, es decir, que el tensor métrico de Riemann-Einstein podía convertirse en un gravitón, el paquete discreto de energía que transporta la fuerza gravitatoria y, en este preciso punto, aparece la cuerda, que según todos los indicios puede ser el “eslabón perdido” entre la mecánica cuántica y la relatividad general, el que permita la unificación entre ambas teorías de manera natural y complete el círculo de una teoría de “todo” que explique el universo, la materia y el espacio-tiempo con todas sus constantes universales y las fuerzas de la naturaleza que lo rigen todo.

La teoría de cuerdas, por consiguiente, es suficientemente rica para explicar todas las leyes fundamentales de la naturaleza. Partiendo de una simple teoría de una cuerda vibrante, uno puede extraer la teoría de Einstein, la teoría de Kaluza-Klein, la supergravedad, el Modelo Estándar e incluso una teoría GUT (Gran Teoría Unificada). Parece un milagro que partiendo de unos argumentos puramente geométricos acerca de una cuerda, se pueda desarrollar totalmente por derivación la física de los últimos dos mil años. Todas las teorías discutidas hasta ahora están incluidas automáticamente en la teoría de cuerdas.

En 1984, John Schwarz del Instituto Tecnológico de California y su colaborador Michael Green del Queen Mary's Collage de Londres, demostraron que la teoría de cuerdas podía ser autoconsistente, lo que desencadenó una carrera de los físicos más jóvenes para resolver esta teoría.

El concepto de órbitas, por ejemplo, se da repetidamente en la naturaleza en diferentes variaciones; desde la obra de Copérnico, las órbitas han proporcionado un tema esencial que se repite constantemente a lo largo de la naturaleza en diferentes variaciones, desde las galaxias más grandes hasta los átomos y las más diminutas partículas subatómicas, tanto las unas como las otras describen órbitas en su deambular por el espacio. De manera análoga, los campos de Faraday se han mostrado como uno de los temas favori-

tos de la naturaleza. Los campos pueden describir el magnetismo de la naturaleza de las galaxias y la gravedad, o pueden describir la teoría electromagnética de Maxwell, la teoría métrica de Riemann-Einstein, los campos de Yang-Mills encontrados en el Modelo Estándar, y así todas las formas conocidas de materia y energía han sido expresadas en términos de teoría de campos. Las estructuras, entonces, como los temas y variaciones en una sinfonía, son repetidas constantemente.

¿Pero las cuerdas? Las cuerdas no parecen ser una estructura preferida por la naturaleza en el diseño de los cielos. No vemos cuerdas en el espacio exterior. De hecho no las vemos por ninguna parte.

Un momento de reflexión, sin embargo, revelará que la naturaleza ha reservado un papel especial a las cuerdas, como un ladrillo básico para otras formas. Por ejemplo, la característica esencial de la vida en el planeta Tierra es la molécula de ADN similar a una cuerda, que contiene la información compleja y el código de la propia vida. Para construir la materia de la vida, tanto como la materia subatómica, las cuerdas parecen ser la respuesta perfecta. En ambos casos, queremos encerrar una gran cantidad de información en una estructura reproducible y relativamente simple. La característica distintiva de una cuerda es que es una de la forma más compacta de almacenar grandes cantidades de datos de un modo en que la información pueda ser replicada.

Para los seres vivos la naturaleza utiliza la doble cadena de la molécula de ADN, que se separa y forma copias duplicadas de cada una de ellas. Nuestros cuerpos también contienen millones de millones de cadenas de proteínas, formadas de ladrillos de aminoácidos. Nuestro cuerpo, en cierto sentido, puede ser considerado como una enorme colección de cuerdas: moléculas de proteínas que revisten nuestros huesos. Sin embargo, nadie puede dar una explicación de nuestro entendimiento, de la inteligencia que se crea y que llevamos con nosotros desde el mismo momento del nacimiento, está ahí presente, a la espera de que se la despierte, es la inteligencia dormida y evolucionada por el conocimiento de las cosas. La conciencia de SER a la que llamamos alma, y que de alguna manera es inmortal, ya que lo que sabemos lo cedemos y lo dejamos aquí para los que nos siguen en la tarea em-

prendida por la humanidad desde que, en el preciso momento en que surgió aquella primera célula original que fue capaz de dividirse para replicarse a sí misma, se dio el primer paso para el nacimiento de la vida en nuestro planeta. Pero esa es otra cuestión que será tratada en otro próximo trabajo, ahora volvamos al tema de la teoría de cuerdas de la física.

En la década de los noventa se creó una versión de mucho éxito de la teoría de cuerdas. Sus autores, los físicos de Princeton David Gross, Emil Martinec, Jeffrey Harvey y Ryan Rohn, a quienes se dio en llamar *el cuarteto de cuerdas de Princeton*.

El de más edad de los cuatro, David Gross, hombre de temperamento imperativo, es temible en los seminarios cuando al final de la charla, en el tiempo de preguntas, con su inconfundible vozarrón dispara certeros e inquisidoras preguntas al ponente. Lo que resulta sorprendente es el hecho de que sus preguntas dan normalmente en el clavo.

Gross y sus colegas propusieron lo que se denomina la cuerda heterótica. Hoy día, de todas las variedades de teorías tipo Kaluza-Klein que se propusieron en el pasado, es precisamente la cuerda heterótica la que tiene mayor potencial para unificar todas las leyes de la naturaleza en una teoría. Gross cree que la teoría de cuerdas resuelve el problema de construir la propia materia a partir de la geometría de la que emergen las partículas de materia y también la gravedad en presencia de las otras fuerzas de la naturaleza.

Es curioso constatar que si abandonamos la teoría de la gravedad de Einstein como una vibración de la cuerda, entonces la teoría se vuelve inconsistente e inútil. Esta, de hecho, es la razón por la que Witten se sintió atraído inicialmente hacia la teoría de cuerdas. En 1.982 leyó un artículo de revisión de John Schwarz y quedó sorprendido al darse cuenta de que la gravedad emerge de la teoría de supercuerdas a partir solamente de los requisitos de auto consistencia. Recuerda que fue “*la mayor excitación intelectual de mi vida*”.

Gross se siente satisfecho pensando que Einstein, si viviera, disfrutaría con la teoría de supercuerdas que sólo es válida si incluye su propia teoría de la relatividad general, y amaría el hecho de que la belleza y la simplicidad de esa teoría proceden en última instancia de un principio geométrico, cuya naturaleza exacta es aún desconocida.

Witten llega incluso a decir que “*todas las ideas realmente grandes en la física, son retornos de la teoría de supercuerdas*”. Con esto, él quiere decir que todos los grandes avances en física teórica están incluidos en la teoría de supercuerdas. Incluso afirma el hecho de que la teoría de supercuerdas fue “*un accidente del desarrollo intelectual en el planeta Tierra, ocurrido antes de su tiempo*”. Y continúa diciendo: “*En alguna parte en el espacio exterior, otras civilizaciones en el universo pudieron haber descubierto primero la teoría de supercuerdas y derivado de ella la teoría de la relatividad general que lleva dentro*”.

La cuerda heterótica de Gross y sus colegas, consiste en una cuerda cerrada que tiene dos tipos de vibraciones, en el sentido de las agujas del reloj y en sentido contrario, que son tratadas de forma diferente. Las vibraciones en el sentido de las agujas del reloj viven en un espacio de diez dimensiones. Las vibraciones de sentido contrario viven en un espacio de veintiséis dimensiones, de las que dieciséis han sido compactificadas. Lo mismo ocurría en la teoría de la quinta dimensión de Kaluza-Klein, donde la quinta dimensión estaba compactificada curvándose en un círculo en el límite de Planck.

La cuerda heterótica debe su nombre al hecho de que las vibraciones en el sentido de las agujas del reloj y en el sentido contrario viven en dos dimensiones diferentes pero se combinan para producir una sola teoría de supercuerdas. Esta es la razón de que se denomine según la palabra griega *heterosis*, que significa “vigor híbrido”.

El espacio compactificado de dieciséis dimensiones es el más interesante. Cuando fue analizado por el “cuarteto de cuerda” de Princeton (Gross y su equipo), descubrieron que contiene una simetría de enormes dimensiones, denominada $E(8) \times E(8)$, que es mucho mayor que cualquier simetría

GUT que se hubiese intentado jamás. Esta simetría es mucho mayor que el grupo de simetría que aparece en el Modelo Estándar, dado por $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ que es un subconjunto de la anterior donde está acomodado también (dada su amplitud) el Modelo Estándar.

Las leyes de la física se simplifican en dimensiones más altas.

En este caso, en el espacio 26-dimensional de las vibraciones de sentido contrario a las agujas del reloj de la cuerda heterótica que tiene espacio suficiente para explicar todas las simetrías encontradas en la teoría de Einstein y en la teoría cuántica. Así, por primera vez, la geometría pura ha dado una simple explicación de por qué el mundo subatómico debería exhibir necesariamente ciertas simetrías que emergen del enrollamiento del espacio de más dimensiones: Las simetrías del dominio subatómico no son sino remanentes de la simetría del espacio de más dimensiones.

Esto significa que la belleza y simetrías encontradas en la naturaleza pueden ser rastreadas en última instancia hasta el espacio multidimensional. Por ejemplo, los copos de nieve crean bellas figuras hexagonales, ninguna de las cuales es exactamente igual a otra, han heredado sus estructuras de las formas en que sus moléculas han sido dispuestas geométricamente, determinada básicamente por las cortezas electrónicas de estas moléculas, que a su vez nos llevan de nuevo a las simetrías rotacionales de la teoría cuántica, dadas por $O(3)$.

Podemos concluir diciendo que las simetrías que vemos a nuestro alrededor, desde un arco iris a las flores y a los cristales, pueden considerarse en última instancia como manifestaciones de fragmentos de la teoría decadimensional original. Riemann y Einstein habían confiado en llegar a una comprensión geométrica de por qué las fuerzas pueden determinar el movimiento y la naturaleza de la materia.

Dado el enorme poder de sus simetrías, no es sorprendente que la teoría de supercuerdas sea radicalmente diferente de cualquier otro tipo de física. De hecho, fue descubierta casi por casualidad. Muchos físicos han comenta-

do que si este accidente fortuito no hubiese ocurrido, entonces la teoría no se hubiese descubierto hasta bien entrado el siglo XXI. Esto es así porque supone una neta desviación de todas las ideas ensayadas en este siglo. No es una extensión natural de tendencias y teorías populares en este siglo que ha pasado; permanece aparte.

Por el contrario, la teoría de la relatividad general de Einstein tuvo una evolución normal y lógica. En primer lugar, su autor, postula el principio de equivalencia. Luego reformuló este principio físico en las matemáticas de una teoría de campos de la gravitación basada en los campos de Faraday y en el tensor métrico de Riemann. Más tarde llegaron las “soluciones clásicas”, tales como el agujero negro y el Big Bang. Finalmente, la última etapa es el intento actual de formular una teoría cuántica de la gravedad. Por lo tanto, la relatividad general siguió una progresión lógica, desde un principio físico a una teoría cuántica.

Geometría → teoría de campos → teoría clásica → teoría cuántica.

Contrariamente, la teoría de supercuerdas ha estado evolucionando hacia atrás desde su descubrimiento accidental en 1.968. Esta es la razón de que nos parezca extraña y poco familiar, estamos aún buscando un principio físico subyacente, la contrapartida del principio de equivalencia de Einstein.

La teoría nació casi por casualidad en 1.968 cuando dos jóvenes físicos teóricos, Gabriel Veneziano y Mahiko Suzuki, estaban hojeando independientemente libros de matemáticas. Figúrense ustedes que estaban buscando funciones matemáticas que describieran las interacciones de partículas fuertemente interactivas. Mientras estudiaban en el CERN, el Centro Europeo de Física Teórica en Ginebra, Suiza, tropezaron independientemente con la función beta de Euler, una función matemática desarrollada en el S. XIX por el matemático Leonhard Euler. Se quedaron sorprendidos al descubrir que la función beta de Euler ajustaba casi todas las propiedades requeridas para describir interacciones fuertes de partículas elementales.

Según he leído, durante un almuerzo en el Lawrence Berkeley Laboratory en California, con una espectacular vista del Sol brillando sobre el puerto de San Francisco, Suzuki le explicó a Michio Kaku mientras almorcaban la excitación de descubrir, prácticamente por casualidad, un resultado parcialmente importante. No se suponía que la física se pudiera hacer de ese modo casual.

Tras el descubrimiento, Suzuki, muy excitado, mostró el hallazgo a un físico veterano del CERN. Tras oír a Suzuki, el físico veterano no se impresionó. De hecho le dijo a Suzuki que otro físico joven (Veneziano) había descubierto la misma función unas semanas antes. Disuadió a Suzuki de publicar su resultado. Hoy, esta función beta se conoce con el nombre de *modelo Veneziano*, que ha inspirado miles de artículos de investigación iniciando una importante escuela de física y actualmente pretende unificar todas las leyes de la física.

En 1.970, el Modelo de Veneziano-Suzuki (que contenía un misterio), fue parcialmente explicado cuando Yoichiro Nambu, de la Universidad de Chicago, y Tetsuo Goto, de la Nihon University, descubrieron que una cuerda vibrante yace detrás de sus maravillosas propiedades.

Así que, como la teoría de cuerdas fue descubierta hacia atrás y por casualidad, los físicos aún no conocen el principio físico que subyace en la teoría de cuerdas vibrantes y sus maravillosas propiedades.

El último paso en la evolución de la teoría de cuerdas (y el primer paso en la evolución de la relatividad general) aún está pendiente de que alguien sea capaz de darlo.

Así, Witten dice:

“Los seres humanos en el planeta tierra nunca dispusieron del marco conceptual que les llevara a concebir la teoría de supercuerdas de manera intencionada, surgió por razones del azar, por un feliz accidente. Por sus propios méritos, los físicos

del siglo XX no deberían haber tenido el privilegio de estudiar esta teoría muy avanzada a su tiempo y a su conocimiento. No tenían (ni tenemos ahora mismo) los conocimientos y los prerequisitos necesarios para desarrollar dicha teoría, no tenemos los conceptos correctos y necesarios.”

Actualmente, como ha quedado dicho en este mismo trabajo, Edwar Witten es el físico teórico que, al frente de un equipo de físicos de Princeton, lleva la bandera de la teoría de supercuerdas con aportaciones muy importantes en el desarrollo de la misma.

De todas las maneras, aunque los resultados y avances son prometedores, el camino por andar es largo y la teoría de supercuerdas en su conjunto es un edificio con muchas puertas cerradas de las que no tenemos las llaves para acceder a su interior y mirar lo que allí nos aguarda.

El problema está en que nadie es lo suficientemente inteligente para resolver la teoría de campos de cuerdas o cualquier otro enfoque no perturbativo de esta teoría. Se requieren técnicas que están actualmente más allá de nuestras capacidades.

Para encontrar la solución deben ser empleadas técnicas no perturbativas, que son terriblemente difíciles. Puesto que el 99 por ciento de lo que conocemos sobre física de altas energías se basa en la teoría de perturbaciones, esto significa que estamos totalmente perdidos a la hora de encontrar la verdadera solución de la teoría.

¿Por qué diez dimensiones?

Uno de los secretos más profundos de la teoría de cuerdas, que aún no es bien comprendido, es por qué está definida sólo en diez y veintiséis dimensiones.

Si calculamos cómo se rompen y se vuelven a juntar las cuerdas en el espacio N-dimensional, constantemente descubrimos que pululan términos

absurdos que destruyen las maravillosas propiedades de la teoría. Afortunadamente, estos términos indeseados aparecen multiplicados por (N-10). Por consiguiente, para hacer que desaparezcan estas anomalías, no tenemos otra elección cuántica que fijar $N = 10$. La teoría de cuerdas, de hecho, es la única teoría cuántica conocida que exige completamente que la dimensión del espacio-tiempo esté fijada en un número único, el diez.

Por desgracia, los teóricos de cuerdas están, por el momento, completamente perdidos para explicar por qué se discriminan las diez dimensiones. La respuesta está en las profundidades de las matemáticas, en un área denominada *funciones modulares*.

Al manipular los diagramas de lazos¹ de Kikkawa, Sakita y Virasoro creados por cuerdas en interacción, allí están esas extrañas funciones modulares en las que el número 10 aparecen en los lugares más extraños.

Estas funciones modulares son tan misteriosas como el hombre que las investigó, el místico del este. Quizá si entendiéramos mejor el trabajo de este genio indio, comprenderíamos por qué vivimos en nuestro universo actual.

El misterio de las *funciones modulares* podría ser explicado por quien ya no existe, Srinivasa Ramanujan, el hombre más extraño del mundo de los matemáticos. Igual que Riemann, murió antes de cumplir cuarenta años, y como Riemann antes que él, trabajó en total aislamiento en su universo particular de números y fue capaz de reinventar por sí mismo lo más valioso de cien años de matemáticas occidentales que, al estar aislado del mundo en las corrientes principales de los matemáticos, le eran totalmente desconocidos, así que los buscó sin conocerlos. Perdió muchos años de su vida en redescubrir matemáticas conocidas.

Dispersas entre oscuras ecuaciones en sus cuadernos están estas *funciones modulares*, que figuran entre las más extrañas jamás encontradas en matemáticas. Ellas reaparecen en las ramas más distantes e inconexas de las

¹ Diagrama página 196

matemáticas. Una función que aparece una y otra vez en la teoría de las funciones modulares se denomina (como ya he dicho otras veces) hoy día “función de Ramanujan” en su honor. Esta extraña función contiene un término elevado a la potencia veinticuatro.

El número 24 aparece repetidamente en la obra de Ramanujan. Este es un ejemplo de lo que las matemáticas llaman números mágicos, que aparecen continuamente donde menos se esperan por razones que nadie entiende. Milagrosamente, la función de Ramanujan aparece también en la teoría de cuerdas. El número 24 que aparece en la función de Ramanujan es también el origen de las cancelaciones milagrosas que se dan en la teoría de cuerdas. En la teoría de cuerdas, cada uno de los veinticuatro modos de la función de Ramanujan corresponde a una vibración física de la cuerda. Cuando quiera que la cuerda ejecuta sus movimientos complejos en el espacio-tiempo dividiéndose y recombinándose, deben satisfacerse un gran número de identidades matemáticas altamente perfeccionadas. Estas son precisamente las identidades matemáticas descubiertas por Ramanujan. Puesto que los físicos añaden dos dimensiones más cuando cuentan el número total de vibraciones que aparecen en una teoría relativista, ello significa que el espacio-tiempo debe tener $24 + 2 = 26$ dimensiones espacio-temporales.

Para comprender este misterioso factor de dos (que añaden los físicos), consideramos un rayo de luz que tiene dos modos físicos de vibración. La luz polarizada puede vibrar, por ejemplo, o bien horizontal o bien verticalmente. Sin embargo, un campo de Maxwell relativista A_μ tiene cuatro componentes, donde $\mu = 1, 2, 3, 4$. Se nos permite sustraer dos de estas cuatro componentes utilizando la simetría gauge de las ecuaciones de Maxwell. Puesto que $4 - 2 = 2$, los cuatro campos de Maxwell originales se han reducido a dos. Análogamente, una cuerda relativista vibra en 26 dimensiones. Sin embargo, dos de estos modos vibracionales pueden ser eliminados cuando rompemos la simetría de la cuerda, quedándonos con 24 modos vibracionales que son las que aparecen en la función de Ramanujan.

Cuando se generaliza la función de Ramanujan, el 24 queda reemplazado por el número 8. Por lo tanto, el número crítico para la supercuerda es $8+2=10$. Este es el origen de la décima dimensión que exige la teoría. La

cuerda vibra en diez dimensiones porque requiere estas funciones de Ramanujan generalizadas para permanecer auto consistente. Dicho de otra manera, los físicos no tienen la menor idea de por qué 10 y 26 dimensiones se seleccionan como dimensión de la cuerda. Es como si hubiera algún tipo de numerología profunda que se manifestara en estas funciones que nadie comprende. Son precisamente estos números mágicos que aparecen en las funciones modulares elípticas los que determinan que la dimensión del espacio-tiempo sea diez.

En el análisis final, el origen de la teoría decadimensional es tan misterioso como el propio Ramanujan. Si alguien preguntara a cualquier físico del mundo por qué la naturaleza debería existir en diez dimensiones, estaría obligado a responder “no lo sé”. Se sabe en términos difusos, por qué debe seleccionarse alguna dimensión del espacio tiempo (de lo contrario la cuerda no puede vibrar de una forma cuánticamente autoconsistente), pero no sabemos por qué se seleccionan estos números concretos.

Quizá la respuesta a todo esto esté esperando a ser descubierta cuando alguien (algún genio matemático como Perelman) sea capaz de entender el contenido de los cuadernos perdidos de Ramanujan¹.

Srinivasa Ramanujan nació en 1.887 en Erode, India, cerca de Madrás. Su familia de clase media alta, brahmin, la más alta de las castas hindúes, fueron destituidos y venidos a menos. Su padre trabajaba de oficinista de un comerciante de tejidos.

Con diez años, lo mismo que pasó antes con Riemann, ya destacaba y sorprendía a todos con sus enormes poderes de cálculos. Siendo niño redirió la identidad de Euler entre funciones trigonométricas y exponenciales.

En la vida de cada científico joven hay un punto de partida, un hecho que, sin ellos saberlo, les marca el destino. Para Einstein fue la fascinación

¹ El apunte sobre Ramanujan fue incluido en otro de mis trabajos. Sin embargo, el presente cuaderno trata temas expresamente solicitados para utilizar en unos seminarios de física, y se me pidió incluir el tema “Ramanujan”.

que le causó la brújula que le regaló su tío cuando estaba enfermo siendo un niño, no podía apartar la mirada de la aguja que siempre indicaba hacia el mismo sitio, y se preguntó una y mil veces por la fuerza invisible que la obligaba a dirigirse hacia esa dirección. Para Riemann, fue la lectura del libro de matemáticas de Legendre. Para Ramanujan, fue cuando se sumergió en un oscuro y olvidado libro de matemáticas escrito por George Carr. Este libro ha quedado inmortalizado desde entonces por el hecho de que señaló la única exposición conocida de Ramanujan a las modernas matemáticas occidentales. Según su hermana: *“Fue este libro el que despertó su genio. Él se propuso establecer por sí mismo las fórmulas dadas allí. Como no tenía la ayuda de otros libros, cada solución era un trabajo de investigación por lo que a él concernía... Ramanujan solía decir que la diosa Namakkal le inspiraba las fórmulas en sueños”*.

Con ayuda de amigos, Ramanujan consiguió un puesto de bajo nivel del puerto de Madrás. Era un trabajo servil, con una mísera paga de 20 libras al año, pero dio libertad a Ramanujan, como a Einstein antes que él en la oficina de Patentes Suiza, para seguir sus sueños en su tiempo libre. Ramanujan, en la fascinación que en él ejercían los números, era incansable. Llenaba libretas enteras de cálculos y ecuaciones que antes veía florecer en su cabeza.

Así estaban las cosas cuando decidió escribir algunos de sus trabajos a las tres matemáticos más famosos de Inglaterra y Europa.

Dos de aquellos matemáticos, al tener en su poder las cartas enviadas por un miserable empleado sin instrucción formal alguna, sin haber comprobado su contenido, las arrojaron directamente a la basura. El tercero era el brillante matemático de Cambridge Godfrey Harold Hardy. Debido a su categoría en Inglaterra, Hardy estaba acostumbrado a recibir correo de chiflados proponiéndole los más peregrinos proyectos y, en un primer momento apenas prestó atención a la carta del joven Ramanujan.

Entre los densos garabatos advirtió muchos teoremas matemáticos que ya eran bien conocidos. Pensando que era la obra obvia de un plagiario, él también la desecharon en ese primer impulso. Pero había algo que no encajaba.

Algo que inquietaba a Hardy; no podía dejar de pensar en aquella extraña carta.

Durante la cena de esa noche, 16 de enero de 1.913, Hardy y su colega John Littlewood discutieron esta carta singular y decidieron echar un segundo vistazo-repaso a su contenido. Comenzaba de forma bastante inocente, con “*Me permito presentarme a usted como un empleado en el departamento de contabilidad de la oficina del puerto franco de Madrás con un salario de sólo veinte libras al año*”. Pero la carta del pobre empleado de Madrás contenía teoremas que eran totalmente desconocidos para los matemáticos occidentales. En total, contenía 120 teoremas. Hardy estaba atónito. Recordaba que demostrar algunos de esos teoremas “*Me derrotó por completo*”. “*Nunca había visto nada antes que se le pareciera en lo más mínimo. Una simple ojeada a ellos es suficiente para mostrar que sólo podían estar elaborados por un matemático muy grande*”.

Littlewood y Hardy alcanzaron la misma conclusión: aquello era el trabajo de un genio empeñado en derivar de nuevo 100 años de matemáticas europeas. “*Él había estado llevando a cabo una carrera imposible, un pobre y solitario hindú, completamente solo y sin ayuda, enfrentando su cerebro contra toda la sabiduría acumulada en Europa*”, recordaba con asombro Hardy.

Hardy escribió a Ramanujan y, tras muchas pesquisas, uso de amistades e influencias, arregló su estancia en Cambridge en 1.914. Por primera vez, Ramanujan podía comunicarse regularmente con sus iguales, la comunidad de los matemáticos europeos. Entonces comenzó el estallido de su actividad: tres cortos e intensos años de colaboración con Hardy en el Trinity Collage en Cambridge.

Hardy trató más tarde de estimar la capacidad matemática que poseía Ramanujan. Concedió a David Hilbert, universalmente conocido y reconocido como uno de los mayores matemáticos occidentales del siglo XIX, una puntuación de 80. A Ramanujan le asignó una puntuación de 100. Así mismo, Hardy se concedió un 25.

Por desgracia, ni Hardy ni Ramanujan parecían interesados en la psicología a los procesos de pensamiento mediante los cuales Ramanujan descubría estos increíbles teoremas, especialmente cuando este diluvio material brotaba de sus sueños con semejante frecuencia. Hardy señaló: “*Parecía ridículo importunarle sobre cómo había descubierto este o ese teorema conocido, cuando él me estaba mostrando media docena cada día de nuevos teoremas*”.

Hardy recordaba vivamente:

“*Recuerdo una vez que fui a visitarle cuando estaba enfermo en Putney. Yo había tomado el taxi número 1.729, y comenté que el numero me parecía bastante feo, y que esperaba que no fuese mal presagio*”.

No. – Replicó Ramanujan postrado en su cama –. Es un número muy interesante; es el número más pequeño expresable como una suma de dos cubos en dos formas diferentes.

(*Es la suma de 1 x 1 x 1 y 12 x 12 x 12, y también la suma de 9 x 9 x 9 y 10 x 10 x 10*).

Era capaz de recitar en el acto teoremas complejos de aritmética cuya demostración requeriría un ordenador moderno.

En 1.919 volvió a casa, en la India, donde un año más tarde murió enfermo.

El legado de Ramanujan es su obra, que consta de 4.000 fórmulas en cuatrocientas páginas que llenan tres volúmenes de notas, todas densamente llenas de teoremas de increíble fuerza pero sin ningún comentario, o lo que es más frustrante, sin ninguna demostración. En 1.976, sin embargo, se hizo un nuevo descubrimiento. Ciento treinta páginas de borradores, que contenían los resultados del último año de su vida, fueron descubiertas por casuali-

dad en una caja en el Trinity Collage. Esto se conoce ahora con el nombre de “Cuaderno Perdido” de Ramanujan.

Comentando este *cuaderno perdido*, el matemático Richard Askey dice: “*El trabajo de este año, mientras se estaba muriendo, era el equivalente a una vida entera de un matemático muy grande*”. Lo que él consiguió era increíble. Los matemáticos Jonathan Borwien y Meter Borwein, en relación a la dificultad y la ardua tarea de descifrar los cuadernos perdidos, dijeron: “*Que nosotros sepamos nunca se ha intentado una redacción matemática de este alcance o dificultad*”.

Por mi parte creo que Ramanujan fue un genio matemático muy adelantado a su tiempo y que pasarán algunos años hasta que podamos descifrar al cien por ciento sus trabajos, especialmente, sus *funciones modulares* que guardan el secreto de la teoría más avanzada de la física moderna, la única capaz de unir la mecánica cuántica y la gravedad.

Las matemáticas de Ramanujan son como una sinfonía, la progresión de sus ecuaciones era algo nunca visto, él trabajaba desde otro nivel, los números se combinaban y fluían de su cabeza a velocidad de vértigo y con precisión nunca antes conseguida por nadie. Tenía tal intuición de las cosas que éstas simplemente fluían de su cerebro. Quizá no los veía de una manera que sea traducible y el único lenguaje eran los números.

Como saben los físicos, los “accidentes” no aparecen sin ninguna razón. Cuando están realizando un cálculo largo y difícil, y entonces resulta de repente que miles de términos indeseados suman milagrosamente cero, los físicos saben que esto no sucede sin una razón más profunda subyacente. Hoy, los físicos conocen que estos “accidentes” son una indicación de que hay una simetría en juego. Para las cuerdas, la simetría se denomina *simetría conforme*, la simetría de estirar y deformar la hoja del universo de la cuerda.

Aquí es precisamente donde entra el trabajo de Ramanujan. Para proteger la simetría conforme original contra su destrucción por la teoría cuánti-

ca, deben ser milagrosamente satisfechas cierto número de identidades matemáticas, que son precisamente las identidades de la función modular de Ramanujan. ¡Increíble!, pero cierto.

En resumen, he dicho que las leyes de la naturaleza se simplifican cuando se expresan en dimensiones más altas. Sin embargo, a la luz de la teoría cuántica, debemos corregir algo este sentido básico de mirar la cuestión. El enunciado correcto sería ahora: las leyes de la naturaleza se simplifican cuando se expresan coherentemente en dimensiones más altas. El añadido de la palabra coherente es crucial. Esta ligadura nos obliga a utilizar las funciones modulares de Ramanujan, que fijan en diez la dimensión del espacio-tiempo. Esto, a su vez, puede darnos la clave decisiva para explicar el origen del universo.

Einstein se preguntaba a menudo si Dios tuvo alguna elección al crear el universo. Según los teóricos de supercuerdas, una vez que exigimos una unificación de la teoría cuántica y la relatividad general, Dios no tenía elección. La autoconsistencia por sí sola, afirman ellos, debe haber obligado a Dios a crear el universo como lo hizo.

Aunque el perfeccionamiento matemático introducido por la teoría de cuerdas ha alcanzado alturas de vértigo y ha sorprendido a los matemáticos, los críticos de la teoría aún la señalan como su punto más débil. Cualquier teoría, afirman, debe ser verificable. Puesto que ninguna teoría definida a la energía de Planck de 10^{19} miles de millones de eV es verificable, ¡la teoría de supercuerdas no es realmente una teoría!

El principal problema es teórico más que experimental. Si fuéramos suficientemente inteligentes, podríamos resolver exactamente la teoría y encontrar la verdadera solución no perturbativa de la teoría. Sin embargo, esto no nos excusa de encontrar algún medio por el que verificar experimentalmente la teoría; debemos esperar señales de la décima dimensión.

¿La décima dimensión?

“¡Qué extraño sería que la teoría final se descubriera durante nuestra vida! El descubrimiento de las leyes finales de la naturaleza marcará una discontinuidad en la historia del intelecto humano, la más abrupta que haya ocurrido desde el comienzo de la ciencia moderna en el siglo XVII. ¿Podemos imaginar ahora como sería?”

Steven Weinberg

¿Es la belleza un principio físico?

Aunque la teoría de supercuerdas nos da una formulación convincente de la teoría del universo (de todo lo que existe, incluyendo el espacio, el tiempo y la materia), el problema fundamental es que un test experimental de la teoría está más allá de nuestra tecnología actual. De hecho, la teoría predice que la unificación de todas las fuerzas ocurre a la energía de Planck, de 10^{19} miles de millones de electronvoltios (eV), que es alrededor de mil billones de veces mayor que las energías actualmente disponibles en nuestros aceleradores de partículas.

El físico David Gross (el del cuarteto de cuerdas de Princeton), al comentar el coste de generar esta energía fantástica, dice: “*No hay suficiente dinero en las tesorerías de todos los países del mundo juntos. Es verdaderamente astronómica*”.

Esto resulta decepcionante, porque significa que la verificación experimental, el motor que hace progresar la física, ya no es posible en esta generación actual de máquinas o con cualquier generación de máquinas en un futuro previsible. Esto significa, a su vez, que la teoría decadimensional no es una teoría en el sentido usual, porque es inverificable dado el actual estado tecnológico de nuestro planeta. Nos quedamos entonces con la pregunta: ¿Es la belleza, por sí misma, un principio físico que pueda sustituir la falta de verificación experimental?

Para agitar más aún la controversia, Glashow escribió incluso un poema que termina así:

*“La Teoría de Todo, si uno no se arredra,
Podría ser algo más que un caleidoscopio de cuerdas.
Aunque algunas cabezas se hayan vuelto viejas y escleróticas,
No hay que confiar sólo en las cosas heteróticas,
Seguid nuestro consejo y no cedáis la partida:
El libro no está acabado, la última palabra no es conocida”.*

Glasgow ha jurado (sin éxito) mantener estas teorías fuera de Harvard, donde él enseña. Pero admite que a menudo siente que es superado en su deseo y la teoría de supercuerdas se cuela por todas las rendijas de la universidad y, además, sus puntos de vista no son compartidos por otros Nobel como Murray Gell-Mann y Steven Weinberg que se decantan en el sentido de que la teoría de supercuerdas proporciona nuestra única fuente actual de candidatos para una teoría final con enormes señales reales de autenticidad. ¿Por qué sino de su interior surgen las ecuaciones de Einstein de la relatividad general y el número mágico 24 de Ramanujan y sus funciones modulares, que al ser generalizadas se convierten en 8 y a las que la relatividad añade de 2, para finalmente exigir 10 dimensiones? Los físicos no creen en casualidades pero sí en causalidades; si algo ocurre es debido a lo que existió, al suceso anterior que dio lugar al suceso presente, y que dará lugar al suceso futuro.

Fue una verdadera pena que los políticos de EEUU dieran al traste con el proyecto SSC (Supercollisionador Superconductor) por su enorme coste de más de 11 mil millones de dólares para construirlo en las afueras de Dallas, Texas, con una circunferencia de 85 Km y rodeado de enormes bobinas magnéticas donde los físicos habrían podido verificar de manera indirecta la teoría decadimensional, además de haber encontrado partículas exóticas tales como la misteriosa partícula de Higgs predicha por el Modelo Estándar. Es la partícula de Higgs la que genera la ruptura de simetría y es por lo tanto el origen de la masa de los quarks. Por consiguiente, la anulación de este proyecto del supercolisionador de partículas nos ha privado de encontrar el “origen de la masa”. Todos los objetos que tienen peso deben su masa a la

partícula de Higgs. Incluso, había una posibilidad de que el SSC encontrara partículas exóticas más allá del Modelo Estándar, como “axiones”, que podrían haber ayudado a explicar la materia oscura. También el gravitón, la partícula mediadora en la gravedad, está pendiente de ser encontrada.

Puesto que el supercolisionador no se construirá nunca, y por lo tanto nunca detectará partículas que sean resonancias de baja energía o vibraciones de la supercuerda, otra posibilidad consiste en medir la energía de rayos cósmicos, que son partículas subatómicas altamente energéticas cuyo origen es aún desconocido, pero que debe estar en las profundidades del espacio exterior más allá de nuestra galaxia. Por ejemplo, aunque nadie sabe de dónde vienen, los rayos cósmicos tienen energías mucho mayores que cualquier cosa encontrada en nuestros laboratorios de pruebas.

Los rayos cósmicos son impredecibles en cuanto a su energía aleatoria. Hace ya aproximadamente un siglo que fueron descubiertos por un padre jesuita de nombre Theodor Wolf en lo alto de la Torre Eiffel en París. Desde entonces, el conocimiento adquirido de estos rayos es bastante aceptable; se buscan y miden mediante el envío de contadores de radiación en cohetes e incluso en satélites a gran altura alrededor del planeta Tierra para minimizar agentes interceptores como los efectos atmosféricos que contaminan las señales. Cuando los rayos energéticos, altamente energéticos, inciden en la atmósfera, rompen los átomos que encuentran a su paso y los fragmentos que se forman caen a tierra donde son detectados por aparatos colocados al efecto en la superficie.

El detector de Utah, a unos 140 Km al suroeste de Salt Lake City, es lo suficientemente sensible como para detectar la procedencia, el origen de los rayos cósmicos más energéticos. Hasta el momento, Cygnus X-3 y Hércules X-1 han sido identificados como poderosos emisores de rayos cósmicos. Probablemente son grandes estrellas de neutrones, o incluso agujeros negros en rotación engullendo a sus estrellas vecinas que, inocentes, han osado traspasar el horizonte de sucesos. Cuando el material de la estrella traspasa ese punto de no regreso, crea un gran vórtice de energía y escupe cantidades gigantescas de radiación (por ejemplo, protones) al espacio exterior.

Hasta la fecha, el rayo cósmico más energético detectado tenía una energía de 10^{20} electrón voltios. Esta cifra supone una increíble energía diez millones de veces mayor de la que se habría producido en el SSC. Dentro de este siglo, seguramente, será difícil alcanzar con nuestras máquinas, energías aproximadas. Aunque esta fantástica energía es todavía cien millones de veces menor que las energías necesarias para sondear la décima dimensión, se espera que energías producidas en el interior profundo de los agujeros negros en nuestra galaxia se acerquen a la energía de Planck. Con grandes naves espaciales en órbita deberíamos ser capaces (seremos) de sondear en lo más profundo de estas estructuras gigantescas de fuentes energéticas que, abundantemente, están repartidas a lo largo y ancho del universo.

Según una teoría favorita, la mayor fuente de energía dentro de nuestra galaxia (mucho más allá de cualquier cosa imaginable), está en el mismo corazón de la Vía Láctea, en el centro, a 30.000 años luz de nuestro Sistema Solar, y puede constar de millones de agujeros negros.

En física nada se puede descartar, la inaccesibilidad de hoy a la energía de Planck se puede suplir por descubrimientos inesperados que, poco a poco, nos lleve cada vez más cerca de ella, hasta que finalmente tengamos el conocimiento y la tecnología necesarias para poder alcanzarla.

No olvidemos que en el siglo XIX, algunos científicos declararon que la composición de las estrellas estaría siempre fuera del alcance del experimento, y que la única manera que tendríamos de conocerlas sería la de mirar al cielo y verlas allí, inalcanzables como puntos de luz brillantes y lejanos en la oscuridad del vacío del cosmos. Sin embargo, podemos decir hoy, a comienzos del siglo XXI, año 2.008, que no sólo podemos saber la composición de las estrellas, sino también como nacen y mueren, las distancias que los separan de nosotros y un sin fin de datos más.

Particularmente creo que el ser humano es capaz de realizar todo aquello en lo que piensa dentro de unos límites racionales. Podremos, en un futuro no muy lejano, alargar de manera considerable la media de vida. Podremos colonizar otros planetas y explotar recurso mineros en las lunas de nuestro Sistema Solar; los turistas irán al planeta Marte o a las lunas Ganí-

medes o Europa. Los transportes de hoy serán reliquias del pasado y nos trasladaremos mediante sistemas de transportes más limpios, rápidos y exentos de colisiones. Tendremos computadoras de cifrado cuántico que harán más seguras las comunicaciones y el intercambio de datos será realmente el de la velocidad de c , así en todos los campos del saber humano.

Estamos inmersos en un avance exponencial, imparable.

Otro ejemplo de una idea “inverificable” la tenemos en la existencia del átomo. En el siglo XIX, la hipótesis atómica se reveló como el paso decisivo en la comprensión de las leyes de la química y la termodinámica. Sin embargo, muchos físicos se negaban a creer que los átomos existieran realmente, los aceptaban como un concepto o herramienta matemática para operar en su trabajo que, por accidente, daba la descripción correcta del mundo. Hoy somos todavía incapaces de tomar imágenes directas del átomo debido al principio de incertidumbre de Heisenberg, aunque ahora existen métodos indirectos. En 1.905, Einstein proporcionó la evidencia más convincente, aunque indirecta, de la existencia de átomos cuando demostró que el movimiento browniano (es decir, el movimiento aleatorio de partículas de polvo suspendidas en un líquido) puede ser explicado como colisiones aleatorias entre las partículas y los átomos del líquido.

Por analogía, podríamos esperar la confirmación experimental de la física de la décima dimensión utilizando métodos indirectos que aún ni se han inventado o descubierto. En lugar de fotografiar el objeto que deseamos, quizá nos conformaríamos, de momento, con fotografiar la “sombra” del mismo.

También la existencia de los neutrinos, propuestos por Wolfgang Pauli en 1.930 para dar cuenta de la energía perdida en ciertos experimentos sobre radiactividad que parecían violar la conservación de la materia y la energía, también digo, era inverificable (en aquel momento). Pauli comprendió que los neutrinos serían casi imposibles de observar experimentalmente, porque interactuarían muy débilmente y, por consiguiente, muy raramente con la materia. La materia, toda la materia, si profundizamos en ella a niveles microscópicos, podremos comprobar el hecho de que en un 90% está consti-

tuida de espacios vacíos y, siendo así, los neutrinos pueden atravesarla sin rozar siquiera sus átomos; de hecho, pueden atravesar la Tierra como si ni siquiera existiera y, al mismo tiempo, también nosotros somos atravesados continuamente por billones de neutrinos emitidos por el sol, incluso por la noche.

Pauli admitió: “*He cometido el pecado más grave, he predicho la existencia de una partícula que nunca puede ser observada*”.

Pero incluso Pauli, con todos sus enormes conocimientos, se equivocaba, y el neutrino ha sido comprobado mediante distintos métodos que no dejan dudas de su existencia. Incluso producimos regularmente haces de neutrinos en colisionadores de átomos, realizamos experimentos con los neutrinos emitidos por reactores nucleares y detectamos su presencia en enormes depósitos de agua pesada colocados en profundas minas abandonadas en las entrañas de la Tierra. Cuando una espectacular supernova se iluminó en el cielo del hemisferio sur en 1.987, los físicos registraron una ráfaga de neutrinos que atravesaron sus detectores situados, precisamente, en profundas minas.

Echando una larga mirada a la historia de la ciencia, creo que existen motivos para un moderado optimismo. Witten está convencido de que la ciencia sería algún día capaz de sondear hasta las energías de Planck.

E. Witten, padre de la versión más avanzada de la teoría de supercuerdas, la teoría M, dice:

“*No siempre es tan fácil decir cuáles son las preguntas fáciles y cuáles las difíciles. En el siglo XIX, la pregunta de por qué el agua hierva a 100 grados era desesperadamente inaccesible. Si usted hubiera dicho a un físico del siglo XIX que hacia el S. XX sería capaz de calcularlo, le habría parecido un cuento de hadas... La teoría cuántica de campos es tan difícil que nadie la creyó completamente durante veinticinco años.*”

Lo mismo que otros muchos, no creo que tengamos que esperar un siglo antes de que nuestro ingenio y nuestras máquinas puedan sondear de manera indirecta la décima dimensión; alguien sabrá, durante ese periodo de tiempo, resolver esa teoría de campos de cuerdas o alguna otra fórmula no perturbativa. El problema es teórico, no experimental. Necesitamos alguien con el ingenio y la inteligencia necesaria (además de un enorme índice de observación), para saber “ver” lo que probablemente tenemos ante nuestras narices, utilizando para ello todos los datos e indicios existentes de gente como Einstein, Kaluza y Klein, Veneziano y Suzuki, el cuarteto de cuerdas de Princeton, Michio Kaku, Witten..., y tantos otros.

Suponiendo que algún físico brillante resuelva la teoría de campos de cuerdas y derive las propiedades conocidas de nuestro universo, sigue existiendo el problema práctico de cuándo seríamos capaces de aprovechar el poder de la **teoría del hiperespacio**. Existen dos posibilidades:

1. Esperar que nuestra civilización alcance la capacidad para dominar energías billones de veces mayores que las de hoy.
2. Encontrar civilizaciones extraterrestres que, más avanzadas, hayan dominado el arte de manipular el hiperespacio.

Antes de que Edison y sus colaboradores aprovecharan los descubrimientos de Faraday y las ecuaciones de Maxwell sobre la electricidad y el magnetismo, para explotarlos de manera práctica pasaron unos setenta años.

La civilización moderna depende crucialmente del aprovechamiento de esta fuerza. La fuerza nuclear fue descubierta casi con el cambio de siglo. Pasó todo el siglo XX y estamos en la primera década del XXI, han pasado 100 años y, sin embargo, todavía no tenemos medios de aprovecharla con éxito en reactores de fusión, la energía limpia que produce el Sol.

El próximo paso, el aprovechar la potencia de la teoría de campo unificado, requiere un salto mucho mayor en nuestra tecnología, aunque sea un salto que probablemente tendrá implicaciones muchísimo más importantes.

El problema reside en que obligamos a la teoría de supercuerdas a responder preguntas sobre energías cotidianas, cuando su “ámbito natural” está en la energía de Planck. Energía que sólo fue liberada en el propio instante de la creación. Es decir, la teoría de supercuerdas es una teoría de la propia creación, así nos puede explicar todas las partículas y la materia, las fuerzas fundamentales y el espacio-tiempo, es decir, es la teoría del propio universo.

Durante estos comentarios, frecuentemente he reseñado la palabra “espacio-tiempo” refiriéndome a una geometría que incluye las tres dimensiones espaciales y una cuarta dimensión temporal. En la física newtoniana, el espacio y el tiempo se consideraban como entidades separadas y el que los sucesos fueran simultáneos o no, era una materia que se consideraba como obvia para cualquier observador capacitado.

En el concepto de Einstein del universo físico, basado en el sistema de geometría inventada por H. Minkowski (1864 – 1909), el espacio y el tiempo estaban considerados como enlazados, de manera que dos observadores en movimiento relativo podían estar en desacuerdo sobre la simultaneidad de sucesos distantes. En la geometría de Minkowski (inspirada a partir de la teoría de la relatividad especial de Einstein), un suceso se consideraba como un punto de universo en un continuo de cuatro dimensiones.

Pero volvamos a las supercuerdas. El problema fundamental al que se enfrenta esta teoría es este: de los millones de universos posibles que pueden ser generados matemáticamente por la teoría de supercuerdas, ¿cuál es el correcto? Como ha dicho David Gross:

“Existen millones y millones de soluciones con tres dimensiones espaciales. Existe una enorme abundancia de soluciones clásicas posibles... Esta abundancia de riqueza era originalmente muy satisfactoria porque proporcionaba evidencia de que una teoría como la de la cuerda heterótica podía tener un aspecto muy parecido al mundo real. Estas soluciones, además de tener cuatro dimensiones espacio-temporales, tenían otras muchas propiedades que se asemejaban a nuestro mundo: el tipo correcto de partículas tales como quarks y leptones, y el tiempo

correcto de interacciones... Esto constituyó una fuente de excitación en su momento.”

Gross, sin embargo, advierte que aunque algunas de estas soluciones están muy próximas al **modelo estándar**, otras dan lugar a propiedades físicas muy embarazosas e indeseables, lo que finalmente se traduce en una auténtica incomodidad o problema, ya que tenemos muchas soluciones pero ninguna forma aceptable de escoger entre ellas. Además, algunas tienen propiedades deseadas y otras potencialmente desastrosas.

Un profano, al oír esto por primera vez, puede quedar intrigado para preguntar: ¿por qué no calcular simplemente qué solución se adapta o prefiere la cuerda? Puesto que la teoría de cuerdas es una teoría bien definida, parece enigmático que los físicos no puedan calcular la respuesta.

Lo único seguro es que los físicos seguirán trabajando a la búsqueda de la solución que, más pronto o más tarde, llegará.

Efecto túnel a través del espacio y del tiempo

En definitiva, estamos planteando la misma cuestión propuesta por Kaluza, cuando en 1.919 escribió una carta a Einstein proponiéndole su teoría de la quinta dimensión para unificar el electromagnetismo de James Clark Maxwell y la propia teoría de la relatividad general, ¿dónde está la quinta dimensión?, pero ahora en un nivel mucho más alto. Como Klein señaló en 1.926, la respuesta a esta cuestión tiene que ver con la teoría cuántica. Quizá el fenómeno más extraordinario (y complejo) de la teoría cuántica es el efecto túnel.

El efecto túnel se refiere al hecho de que los electrones son capaces de atravesar una barrera, al parecer infranqueable, hacia una región que estaría

prohibida si los electrones fuesen tratados como partículas clásicas. El que haya una probabilidad finita de que un electrón haga un túnel entre una región clásicamente permitida a otra que no lo está, surge como consecuencia de la mecánica cuántica. El efecto es usado en el diodo túnel. La desintegración alfa es un ejemplo de proceso de efecto túnel.

Antes preguntábamos, en relación a la teoría de Kaluza-Klein, el destino o el lugar en el que se encontraba la quinta dimensión.

La respuesta de Klein a esta pregunta fue ingeniosa al decir que estaba enrollada o compactada en la distancia o límite de Planck, ya que, cuando comenzó el Big Bang, el universo se expandió sólo en las cuatro dimensiones conocidas de espacio y una de tiempo, pero esta dimensión no fue afectada por la expansión y continua compactada en $L_p = \sqrt{G\hbar/c^3}$ cuyo valor es del orden de 10^{-35} metros, distancia que no podemos ni tenemos medios de alcanzar, es 20 ordenes de magnitud menor que el protón que está en 10^{-15} metros.

¿Cómo pueden estar enrolladas unas dimensiones?

Bueno, igual que para explicar de manera sencilla la gravedad mediante el ejemplo de una sábana estirada por los 4 extremos, en la que ponemos un enorme peso en su centro y se forma una especie de hondonada que distorsiona la superficie antes lisa de la sábana, al igual que un planeta distorsiona el espacio a su alrededor, de manera tal que cualquier objeto que se acerca a la masa del objeto pesado, se ve atraído hacia él. Pues bien, en las dimensiones de espacio enrolladas, utilizamos el símil de la sábana con bandas elásticas en las esquinas.

La sábana que tenemos es pequeña y la cama es grande. Con esfuerzo logramos encajar las cuatro esquinas, pero la tensión es demasiado grande; una de las bandas elásticas salta de una esquina, y la sábana se enrolla. Este proceso se llama ruptura de simetría. La sábana uniformemente estirada posee un alto grado de simetría. Se puede girar la cama 180° alrededor de cualquier eje y la sábana permanece igual. Este estado altamente simétrico se denomina falso vacío. Aunque el falso vacío aparece muy simétrico, no es estable. La sábana no quiere estar en esta condición estirada. Hay demasiada tensión y la energía es demasiado alta. Pero la sábana elástica salta y se enrolla. La simetría se rompe y la sábana pasa a un estado de energía más baja con menor simetría. Si notamos la sábana enrollada 180° alrededor de un eje ya no volvemos a tener la misma sábana.

Reemplazemos ahora la sábana por el espacio-tiempo decadimensional, es espacio-tiempo de simetría definitiva. En el comienzo del tiempo, el universo era perfectamente simétrico. Si alguien hubiera estado allí en ese instante, podría moverse libremente y sin problemas por cualquiera de las diez dimensiones. En esa época, la gravedad y las fuerzas débiles y fuertes y electromagnéticas estaban todas ellas unificadas por la supercuerda. Sin embargo, esta simetría no podía durar. El universo decadimensional, aunque perfectamente simétrico, era inestable. La energía existente muy alta, exactamente igual que la sábana, estaba en un falso vacío. Por lo tanto, el paso por efecto túnel hacia un estado de menor energía era inevitable. Cuando finalmente ocurrió el efecto túnel, tuvo lugar una transición de fase y se perdió la simetría.

Puesto que el universo empezó a dividirse en un universo de cuatro y otro de seis dimensiones, el universo ya no era simétrico. Seis dimensiones se habían enrollado (como la sábana elástica). Pero nótese que la sábana puede enrollarse de cuatro maneras, dependiendo de qué esquina haya saltado. Para el universo decadimensional, sin embargo, existen aparentemente millones de modos de enrollarse. Para calcular qué estado prefiere el universo decadimensional, necesitamos resolver la teoría de campos de cuerdas utilizando la teoría de transiciones de fase, el problema más difícil en la teoría cuántica.

Las transiciones de fase no son nada nuevo. Trasladémoslo a nuestras propias vidas. En un libro llamado *Pasajes*, el autor, Gail Sheehy, destaca que la vida no es un flujo continuo de experiencias, como parece, sino que realmente pasa por varios estadios, caracterizados por conflictos específicos que debemos resolver y por objetivos que debemos cumplir.

El psicólogo Eric Ericsson llegó a proponer una teoría de estadios psicológicos del desarrollo. Un conflicto fundamental caracteriza cada fase. Si este conflicto no queda resuelto, puede enconarse e incluso provocar una regresión a un periodo anterior. Análogamente, el psicólogo Jean Piaget demostró que el desarrollo mental de la primera infancia tampoco es un desarrollo continuo de aprendizaje, sino que está realmente caracterizado por estadios discontinuos en la capacidad de conceptualización de un niño. Un mes, un niño puede dejar de buscar una pelota una vez que ha rodado fuera de su campo de visión, sin comprender que la pelota existe aunque no la vea. Al mes siguiente, esto resultará obvio para el niño.

Esta es la esencia de la dialéctica. Según esta filosofía, todos los objetos (personas, gases, estrellas, el propio universo) pasan por una serie de estadios. Cada estadio está caracterizado por un conflicto entre dos fuerzas opuestas. La naturaleza de dicho conflicto determina, de hecho, la naturaleza del estadio. Cuando el conflicto se resuelve, el objeto pasa a un objetivo o estadio superior, llamado síntesis, donde empieza una nueva contradicción, y el proceso pasa de nuevo a un nivel superior.

Los filósofos llaman a esto transición de la “cantidad” a la “cualidad”. Pequeños cambios cuantitativos se acumulan hasta que, eventualmente, se produce una ruptura cualitativa con el pasado. Esta teoría se aplica también a las sociedades o culturas. Las tensiones en una sociedad pueden crecer espectacularmente, como lo hicieron en Francia a finales del siglo XVIII. Los campesinos se enfrentaban al hambre, se produjeron motines espontáneos y la aristocracia se retiró a sus fortalezas. Cuando las tensiones alcanzaron su punto de ruptura, ocurrió una **transición de fase** de lo **cuantitativo** a los **cualitativo**: los campesinos tomaron las armas, tomaron París y asaltaron la Bastilla.

Las transiciones de fases pueden ser también asuntos bastante explosivos. Por ejemplo, pensemos en un río que ha sido represado. Tras la presa se forma rápidamente un embalse con agua a enorme presión. Puesto que es inestable, el embalse está en el **falso vacío**. El agua preferiría estar en su verdadero vacío, significando esto que preferiría reventar la presa y correr aguas abajo, hacia un estado de menor energía. Así pues, una transición de fase implicaría un estallido de la presa, que tendría consecuencias desastrosas.

También podría poner aquí el ejemplo más explosivo de una bomba atómica, donde el falso vacío corresponde al núcleo inestable de uranio donde residen atrapadas enormes energías explosivas que son un millón de veces más poderosas, para masas iguales, que para un explosivo químico. De vez en cuando, el núcleo pasa por efecto túnel a un estado más bajo, lo que significa que el núcleo se rompe espontáneamente. Esto se denomina desintegración radiactiva. Sin embargo, disparando neutrones contra los núcleos de uranio, es posible liberar de golpe esta energía encerrada según la formula de Einstein $E = mc^2$. Por supuesto, dicha liberación es una explosión atómica; ¡menuda transición de fase!

Las nuevas características descubiertas por los científicos en las transiciones de fases es que normalmente van acompañadas de una ruptura de simetría. Al premio Nobel Abdus Salam le gusta la ilustración siguiente: consideremos una mesa de banquete circular, donde todos los comensales están sentados con una copa de champán a cada lado. Aquí existe simetría. Mirando la mesa del banquete reflejada en un espejo, vemos lo mismo: cada comensal sentado en torno a la mesa, con copas de champán a cada lado. Asimismo, podemos girar la mesa de banquete circular y la disposición sigue siendo la misma.

Rompamos ahora la simetría. Supongamos ahora que el primer comensal toma la copa que hay a su derecha. Siguiendo la pauta, todos los demás comensales tomaran la copa de champán de su derecha. Nótese que la imagen de la mesa del banquete vista en el espejo produce la situación opuesta. Cada comensal ha tomado la copa izquierda. De este modo, la simetría izquierda-derecha se ha roto.

Así pues, el estado de máxima simetría es con frecuencia también un estado inestable, y por lo tanto corresponde a un falso vacío.

Con respecto a la teoría de supercuerdas, los físicos suponen (aunque todavía no lo puedan demostrar) que el universo decadimensional original era inestable y pasó por efecto túnel a un universo de cuatro y otro de seis dimensiones. Así pues, el universo original estaba en un estado de falso vacío, el estado de máxima simetría, mientras que hoy estamos en el estado roto del verdadero vacío.

Al principio, cuando el universo era simétrico, sólo existía una sola fuerza que unificaba a todas las que ahora conocemos, la gravedad, las fuerzas electromagnéticas y las nucleares débil y fuerte, todas emergían de aquel plasma opaco de alta energía que lo inundaba todo. Más tarde, cuando el universo comenzó a enfriarse, se hizo transparente y apareció la luz, las fuerzas se separaron en las cuatro conocidas, emergieron las primeras quarks para unirse y formar protones y neutrones, los primeros núcleos aparecieron para atraer a los electrones que formaron aquellos primeros átomos. Doscientos millones de años más tarde, se formaron las primeras estrellas y galaxias. Con el paso del tiempo, las estrellas sintetizaron los elementos pesados de nuestros cuerpos, fabricados en supernovas que estallaron, incluso antes de que se formase el Sol. Podemos decir, sin temor a equivocarnos, que una supernova anónima explotó hace miles de millones de años y sembró la nube de gas que dio lugar a nuestro sistema solar, poniendo allí los materiales complejos y necesarios para que algunos miles de millones de años más tarde, tras la evolución, apareciéramos nosotros.

Las estrellas evolucionan desde que en su núcleo se comienza a fusionar hidrógeno en helio, de los elementos más ligeros a los más pesados. Avanza creando en el horno termonuclear, cada vez, metales y elementos más pesados. Cuando llega al hierro y explota en la forma explosiva de una supernova. Luego, cuando este material estelar es otra vez recogido en una nueva estrella rica en hidrógeno, al ser de segunda generación (como nuestro Sol), comienza de nuevo el proceso de fusión llevando consigo materiales complejos de aquella supernova.

Puesto que el peso promedio de los protones en los productos de fisión, como el cesio y el kriptón, es menor que el peso promedio de los protones de uranio, el exceso de masa se ha transformado en energía mediante $E = mc^2$. Esta es la fuente de energía que subyace en la bomba atómica.

Así pues, la curva de energía de enlace no sólo explica el nacimiento y muerte de las estrellas y la creación de elementos complejos que también hicieron posible que nosotros estemos ahora aquí y, muy posiblemente, será también el factor determinante para que, lejos de aquí, en otros sistemas solares a muchos años luz de distancia, puedan florecer otras especies inteligentes que, al igual que la especie humana, se pregunten por su origen y estudien los fenómenos de las fuerzas fundamentales del universo, los componentes de la materia y, como nosotros, se interesen por el destino que nos espera en el futuro.

Cuando alguien oye por vez primera la historia de la vida de las estrellas, generalmente (lo sé por experiencia), no dice nada, pero su rostro refleja escepticismo. ¿Cómo puede vivir una estrella 10.000 millones de años? Después de todo, nadie ha vivido tanto tiempo como para ser testigo de su evolución.

Sin embargo, tenemos los medios técnicos y científicos para saber la edad que tiene, por ejemplo, el Sol.

Nuestro Sol, la estrella alrededor de la que giran todos los planetas de nuestro Sistema Solar (hay que eliminar a Plutón de la lista, ya que en el último Congreso Internacional han decidido, después de más de 20 años, que no tiene categoría para ser un planeta), la estrella más cercana a la Tierra (150 millones de Km = UA), con un diámetro de 1.392.530 Km, tiene una edad de 4.500 millones de años.

Es tal su densidad, es tal su enormidad que, como se explicó en otro pasaje anterior de este mismo trabajo, cada segundo transforma por medio de fusión nuclear, 4.654.000 toneladas de hidrógeno en 4.650.000 toneladas de helio; las 4.000 toneladas restantes son lanzadas al espacio exterior en

forma de luz y calor, de la que una parte nos llega a la Tierra y hace posible la vida. Se calcula que al Sol le queda material de fusión para otros 4.500 millones de años. Cuando transcurra dicho periodo de tiempo, se convertirá en una gigante roja, explotará como nova y se transformará finalmente en una estrella enana blanca. Para entonces, ya no podremos estar aquí.

Cuando mentalmente me sumerjo en las profundidades inmensas del universo que nos acoge, al ser consciente de su enormidad, veo con claridad meridiana lo insignificante que somos, en realidad, en relación al universo. Como una colonia de bacterias que habitan en una manzana, allí tienen su mundo, lo más importante para ellas, y no se paran a pensar que puede llegar un niño que, de un simple puntapié, las envíe al infierno.

Igualmente, nosotros nos creemos importantes dentro de nuestro cerrado y limitado mundo en el que, de momento, estamos confinados. Podemos decir que hemos dado los primeros pasos para dar el salto hacia otros mundos, pero aún nos queda un largo recorrido por delante.

Tendremos que dominar la energía del Sol, ser capaces de fabricar naves espaciales que sean impenetrables a las partículas que a cientos de miles de trillones circulan por el espacio a la velocidad de la luz, poder inventar una manera de imitar la gravedad terrestre dentro de las naves para poder hacer la vida diaria y cotidiana dentro de la nave sin estar flotando todo el tiempo y, desde luego, buscar un combustible que procure velocidades relativistas, cercanas a c , ya que de otra manera, el traslado por los mundos cercanos se haría interminable. Finalmente, y para escapar del sistema solar, habría que buscar la manera de romper la barrera de la velocidad de la luz.

¿Viajar en el tiempo?

Me hace “gracia” ver como mucha gente, incluso científicos, se atreven a dar su opinión sobre cuestiones que no conocen.

La mayoría de los científicos que no han estudiado seriamente las ecuaciones de Einstein, desprecian el viaje en el tiempo como una tontería, algo que sólo es aplicable a relatos sensacionalistas e historias fantásticas. Sin embargo, la situación que realmente nos encontramos es bastante compleja.

Para resolver la cuestión debemos abandonar la teoría más sencilla de la relatividad especial, que prohíbe el viaje en el tiempo, y adoptar toda la potencia de la teoría de la relatividad general, que puede permitirlo. La relatividad general tiene una validez mucho más amplia que la relatividad especial. Mientras que la relatividad especial sólo describe objetos que se mueven a velocidad constante muy lejos de cualquier estrella, la teoría de la relatividad general es mucho más potente, capaz de describir cohetes que se aceleran cerca de estrellas supermasivas y agujeros negros. La teoría general sustituye así algunas de las conclusiones más simples de la teoría especial. Para cualquier físico que haya analizado seriamente las matemáticas del viaje en el tiempo dentro de la teoría de la relatividad general de Einstein, la conclusión final, de forma bastante sorprendente, no está ni mucho menos clara.

Kip S. Thorne, un físico especialista en relatividad general y agujeros negros mundialmente conocido, cree que los viajes en el tiempo serán posibles algún día a través de los agujeros de gusano y utilizando para ello materia exótica, que mantendría abierta las bocas del agujero que nos llevaría a través del hipervacio a otros lugares lejanos del universo.

Los defensores del viaje en el tiempo señalan que las ecuaciones de Einstein de la relatividad general permiten ciertas formas de viaje en el tiempo. Admiten, sin embargo, que las energías necesarias para doblar el tiempo en un círculo son tan grandes que las ecuaciones de Einstein ya no serían válidas. En la región físicamente interesante en la que el viaje en el tiempo se convierte en una posibilidad seria, la teoría cuántica domina sobre la relatividad general.

Recordemos que las ecuaciones de Einstein establecen que la curvatura del espacio y el tiempo están determinadas por el contenido de materia-energía del universo. Es posible, de hecho, encontrar configuraciones de

materia-energía suficientemente poderosas para forzar la curvatura del tiempo y permitir el viaje en el tiempo. Sin embargo, las concentraciones de materia-energía para doblar el tiempo hacia atrás son tan enormes que la relatividad general deja de ser válida y las correcciones cuánticas empiezan a dominar sobre la relatividad. Así pues, el viaje en el tiempo requiere un veredicto final que no puede ser pronunciado a través de las ecuaciones de Einstein, que dejan de ser válidas en los campos gravitatorios extraordinariamente grandes, donde esperamos que la teoría cuántica de la gravedad se haga dominante.

Aquí es donde la teoría del hiperespacio puede zanjar la cuestión. Puesto que la teoría cuántica y la teoría de la gravedad de Einstein están unidas en el espacio decadimensional, esperamos que la cuestión del viaje en el tiempo será establecida definitivamente por la teoría del hiperespacio. Como en el caso de los agujeros de gusano y las ventanas dimensionales, el capítulo final se escribirá cuando incorporemos toda la potencia de la teoría del hiperespacio.

De todas las maneras y desde todos los ángulos que lo podamos mirar, si algún día las máquinas del tiempo son posibles, el peligro estaría servido. ¿Quién sería el encargado de controlar su uso? ¿Quién se encargaría de controlar al encargado? y así podríamos seguir indefinidamente, tal es el volumen de gravedad del problema que generaría la existencia de máquinas del tiempo para viajar hacia atrás o hacia delante.

El caos y los estragos rasgarían el tejido de nuestro universo. Millones de personas volverían hacia atrás en el tiempo para entrometerse en su propio pasado y en el pasado de los demás para tratar de reescribir la Historia. ¿Quién no hizo en el pasado alguna cosa de la que se arrepiente o la dejó de hacer, cambiando así el rumbo de su vida? Todos, si pudiéramos, querríamos arreglar eso.

La carrera que no estudiamos, aquella oportunidad desaprovechada, la mujer de nuestra vida que por cobardía dejamos ir, ese tren que no cogimos... Cualquiera de estas situaciones, de haber sido al contrario habría

cambiado el curso de nuestras vidas que están regidas, siempre, por la causalidad. Todo lo que ocurre es la consecuencia de lo que ocurrió.

También sería difícil evitar algunas tentaciones de gente con moralidad y conciencia adaptable y elástica, que querían viajar al pasado para eliminar al padre de su enemigo y hacer posible que éste no naciera. Las paradojas temporales estarían al orden del día.

El viaje en el tiempo significaría que nunca podría existir una historia estable de los sucesos históricos que podrían ser cambiados a placer del consumidor. Pensemos que en los tiempos de Alejandro Magno, viajamos en el tiempo y llevamos a sus enemigos un cargamento de armas modernas; que pudiéramos haber facilitado a Galileo telescopios de última generación y modernos ordenadores. También se podría evitar la crucifixión de Cristo, facilitar a Faraday datos técnicos inexistentes en su tiempo o, por poner otro ejemplo, haber encerrado por loco a Hitler evitando aquel horror.

Obviamente, la mayoría de los científicos no se sienten muy felices con esta desagradable posibilidad que lo trastocaría todo en un continuo caos, eliminaría la Historia y haría inútil la memoria, la experiencia, el conocimiento adquirido a través del esfuerzo personal y un sin fin de situaciones que ahora tenemos y nos hacen ser como somos.

Por mi parte (es una humilde opinión), creo más fácil que consigamos burlar el límite impuesto por la velocidad de la luz (digo burlar, esquivar, no superar) o conseguir, como lo hacen en la serie Star Trek, trasladarnos mediante desintegración molecular que se integra en el punto de llegada de manera instantánea al momento exacto de la partida, que viajar hacia atrás en el tiempo.

El tiempo futuro es algo inexistente, aún no ha llegado, es algo que sabemos que vendrá pero que aún no está en nuestro universo. ¿Cómo se puede viajar a un lugar y a un tiempo que no existen?

Por otra parte, si lo pensamos detenidamente, la cuestión del tiempo no es nada fácil de entender; en realidad, es una ilusión pensar en él en tres fases que llamamos pasado, presente y futuro. El tiempo es algo que inexorablemente no deja de fluir a medida que se expansiona el universo, siempre está avanzando, no tiene intermitencias para que podamos decir: ¡estamos en el presente! Sería mentira. En realidad, vivimos siempre en un instante del futuro cercano al presente-pasado.

Cuando comencé a escribir esta misma página, ahora es pasado, pasó por un presente efímero y me trajo a este instante futuro que ya deja de ser presente para ser pasado. Cada millonésima de segundo que pasa, transforma, a escala infinitesimal, nuestra realidad de tiempo.

No, no es nada fácil determinar dónde estamos, lo que es presente ya es pasado para convertirse en futuro, todo en fracciones de segundo.

Pasado + Presente + Futuro, en realidad es una misma cosa ¡TIEMPO! que para entendernos mejor hemos fraccionado en distintos niveles que nos sitúan en lo que fue, en lo que es y en lo que será.

¿Quién no ha oído decir alguna vez? “Hay que ver lo mayor que está este niño, parece que fue ayer cuando nació”.

Pues ahí tenemos un ejemplo de la realidad de lo que es el tiempo, algo que no se para, algo que surgió hace ahora 13.500 millones de años y que incansable, imparable, continuaría fluyendo ajeno a todo cuanto le rodea y que, al menos en el universo que conocemos, sólo dejará de fluir, si la densidad crítica (la cantidad de materia que contiene el universo) es lo bastante grande como para producir el Big Crunch, en cuyo caso, toda la materia existente en el universo, se juntaría de nuevo en una singularidad; el tiempo y el espacio dejarían de existir y, probablemente, todo comenzaría de nuevo con otro Big Bang.

¿Alguien puede asegurar que nuestro universo es el primero de una larga serie?

¡Claro que no!

No sería descabellado pensar que nuestro universo es uno de los muchos universos que antes que él existió y que, al cumplir su ciclo, desaparezca para hacer posible la llegada de un nuevo universo, con un nuevo tiempo, un nuevo espacio y unas nuevas especies en multitud de nuevas estrellas y nuevos mundos.

Si es así como realmente sucede, ¿todos los universos que han existido antes o que existirán después tendrán las mismas propiedades que este nuestro?

No creo que en los ciclos de universos se produzcan siempre las mismas consecuencias y estén presentes las mismas fuerzas. Simplemente con que la masa o la carga del electrón fuesen diferentes, el universo también loería. Los equilibrios de nuestro universo son muy sensibles, la materia que podemos observar: estrellas y galaxias, planetas y nosotros mismos, son posibles gracias al equilibrio existente a niveles nucleares. Los quarks confinados por gluones que fabrican la fuerza nuclear fuerte, se junta para crear protones y neutrones que conforman los núcleos de la materia y, al ser rodeados por los electrones, dan lugar a los átomos.

En cromodinámica cuántica, la propiedad de libertad asintótica hace que la interacción entre quarks sea más débil cuanto más cerca están unos de otros (confinación de quarks) y la fuerza crece cuando los quarks tratan de separarse, es la única fuerza que crece con la distancia. Los quarks y los gluones están confinados en una región cuyo valor se define por:

$$R \approx \hbar c / \Lambda \approx 10^{-13} \text{ cm.}$$

En realidad, la única manera de que pudiéramos observar quarks libres, sería en un ambiente con la temperatura del universo primitivo, es la temperatura de desconfinamiento.

De nuevo, como me ocurre con frecuencia, me he pasado de un tema (el Big Crunch) a otro (los quarks), así que cerremos este capítulo del Big Crunch que está referido a un *estado final* de un universo cerrado de Friedmann (es decir, uno en el que la densidad excede a la densidad crítica). Dicho universo se expande desde el Big Bang inicial, alcanza un radio máximo, y luego colapsa hacia un Big Crunch, donde la densidad de la materia se vuelve infinita después de que la gravedad haga parar la expansión de las galaxias que, lentamente al principio, y muy rápidamente después, comenzarán a desplazarse en sentido contrario, desandarán el camino para que toda la materia del universo se junte en un punto, formado una singularidad en la que dejaría de existir el espacio-tiempo. Después del Big Crunch debería haber otra fase de expansión y colapso, dando lugar a un universo oscilante. universo que se va y universo que viene.

Pero, ¿y nosotros?, ¿qué pintamos aquí?

¡Mirado así no parece que seamos gran cosa!

Antes de pasar a otros temas, retomemos el de los viajes en el tiempo y las paradojas que pueden originar.

Una versión de la máquina del tiempo de Thorne consiste en dos cabinas, cada una de las cuales contiene dos placas de metal paralelas. Los intensos cambios eléctricos creados entre cada par de placas de metal paralelas (mayores que cualquier cosa posible con la tecnología actual) rizan el tejido del espacio-tiempo, creando un agujero en el espacio que une las dos cabinas. Una cabina se coloca entonces en una nave espacial y es acelerada a velocidades próximas a la de la luz, mientras que la otra cabina permanece en la Tierra. Puesto que un agujero de gusano puede conectar dos regiones des espacio con tiempos diferentes, un reloj en la cabina de la nave marcha más despacio que un reloj en la cabina de la Tierra. Debido a que el tiempo transcurriría a diferentes velocidades en los dos extremos del agujero de gusano, cualquiera que entrase en un extremo del agujero de gusano sería instantáneamente lanzado al pasado o al futuro.

Parece que la función de las placas metálicas paralelas consiste en generar la materia o energía exótica necesaria para que las bocas de entrada y salida del agujero de gusano permanezcan abiertas y, como la materia exótica genera energía negativa, los viajeros del tiempo no experimentarían fuerzas gravitatorias superiores a 1g, viajando así al otro extremo de la galaxia e incluso del universo o de otro universo paralelo de los que promulga Stephen Hawking. En apariencia, el razonamiento matemático de Thorne es impecable conforme a las ecuaciones de Einstein.

Normalmente, una de las ideas básicas de la física elemental es que todos los objetos tienen energía positiva. Las moléculas vibrantes, los vehículos que corren, los pájaros que vuelan, los niños jugando tienen todos energía positiva. Por definición, el espacio vacío tiene energía nula. Sin embargo, si podemos producir objetos con “energías negativas” (es decir, algo que tiene un contenido de energía menor que el vacío), entonces podríamos ser capaces de generar configuraciones exóticas de espacio y tiempo en las que el tiempo se curve en un círculo.

Este concepto más bien simple se conoce con un nombre que suena complicado: la condición de energía media débil (average weak energy condition, o AWEC). Como Thorne tiene cuidado en señalar, la AWEC debe ser violada; la energía debe hacerse temporalmente negativa para que el viaje en el tiempo tenga éxito. Sin embargo, la energía negativa ha sido históricamente anatema para los relativistas, que advierten que la energía negativa haría posible la *antigravedad* y un montón de otros fenómenos que nunca se han visto experimentalmente.

Pero Thorne señala al momento que existe una forma de obtener energía negativa, y esto es a través de la teoría cuántica.

En 1948, el físico holandés Hendrik Casimir demostró que la teoría cuántica puede crear energía negativa: tomemos simplemente dos placas de metal paralelas y descargadas ordinariamente, el sentido común nos dice que estas dos placas, puesto que son eléctricamente neutras, no ejercen ninguna fuerza entre sí. Pero Casimir demostró que, debido al principio de incertidumbre de Werner Heisenberg, en el vacío que separa estas dos placas

existe realmente una agitada actividad, con billones de partículas y antipartículas apareciendo y desapareciendo constantemente. Aparecen a partir de la “nada” y vuelven a desaparecer en el “vacío”. Puesto que son tan fugaces, son, en su mayoría, inobservables, y no violan ninguna de las leyes de la física. Estas “partículas virtuales” crean una fuerza neutra atractiva entre estas dos placas que Casimir predijo que era medible.

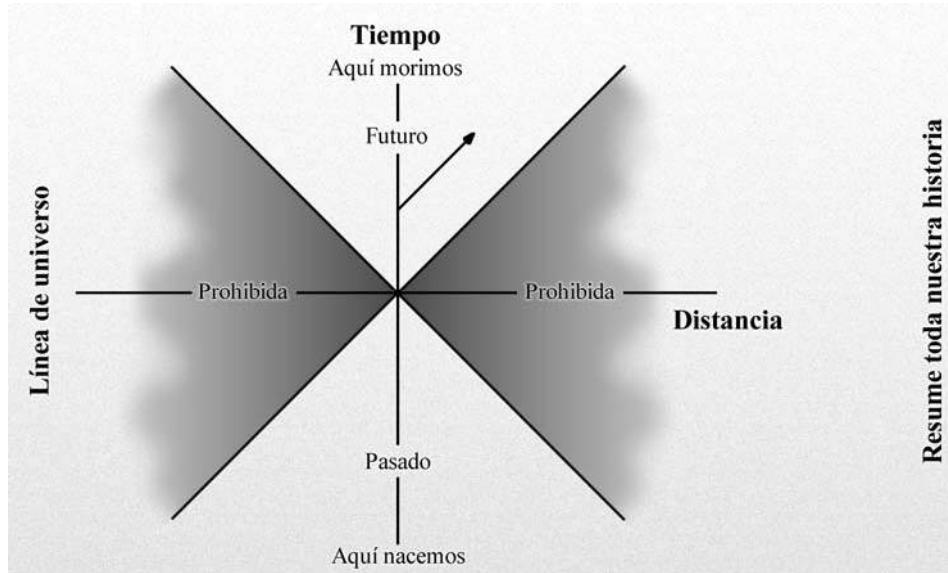
Cuando Casimir publicó el artículo, se encontró con un fuerte escepticismo. Después de todo, ¿cómo pueden atraerse dos objetos eléctricamente neutros, violando así las leyes normales de la electricidad clásica? Esto era inaudito. Sin embargo, en 1.985 el físico M. J. Sparnaay observó este efecto en el laboratorio, exactamente como había predicho Casimir. Desde entonces (después de un sin fin de comprobaciones), ha sido bautizado como el *efecto Casimir*.

Una manera de aprovechar el efecto Casimir mediante grandes placas metálicas paralelas descargadas, sería el descrito para la puerta de entrada y salida del agujero de gusano de Thorne para poder viajar en el tiempo.

Por el momento, al no ser una propuesta formal, no hay veredicto sobre la máquina del tiempo de Thorne. Su amigo, Stephen Hawking, dice que la radiación emitida en la entrada del agujero sería suficientemente grande como para contribuir al contenido de materia y energía de las ecuaciones de Einstein. Esta realimentación de las ecuaciones de Einstein distorsionaría la entrada del agujero de gusano, incluso cerrándolo para siempre. Thorne, sin embargo, discrepa en que la radiación sea suficiente para cerrar la entrada.

Aquí es donde interviene la teoría de supercuerdas. Puesto que la teoría de supercuerdas es una teoría completamente mecanocuántica que incluye la teoría de la relatividad general de Einstein como un subconjunto, puede ser utilizada para calcular correcciones a la teoría del agujero de gusano original.

En principio nos permitiría determinar si la condición AWEC es físicamente realizable, y si la entrada del agujero de gusano permanece abierta para que los viajeros del tiempo puedan disfrutar de un viaje al pasado.



Nuestra línea de universo resume toda nuestra historia, desde que nacemos hasta que morimos. Cuanto más rápido nos movemos más se inclina la línea de universo. Sin embargo, la velocidad más rápida a la que podemos viajar es la velocidad de la luz. Por consiguiente, una parte de este diagrama espacio-temporal está “prohibida”; es decir, tendríamos que ir a mayor velocidad que la luz para entrar en esta zona prohibida por la relatividad especial de Einstein, que nos dice que nada en nuestro universo puede viajar a velocidades superiores a c .

Antes comentaba algo sobre disfrutar de un viaje al pasado pero, pensándolo bien, no estaría yo tan seguro. Rápidamente acuden a mi mente múltiple paradojas que, de una u otra especie han sido narradas, principalmente por escritores de ciencia-ficción que, por lo general, son los precursores del futuro.

Tenemos una que, ideada por Robert A. Heinlein en su clásico relato corto “All you Zombies”, nos cuenta lo siguiente:

“Una niña es misteriosamente abandonada en un orfanato de cierto lugar en el año 1.945. La niña, Jane, crece solitaria y triste, sin saber quiénes son sus padres, hasta que un día se siente extrañamente atraída por un vagabundo. Ella se enamora de él, pero precisamente cuando parece que las cosas empiezan a ir bien para Jane, ocurren una serie de desastres. En primer lugar, se queda embarazada del vagabundo, que seguidamente desaparece. En segundo lugar, durante el complicado parto, los doctores descubren que Jane tiene dos conjuntos de órganos sexuales y, para salvar su vida, se ven obligados a transformar quirúrgicamente a “ella” en “él”. Finalmente, un misterioso extraño raptó a su hija de la sala de partos.

Destrozado por estos desastres, rechazado por la sociedad, desahuciado por el destino, “él” se convierte en un borracho vagabundo. Jane no sólo perdió a sus padres y a su único amor, sino que también ha perdido a su hija.

Años más tarde, en 1.970, entra en un bar solitario y cuenta, entre copa y copa, su patética historia a un viejo camarero. El compasivo camarero ofrece al vagabundo la oportunidad de vengarse del extraño que la dejó embarazada y abandonada, a condición de que se una al “cuerpo de viajeros del tiempo”. Ambos entran en una máquina del tiempo y el camarero deja al vagabundo en 1.963. El vagabundo se siente fuerte y extrañamente atraído por una joven huérfana, que luego deja embarazada.

El camarero sigue a continuación nueve meses hacia delante, secuestra a la niña del hospital y la abandona en un orfanato en 1.945. Luego, el camarero deja al vagabundo totalmente confuso en 1.985, para alistarse en el cuerpo de viajeros del tiempo. El vagabundo consigue rehacer su vida, se convierte en un miembro anciano y respetado del cuerpo de viajeros del tiempo, y luego se disfraza de camarero y tiene una misión más difícil: una cita con el destino, encontrar a un viejo vagabundo en un bar en el año 1.970”.

La pregunta a todo esto es: ¿quién es la madre, el padre, el abuelo, la abuela, el hijo, la hija, la nieta el nieto... de Jane? La muchacha, el vagabundo y el camarero, por supuesto, son todos la misma persona. Estas para-

dojas pueden causar mareos cuando tratamos de desentrañar la retorcida parentela de Jane.

Si viajar en el tiempo finalmente pudiera ser posible, cosas parecidas a esta locura ¡“podrían ocurrir”!

La naturaleza no sólo es más extraña de lo que suponemos; es más extraña de lo que podamos suponer.

I. B. S. Haldane

Universos múltiples y la función de onda del Universo

¿Quién no conoce al cosmólogo Stephen Hawking que, privado de sus cuerdas vocales, incapaz de sujetar un lápiz, utiliza dispositivos mecánicos para comunicarse y realiza todos los cálculos en su cabeza?

Pues, este señor en sillita de ruedas no sólo lleva a la práctica un intenso programa de investigación, sino que, además, le queda tiempo libre para escribir libros de éxito, tales como *Historia del Tiempo* y otros, además de dar conferencias por todo el mundo y ocupar la cátedra lucasiana de Cambridge que un día fue de Isaac Newton, donde imparte clases de física.

Hawking, junto con su amigo Kip S. Thorne, es uno de los mayores expertos mundiales en el conocimiento de la relatividad general y de los agujeros negros.

Tampoco Stephen Hawking, como antes le ocurrió a Einstein, ha podido resistir la tentación de embarcarse en la mayor búsqueda jamás soñada por un físico, la unificación final de la teoría de la gravedad de Einstein y la teoría cuántica. Como resultado, también él se ha sentido maravillado por la coherencia de la teoría decadimensional, y de hecho cierra su conocido libro con un análisis de la misma.

Hawking ya no dedica el grueso de su energía creativa al campo que le hizo mundialmente famoso: los agujeros negros, que ahora ya están superados. Él persigue una pieza mayor: la teoría de campo unificado. La teoría de cuerdas, recordemoslo, empezó como una teoría cuántica y posteriormente absorbió a la teoría de la gravedad de Einstein. Hawking, partiendo como un puro relativista clásico más que como un teórico cuántico, enfoca el problema desde el punto de vista inverso. Él y su colega James Hartley parten del universo clásico de Einstein, y luego ¡cuantizan el universo entero!

Hawking es uno de los fundadores de una nueva disciplina científica, denominada cosmología cuántica. A primera vista, esto parece una contradicción en los términos. La palabra cuántico se aplica al mundo infinitesimalmente pequeño de los quarks y los neutrinos, mientras que cosmología significa la extensión casi ilimitada del espacio exterior. Sin embargo, Hawking y otros creen ahora que las preguntas finales de la cosmología sólo pueden ser contestadas por la teoría cuántica. Hawking lleva la teoría cuántica a las últimas consecuencias cuánticas, que permiten la existencia de un número infinito de universos paralelos.

Recordemos que el punto de partida de la teoría cuántica está en el **cuanto** de acción de Planck, h , que más tarde desarrollaron Werner Heisenberg, con su principio de incertidumbre, y Schrödinger, con su función de ondas, Ψ , que describe todos los diversos estados posibles de una partícula. Cuanto más grande y oscuro es el nubarrón, mayor es la concentración de vapor de agua y polvo en el lugar en el que está situada la nube, con lo cual, podemos estimar rápidamente la probabilidad de encontrar grandes concentraciones de agua y polvo en ciertas partes del cielo.

El nubarrón puede compararse a una sola función de onda electrónica. Al igual que el nubarrón, esta llena todo el espacio. Análogamente, cuanto mayor es su valor en un punto, mayor es la probabilidad de encontrar allí el electrón. Así mismo, las funciones de onda pueden estar asociadas con objetos grandes, como personas. Ahora mismo, que estoy sentado en mi sillón de la mesa del despacho que tengo en mi casa para escribir sobre ciencia, sé que tengo una función de onda de probabilidad de Schrödinger. Si de algún modo pudiera ver mi función de onda, se parecería a una nube con una for-

ma muy aproximada a la de mi cuerpo. Sin embargo, algo de la nube se extenderá por todo el espacio, más allá de Júpiter e incluso más allá del Sistema Solar, aunque allí sea prácticamente nula. Esto significa que existe una probabilidad muy grande de que yo esté, de hecho, sentado en mi sillón y no en el planeta Júpiter. Aunque parte de mi función de onda se extienda incluso más allá de la Vía Láctea, hay sólo una posibilidad infinitesimal de que yo este sentado en otra galaxia.

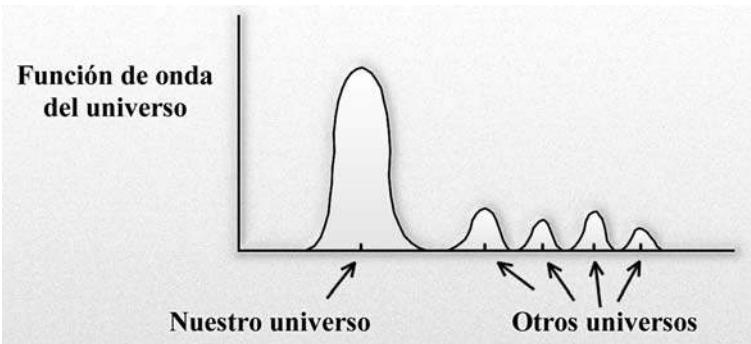
La nueva idea de Hawking consistía en tratar el universo entero como si fuera una partícula cuántica. Repitiendo algunos pasos simples, nos dirigimos a conclusiones esclarecedoras.

Empezamos con una función de onda que describe el conjunto de todos los universos posibles. Esto significa que el punto de partida de la teoría de Hawking debe ser un conjunto infinito de universos paralelos, la función de onda del universo. El análisis bastante simple de Stephen Hawking, reemplazando la palabra *partícula* por *universo*, ha conducido a una revolución conceptual en nuestras ideas sobre la cosmología.

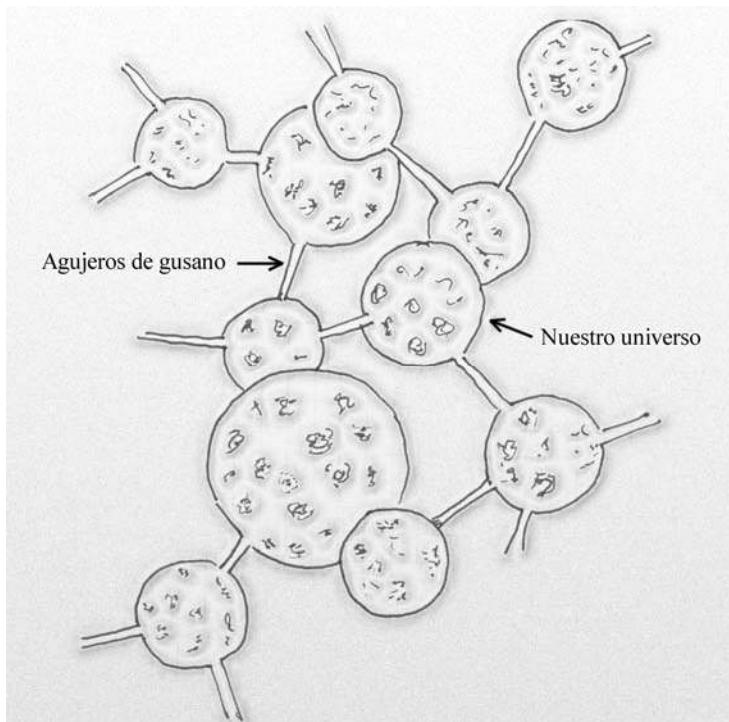
Según esta imagen, la función de onda del universo se extiende sobre todos los universos posibles.

El objetivo al que se enfrentan los cosmólogos cuánticos es verificar matemáticamente esta conjetura, demostrar que la función de onda del universo es grande para nuestro universo presente y prácticamente nula para los demás universos. Esto demostraría entonces que nuestro universo familiar es en cierto sentido único y también estable. Por el momento, los cosmólogos cuánticos son incapaces de resolver este importante problema.

Si tomamos a Hawking en serio, ello significa que debemos empezar nuestro análisis con un número infinito de todos los universos posibles en mutua coexistencia. Para decirlo de otra manera, la definición de la palabra universo ya no sería “todo lo que existe”; ahora significa “todo lo que puede existir”.



La cosmología cuántica de Hawking también supone que la función de onda del universo permite que estos universos colisionen. Pueden desarrollarse agujeros de gusano que unan estos universos. Sin embargo, estos agujeros de gusano no son como los que describí antes para viajar en el tiempo según dice Thorne y que conectan diferentes partes dentro del mismo espacio tetradimensional. Los nuevos agujeros de gusano conectan universos entre sí.



Nuestro universo puede ser uno entre un número infinito de universos paralelos, cada uno de los cuales está conectado a los demás por una serie infinita de agujeros de gusano. El viaje por estos agujeros de gusano es posible pero extremadamente improbable.

Veamos:

Pensemos, por ejemplo, en una gran colección de pompas de jabón suspendidas en el aire. Normalmente, cada pompa de jabón es como un universo en sí mismo, excepto que periódicamente choca con otra pompa para formar una más grande, o se divide en pompas más pequeñas. Las diferencias están en que cada pompa de jabón es ahora un universo decadimensional completo. Puesto que el espacio y el tiempo pueden existir sólo dentro de cada pompa, no hay tal cosa como espacio y tiempo entre las pompas. Cada pompa o universo en este caso, tiene su propio tiempo y su propio espacio auto-contenido. No tiene sentido decir que el tiempo transcurre a la misma velocidad en todos los universos. Deberíamos resaltar, sin embargo, que el viaje entre estos universos no está abierto a nosotros a causa de nuestro nivel tecnológico primitivo. Además, deberíamos resaltar también que las grandes transiciones cuánticas a esta escala son extremadamente raras y probablemente necesitan un tiempo mucho mayor que la duración de nuestro universo. La mayoría de estos universos son universos muertos, carentes de cualquier vida. En estos universos, las leyes de la física serían diferentes, y por lo tanto no satisfarían las necesidades físicas para permitir la vida.

Ante estas complejas cuestiones, el hecho mismo de que estemos aquí para plantearlas, como seres racionales y pensantes, es un auténtico milagro, ya que significa que deben haber ocurrido, necesariamente, complejas secuencias de sucesos para que a partir de la materia “inerte”, la mezcla de materiales complejos en condiciones excepcionales, hiciera surgir la vida.

Reparando en estas coincidencias cósmicas, el físico Freeman Dyson escribió en cierta ocasión: “*Cuando miramos en el universo e identificamos los muchos accidentes de la física y la astronomía que han colaborado en nuestro beneficio, casi parece que el universo debe haber sabido, en cierto sentido, que nosotros íbamos a venir*”.

Particularmente, creo que la vida llegó a este planeta por una serie de circunstancias muy especiales: tamaño, temperatura y distancia al Sol (idónea para no morir congelados o asados por una temperatura extrema), su atmósfera primitiva, las chimeneas marinas, la mezcla de elementos, y su transformación evolutiva, el oxígeno, la capa de ozono, los mares y océanos ¡el agua!, etc, etc.

Dada la inmensidad de nuestro universo, nuestro mismo caso (un sistema solar con planetas entre los que destaca uno que contiene vida inteligente), se habrá dado en otros muchos mundos similares o parecidos al nuestro, tanto en nuestra misma galaxia, la Vía Láctea, como en otras más lejanas. Me parece una estupidez que se pueda pensar que estamos solos en el universo; la lógica nos dice todo lo contrario.

Nuestro Sol, gracias al cual podemos existir, es una de las cien mil millones de estrellas que contiene nuestra galaxia. Existen miles de millones de sistemas solares compuestos por estrellas y planetas como los nuestros. ¿En verdad se puede pensar que somos los únicos seres vivos inteligentes de la galaxia?

Me parece que no. Creo que estamos bien acompañados.

El problema radica en que es difícil coincidir en el tiempo y en las enormes distancias que nos pueden separar.

El tiempo y el espacio nacieron juntos cuando nació el universo en el Big Bang, llevan creciendo unos 13.500-18.000 millones de años y, tanto el uno como el otro, son enormes, descomunalmente grandes para que nuestras mentes lo asimilen de forma real.

La estrella más cercana a nosotros, Alfa Centauri, está situada a una distancia de 4'3 años luz. El año luz es la distancia que recorre la luz, o cualquier otra radiación electromagnética, en un año trópico a través del espacio. Un año luz es igual a $9'4607 \times 10^{12}$ Km, ó 63.240 unidades astronómicas, ó 0'3066 parsecs.

La luz viaja por el espacio a razón de 299.792.458 m/s, una Unidad Astronómica es igual a 150 millones de Km (la distancia que nos separa del Sol). El pársec es una unidad galáctica de distancias estelares, y es igual a 3'2616 años luz o 206.265 unidades astronómicas. Existen para las escalas galácticas o intergalácticas, otras medidas como el kiloparsec (Kpc) y el megaparsec (Mpc).

Nos podríamos entretener para hallar la distancia que nos separa de un sistema solar con posibilidad de albergar vida y situado a 118 años luz de nosotros. ¿Cuándo llegaríamos allí?

Nuestros ingenios espaciales que enviamos a las lunas y planetas vecinos, viajan por el espacio exterior a 50.000 Km/h. Es una auténtica frustración el pensar lo que tardarían en llegar a la estrella cercana Alfa Centauro a más de 4 años luz.

Así que la distancia es la primera barrera infranqueable (al menos de momento). La segunda, no de menor envergadura, es la coincidencia en el tiempo.

Se piensa que una especie tiene un tiempo limitado de existencia antes de que, por una u otra razón, desaparezca.

Nosotros mismos, si pensamos en el tiempo estelar o cósmico, llevamos aquí una mínima fracción de tiempo. Dadas las enormes escalas de tiempo y de espacio, es verdaderamente difícil coincidir con otras civilizaciones que, probablemente, existieron antes de aparecer nosotros o vendrán después de que estemos extinguidos. Por otra parte, el desplazarse por esas distancias galácticas de cientos de miles de millones de kilómetros, no parece nada fácil, si tenemos en cuenta la enorme barrera que nos pone la velocidad de la luz. Esta velocidad, según demuestra la relatividad especial de Albert Einstein, no se puede superar en nuestro universo.

Con este negro panorama por delante habrá que esperar a que un día en el futuro, venga algún genio matemático y nos de la fórmula para burlar esta

barrera de la velocidad de la luz, para hacer posible visitar otros mundos poblados por otros seres.

También cabe esperar que sean ellos los más adelantados y nos visiten a nosotros.

Por mi parte, preferiría que seamos nosotros los visitantes. Me acuerdo de Colón, de Pizarro o Hernán Cortes e incluso de los ingleses en sus viajes de colonización, y la verdad, lo traslado a seres extraños con altas tecnologías a su alcance y con el dominio de enormes energías visitando un planeta como el nuestro, y dicho pensamiento no me produce la más mínima gracia. Más bien es gélido escalofrío.

Según todos los indicios que la ciencia tiene en su poder, no parece que por ahora y durante algún tiempo, tengamos la posibilidad de contactar con nadie de más allá de nuestro sistema solar. Por nuestra parte existe una imposibilidad de medios. No tenemos aún los conocimientos necesarios para fabricar la tecnología precisa que nos lleve a las estrellas lejanas a la búsqueda de otros mundos. En lo que se refiere a civilizaciones extraterrestres, si las hay actualmente, no deben estar muy cerca; nuestros aparatos no han detectado señales que dejarían las sociedades avanzadas mediante la emisión de ondas de radio y televisión y otras similares. También pudiera ser, no hay que descartar nada, que estén demasiado adelantados para nosotros y oculten su presencia mientras nos observan, o atrasados hasta el punto de no emitir señales.

De cualquier manera, por nuestra parte, sólo podemos hacer una cosa: seguir investigando y profundizando en el conocimiento del universo para desvelar sus misterios y conseguir algún día (aún muy lejano), viajar a las estrellas, única manera de escapar del trágico e inevitable final de nuestra fuente de vida, el Sol. Dentro de unos 4.000 millones de años, como ya he dicho antes (páginas anteriores), el Sol se transformará en una estrella gigante roja cuya órbita irá más allá de Mercurio, Venus y seguramente la Tierra. Antes, la temperatura evaporará toda el agua del planeta Tierra, la vida no será posible. El Sol explotará como estrella nova y lanzará sus capas exteriores al espacio exterior para que su viejo material forme nuevas estrellas.

Después, desaparecida la fuerza de fusión nuclear, la enorme masa del Sol, quedara a merced de su propio peso y la gravedad que generará estrujará, literalmente, al Sol sobre su núcleo hasta convertirla en una estrella enana blanca de enorme densidad y minúsculo diámetro (en comparación con el original). Más tarde, la estrella se enfriará y pasará a engrosar la lista de cadáveres estelares.

Para cuando ese momento este cercano, la humanidad, muy evolucionada y avanzada, estará colonizando otros mundos, tendrá complejos espaciales y ciudades flotando en el espacio exterior, como enormes naves-estaciones espaciales de considerables dimensiones que dará cobijo a millones de seres, con instalaciones de todo tipo que hará agradable y fácil la convivencia.

Modernas naves espaciales surcarán los espacios entre distintos sistemas solares y, como se ha escrito tantas veces, todo estará regido por una confederación de planetas en los que tomarán parte individuos de todas las civilizaciones que, para entonces, habrán contactado.

El avance en el conocimiento de las cosas está regida por la curiosidad y la necesidad. Debemos tener la confianza y la tolerancia, desechar los temores que traen la ignorancia, y, en definitiva, otorga una perspectiva muy distinta de ver las cosas y resolver los problemas. En tal situación, para entonces, la humanidad y las otras especie inteligentes tendrán instalado un sistema social estable, una manera de gobierno conjunto que tomará decisiones de forma colegiada por mayoría de sus miembros, y se vigilará aquellos mundos en desarrollo que, sin haber alcanzado el nivel necesario para engrosar en la Federación Interplanetaria de Mundos, serán candidatos futuros para ello, y la Federación vigilará por su seguridad y desarrollo en paz hasta que estén preparados.

También sabemos que el desconocimiento, el torpe egoísmo de unos pocos y sobre todo la ignorancia, es la madre de la desconfianza y, como ocurre hoy en pleno siglo XXI, los pueblos se miran unos a otros con temor; nadie confía a en nadie y en ese estado de tensión (que es el caso que se produce hoy día), a la más mínima salta una guerra que, por razones de reli-

gión mal entendida o por intereses, siempre dará el mismo resultado: la muerte de muchos inocentes que, en definitiva, nada tuvieron que ver en el conflicto. Los culpables e inductores, todos estarán seguros en sus refugios mientras mueren sus hermanos.

Es irrefutable esta desgraciada realidad que, sin que lo podamos negar, nos convierte en bárbaros mucho más culpables que aquellos de Atila, que al menos tenían la excusa de su condición primitiva y salvaje guiada por el instituto de la conquista y defensa de sus propias vidas.

¿Pero que excusa tenemos hoy?

Enviamos sondas espaciales a las lunas de Júpiter y al planeta Marte para que investiguen sus atmósferas, busquen agua y nos envíen nítidas fotografías de cuerpos celestes situados a cientos de millones de kilómetros de la Tierra.

Se construyen sofisticadas naves que surcan los cielos y los océanos llevando a cientos de pasajeros confortablemente instalados que son transportados de una a la otra parte del mundo.

Podemos transmitir imágenes desde Australia que en segundos pueden ser vistas en directo por el resto del mundo.

Tenemos en el espacio exterior telescopios como el Hubble, que nos envía constantemente al planeta Tierra imágenes de galaxias y sistemas solares situados a miles de millones de años luz de nosotros, y sin embargo, ¡¡medio mundo muere por el hambre, la miseria, la falta de agua y la enfermedad!!

¿Qué nos está pasando?

No creo que estemos muy acertados en la elección de nuestros dirigentes. Nuestro sistema está fallando y hace aguas por todas partes. Hay que cambiarlo todo, no podemos continuar permitiendo la hipocresía de que

unos pocos dispongan para ellos y sus familias de riquezas que, bien distribuidas, seguramente arreglarían la pobreza y sacarían de la miseria a muchísimas personas que, como se suele decir a menudo, también “son hijos de Dios”. Por mi parte, y ante la cruda realidad que desde hace siglos tenemos, lo dudo mucho, ya que de ser así, Dios habría hecho algo por sus desgraciados hijos que, sin embargo, además del hambre, la enfermedad y la pobreza, de vez en cuando tienen un regalito en forma de tifón, huracán con olas gigantes que arrasan sus miserables viviendas o algún volcán que despierta y les quema las casas y cosechas inundando sus aldeas de cenizas y lava candente.

Todo esto, algún día en el futuro lejano, cuando la humanidad por fin tenga cumplido su largísimo periodo de humanización, establezca la auténtica igualdad de derechos y obligaciones para todos que hoy, aunque se pone en los libros legales, nadie lleva realmente a la práctica y es sólo un anuncio de lo que algún día será una realidad. De momento, la cruda realidad es inmoral.

El físico Alan Harvey Guth dice francamente: “*El principio antrópico es algo que la gente propone si no pueden pensar en algo mejor que hacer.*”

Para Richard Feynman, el objetivo de un físico teórico es “*demostrarse a sí mismo que está equivocado en cuanto sea posible*”. Sin embargo, el principio antrópico es estéril y no puede ser refutado. Weinberg dijo: “*aunque la ciencia es claramente imposible sin científicos, no está claro que el universo sea imposible sin ciencia.*”¹

El debate sobre el principio antrópico (y por consiguiente sobre Dios) estuvo en letargo durante muchos años, aunque fue reactivado recientemente por la función de onda del universo de Hawking. Si Hawking está en lo cierto, entonces existen en realidad un número infinito de universos paralelos, muchos de ellos con diferentes constantes físicas. En algunos de ellos, quizá

¹ Principio en virtud del cual todo el universo observable debe ser como es, en lugar de ser de otra manera, pues de otra forma no nos sería posible observarlo. Hay principio antrópico débil y principio antrópico fuerte. Ver diferencias.

los protones se desintegran con demasiada rapidez, o las estrellas no pueden fabricar los elementos pesados por encima del hierro, o el Big Crunch tiene lugar demasiado deprisa porque su densidad crítica sobrepasa en mucho a la ideal y no da tiempo a que pueda comenzar la germinación de la vida, y así sucesivamente. De hecho, un número infinito de estos universos paralelos están muertos, sin las leyes físicas que puedan hacer posible la vida tal como la conocemos.

En tal universo paralelo (el nuestro), las leyes de la física eran compatibles con la vida que conocemos. La prueba es que nosotros estamos aquí para tratar esta cuestión. Si esto es cierto, entonces quizás no haya que invocar a Dios para explicar por qué la vida, por preciosa que sea, es posible en nuestro universo. Sin embargo, esto reabre la posibilidad del principio antrópico débil, es decir, que coexistimos con nuestros universos muertos y que el nuestro sea el único compatible para vida.

La segunda controversia estimulada por la función de onda del universo de Hawking es mucho más profunda y, de hecho, aun está sin resolver. Se denomina el *Gato de Schrödinger*.

La teoría cuántica, recordémoslo, afirma que para todo objeto existe una función de onda que mide la probabilidad de encontrar dicho objeto en un cierto punto del espacio y del tiempo. La teoría cuántica afirma también que nunca se conoce realmente el estado de una partícula hasta que se haya hecho una observación. Antes de que haya una medida, la partícula puede estar en uno de entre una diversidad de estados, descritos por la función de onda de Schrödinger. Por consiguiente, antes de que pueda hacerse una observación o medida, no se puede conocer realmente el estado de la partícula. De hecho, la partícula existe en un estado ultramundano, una suma de todos los estados posibles, hasta que se hace una medida.

Cuando esta idea fue propuesta por primera vez por Niels Bohr y Werner Heisenberg, Einstein se revolvió contra ella. “*¿Existe la luna sólo porque la mira un ratón?*”, le gustaba preguntar. Según la teoría cuántica, en su más estricta interpretación, la Luna, antes de que sea observada, no existe realmente tal como la conocemos. “*La Luna puede estar, de hecho, en uno*

cualquiera de entre un número infinito de estados, incluyendo el estado de estar en el cielo, de estar explotando, o de no estar allí en absoluto. Es el proceso de medida que consiste en mirarla el que decide que la Luna está girando realmente alrededor de la Tierra”. Decía Einstein con ironía.

Edwin Schrödinger, autor de la ecuación con su función de onda, se disgustó con estas interpretaciones de su ecuación. Para demostrar lo absurdo de la situación creada, Schrödinger colocó un gato imaginario en una caja cerrada. El gato estaba frente a una pistola, que está conectada a un contador Geiger, que a su vez está conectado a un fragmento de uranio. El átomo de uranio es inestable y sufrirá una desintegración radiactiva. Si se desintegra un núcleo de uranio, será detectado por el contador Geiger que entonces disparará la pistola, cuya bala matará al gato.

Para decidir si el gato está vivo o muerto, debemos abrir la caja y observar al gato. Sin embargo, ¿cuál es el estado del gato antes de que abramos la caja? Según la teoría cuántica, sólo podemos afirmar que el gato está descrito por una función de onda que describe la suma de un gato muerto y un gato vivo.

Para Schrödinger, la idea de pensar en gatos que no están ni muertos ni vivos era el colmo del absurdo, pero la confirmación experimental de la mecánica cuántica nos lleva inevitablemente a esta conclusión. Hasta el momento, todos los experimentos han verificado, favorablemente, la teoría cuántica.

La paradoja del gato de Schrödinger es tan extraña que uno recuerda a menudo la reacción de Alicia al ver desaparecer el gato de Cheshire en el centro del cuento de Lewis Carroll: “*Allí me verás*”, dijo el Gato, y desapareció, lo que no sorprendió a Alicia que ya estaba acostumbrada a observar cosas extrañas en aquel lugar fantástico. Igualmente, los físicos durante años se han acostumbrados a ver cosas “extrañas” en la mecánica cuántica.

Existen varias maneras de abordar esta dificultad de lo incomprensible en mecánica cuántica. En primer lugar, podemos suponer que Dios existe.

Puesto que todas las “observaciones” implican un observador, entonces debe haber alguna “conciencia” en el universo. Algunos físicos como el premio Nobel Eugene Wigner, han insistido en que la teoría cuántica prueba la existencia de algún tipo de conciencia cósmica universal.

La segunda forma de tratar la paradoja es la preferida por la gran mayoría de los físicos en activo: ignorar el problema.

El físico Richard Feynman dijo en cierta ocasión: “*Creo que es justo decir que nadie comprende la mecánica cuántica. No siga diciéndose a sí mismo, si puede evitarlo, “¿pero cómo puede ser así?” porque usted se meterá “hasta el fondo” en un callejón sin salida del que nadie ha escapado. Nadie sabe como puede ser eso*”. De hecho, a menudo se ha dicho que de todas las teorías propuestas en el siglo XX, la más absurda es la teoría cuántica. Algunos dicen que la única cosa que la teoría tiene a su favor es que “es indudablemente correcta”.

Sin embargo, existe una tercera forma de tratar esta paradoja, denominada *teoría de los muchos universos*. Esta teoría (como el principio antrópico) no gozó de mucho favor en la última década, pero está siendo revitalizada por la función de onda del universo de Stephen Hawking.

Existe un principio de la física denominado *Navaja de Occam*, que afirma que siempre deberíamos tomar el camino más sencillo posible e ignorar las alternativas más complicadas, especialmente si las alternativas no pueden medirse nunca.

Para seguir fielmente el consejo contenido en la navaja de Occam, primero hay que tener el conocimiento necesario para poder saber elegir el camino más sencillo, lo que en la realidad, no ocurre. Nos faltan los conocimientos necesarios para hacer las preguntas adecuadas.

Hugo Everett, Bryce DeWitt y ahora Hawking (también otros), han propuesto la teoría de los universos múltiples. En unos universos los protones se desintegran antes haciendo inestable la materia, en otros, el átomo de

uranio se desintegra mediante un proceso sin radiaciones, y en otros universos las constantes universales que existen en el nuestro, son totalmente diferentes y no dan posibilidad alguna para la existencia de seres vivos. Está claro que cualquier variación que en principio pudiera parecer sin importancia, como por ejemplo la carga del electrón, podría transformar radicalmente nuestro universo.

Como apuntó el físico Frank Wilczek:

“Se dice que la historia del mundo sería totalmente distinta si Helena de Troya hubiera tenido una verruga en la punta de su nariz.”

Hasta el momento, se han celebrado varias conferencias internacionales sobre la función de onda del universo. Sin embargo, como ocurre en la teoría de supercuerdas, las matemáticas implicadas en la función de onda del universo, parecen estar más allá de la capacidad de cálculo que cualquier humano en este planeta pudiera resolver, y tendríamos que esperar años antes de que aparezca un individuo genial que pudiera encontrar una solución rigurosa a las ecuaciones de Hawking.

Recordemos aquí de nuevo que, precisamente ahora, un siglo más tarde, en el Congreso Internacional de Matemáticas celebrado en Madrid este mes de Agosto de 2.006, se otorgó la Medalla Field (una especie de Nobel de las matemáticas) al matemático ruso Perelman, extraño ser que no ha comparecido a la cita y la ha rechazado. Perelman ha resuelto la conjetura expuesta por Poincaré planteada en 1.904.

La conjetura de Poincaré de 1.904, en el año 2.000, fue catalogada por el Instituto Clan como uno de los siete problemas del milenio. Para hacer un comentario sobre esta conjetura tengo que referirme a la topología, el nivel de las matemáticas donde está ubicada.

La topología es la geometría de los objetos elásticos o flexibles que cambian de forma pero tienen las mismas propiedades que antes de ser estirados, achatados, etc. Se pueden retorcer pero no cortar ni pegar.

Los topólogos no tienen en cuenta la distancia, puesto que se puede variar al deformar el objeto, sino nociones más sutiles. Los orígenes de la topología se remontan a mediados del siglo XVIII, con los trabajos de Euler en teoría de grafos, que llamó “análisis situs”.

A finales del siglo XIX y principios del siglo XX, la topología recibió un gran impulso con los trabajos de Poincaré, matemático francés muy influyente en el posterior desarrollo de diversas áreas de las matemáticas y de la física. En particular, en 1.904 planteó la conjectura que lleva su nombre y que no se ha resuelto hasta el siglo XXI. Este problema ha sido un motor para la investigación en topología de todo el siglo pasado y se ha llegado a su resolución con ideas nuevas y apasionantes.

Para situarnos mejor debemos hablar de las variedades, espacios que tienen una dimensión determinada. Por ejemplo una recta o un círculo son variedades de dimensión uno, puesto que se describen como un parámetro. El plano o la esfera son ejemplos de variedades bidimensionales, al utilizar dos parámetros para describir sus posiciones. El espacio en que vivimos es una variedad tridimensional, y si le añadimos la dimensión temporal, el espacio-tiempo es una variedad de dimensión cuatro. Ya he comentado en este mismo trabajo cómo las singularidades geométricas, las variedades, fueron introducidas por Riemann a mediados del s. XIX y constituyeron una herramienta clave para la física del siglo XX. De hecho, la teoría de la relatividad especial de Einstein fue postulada por Einstein en 1.905, pero hasta que no incorporó las variedades contenidas en el tensor métrico de Riemann, no pudo completar la teoría de la relatividad que incluía los espacios curvos.

La pregunta que hizo Poincaré fue la siguiente: ¿Es la esfera la única variedad tridimensional para la cual toda curva se contrae?

Se pasó un siglo entero antes de que un genio de las matemáticas, el extraño G. Perelman, pudiera demostrar la conjetura de Poincaré. Tan extraño es el personaje que no ha querido venir a España a recibir la medalla Field conquistada con su trabajo reconocido por todos sus colegas y que recibiría de manos del Rey de España. Se desconoce si aceptará el premio en metálico de 1 millón de dólares que lleva consigo dicho triunfo de resolver la conjetura.

Mientras tanto, Perelman ha dejado su trabajo, ha rechazado una cátedra de matemáticas que le ofrecieron en Princeton y junto a su madre, vive en San Petersburgo en una humilde vivienda y compartiendo una miserable pensión de 72 euros al mes. Trabaja aislado y en silencio durante horas encerrado en su mundo y cuando se agota, para relajarse, sale al campo a buscar setas.

Esta es la vida que ha elegido el hombre que ha sido considerado el más listo del mundo en la actualidad. He repetido prácticamente la historia contada antes en páginas anteriores para que el lector pueda apreciar cómo, de vez en cuando, surgen genios que al estar en posesión de la verdad, desprecian los bienes materiales y se nutren de los verdaderos bienes que alimentan la mente y el espíritu; no dedican su tiempo a cosas que, para ellos, no tienen importancia.

¡Misterios de la vida!

Seguramente, en la mente de personajes como Perelman están escondidas las soluciones que la humanidad necesita para resolver sus problemas.

Como Gauss, Riemann, Hamilton, Euler, Ramanujan y tantos otros anteriores, y ahora Perelman, pronto aparecerán otros que, seguramente, nos darán las respuestas que aún están pendientes, para que podamos plantear la definitiva teoría decadimensional y tengamos las respuestas a tantas preguntas que no han sido contestadas.

Un día Einstein fue conducido a postular la teoría de la relatividad general partiendo de un principio físico, el principio de equivalencia (que la masa gravitatoria y la masa inerte de un objeto son iguales, de modo que todos los cuerpos, por muy grande que sean, caen en la Tierra a la misma velocidad). Sin embargo, no se ha encontrado todavía la contrapartida del principio de equivalencia para la teoría de cuerdas.

Está claro, como dice Witten, que la teoría de cuerdas proporciona, de hecho, un marco lógicamente consistente que engloba la gravedad y la mecánica cuántica, pero el principio análogo al de equivalencia que Einstein encontró para su teoría no ha sido aún encontrado para la teoría de cuerdas.

¿Tendremos que esperar (como para la solución de la conjetura de Poincaré) cien años para resolver la teoría de supercuerdas?

¡Quién sabe! El problema es muy complejo y encierra muchas cuestiones teóricas que, experimentalmente, no estamos capacitados ni tenemos los medios para poder comprobar.

No debemos desanimarnos, el sino de la humanidad, a lo largo de toda su historia, siempre ha sido una constante de ir salvando obstáculos que cuando se presentaban parecían insalvables.

Ahora nuestra esperanza media de vida ronda los 80 años y el tiempo que tenemos por delante (me refiero al tiempo del universo) es muy largo. ¿Qué no seremos capaces de conseguir?

Basta repasar los logros de los últimos 150 años en las distintas ramas del saber humano para asombrarnos de la enorme capacidad de trabajo, sacrificio, inventiva e ingenio de nuestra especie que, sobre todo, tiene ¡¡curiosidad!!

Espero que sigamos así. Si habéis aprendido algo, ¡mejor!

Septiembre/abril
2006

FÍSICA, Astronomía y Astrofísica



En el interior de esta libreta, en sus páginas, encontrarás la respuesta a preguntas que a veces os habéis hecho a vosotros mismos y que no habéis sabido contestar.

Hay seres humanos que, desgraciadamente, por su lugar de nacimiento, su entorno, sus genes, e incluso en muchas ocasiones por que así les interesa a quienes los explotan, se pasan la vida sin tener el más elemental conocimiento de las cuestiones importantes del mundo en el que habitan, de las fuerzas de la naturaleza que rigen en el Universo del que, más o menos de polvo, forman parte.

CURVATURA DEL ESPACIOTIEMPO
y otras

Su ignorancia es su felicidad. Trabajan, comen y duermen, como auténticos animales, sin gozar de esos momentos inigualables en los que, en posesión del conocimiento de las cosas, de las leyes de la naturaleza, sentimos con fuerza la conciencia de "SER", ese pensamiento que nos lleva a un nivel superior, un nivel ínmate real y sublime al que hemos llamado Alma y, que en realidad es el don de la sabiduría, el saber buscar y encontrar el por qué de las cosas.

Desde que atemorizados vivíamos, en la tormenta, caer los rayos del cielo, oímos los truenos que seguían a los relámpagos y, hacinados en una cueva oscura y húmeda nos resguardábamos del frío y de los peligros de la noche, desde entonces diego, muchas cosas han cambiado para nosotros.

Será mejor que paseis al interior de estas páginas para conocer.....

Longitud, masa y tiempo se vuelven adimensionales en unidades de Planck. Debido a que, en el contexto donde las unidades de Planck son usadas, es normal emplear unidades gaussianas o unidades de Heaviside-Lorentz para las cantidades electromagnéticas, éstas también se vuelven adimensionales, lo que por otra parte, ocurre con todas las unidades naturales. Un ejemplo de esta curiosidad de Adimensionalidad, está presente en la constante de estructura fina ($2\pi e^2/hc$) de valor 137 (número adimensional) y cuyo símbolo es la letra griega (alfa).

Estas unidades de Planck nos llevan a la cosmología del nacimiento del Universo y nos proporciona un marco elegante, coherente y manejable mediante cálculos para conocer el Universo remontándose a los primeros momentos más breves posteriores a la explosión o Big Bang. El tiempo de Planck, por ejemplo, expresado por $T_P = \sqrt{\left(G\hbar/c^5\right)}$, tiene un valor del orden de 10^{-43} segundos, o lo que es lo mismo, el tiempo que pasó desde la explosión hasta el tiempo de Planck fue de:

Hasta tal punto llegan los físicos en su cálculo para tratar de adeuar los conocimientos a la realidad por medio del experi-

FÍSICA, ASTRONOMÍA Y ASTROFÍSICA

**CURVATURA DEL ESPACIOTIEMPO, RELATIVIDAD
ESPECIAL, TEORÍA CUÁNTICA, EL BIG BANG, ETC...**

En el interior de esta libreta, en sus páginas, encontraréis la respuesta a preguntas que a veces os habéis hecho a vosotros mismos y que no habéis sabido contestar.

Hay seres humanos que, desgraciadamente, por su lugar de nacimiento, su entorno, sus genes, e incluso en muchas ocasiones porque así les interesa a quienes les explotan, se pasan la vida sin tener el más elemental conocimiento de las cuestiones importantes del mundo en el que habitan, de las fuerzas de la naturaleza que rigen en el universo del que, cual mota de polvo, forman parte.

Su ignorancia es su felicidad. Trabajan, comen y duermen, como auténticos animales, sin gozar de esos momentos inigualables en los que, en po-

sesión del conocimiento de las cosas, de las leyes de la naturaleza, sentimos con fuerza la conciencia de “SER”, ese pensamiento que nos lleva a un nivel superior, un nivel inmaterial y sublime al que hemos llamado *alma* y que en realidad es el don de la sabiduría, el saber buscar y encontrar el por qué de las cosas.

Desde que atemorizados mirábamos, en la tormenta, caer los rayos del cielo, oímos los truenos que seguían a los relámpagos y, hacinados en una cueva oscura y húmeda nos resguardábamos del frío y de los peligros de la noche, desde entonces digo, muchas cosas han cambiado para nosotros.

Será mejor que paséis al interior de estas páginas para conocer...

¿Qué es...?

Curvatura del espacio–tiempo, relatividad, relatividad especial, relatividad general, teoría cuántica, partícula elemental y partícula virtual, densidad crítica y densidad media de materia, estrella de neutrones, agujero negro, el Big Bang, el Big Crunch, el universo plano, abierto o cerrado, la materia oscura; y, en fin, mil preguntas más que la mayoría de la gente no se las han planteado nunca y si oyeron hablar de ellas no saben a qué se refieren.

Así que en el presente trabajo, vamos a explicar una serie de cosas que ocurren y están aquí con nosotros en el universo, e incluso forman parte de nosotros mismos o hace posible que nosotros podamos estar aquí.

¿Qué haríamos, por ejemplo, sin la gravedad que nos mantiene bien unidos a la superficie del planeta?

¿Por qué la velocidad de la luz es el límite que impone el universo a la materia para moverse?

El comienzo de este trabajo, la primera media página, está lleno de preguntas y podríamos llenar toda la libreta preguntando algunas de las cosas que no sabemos.

Fue Popper el que dijo:

“Cuánto más sé y más profundizo en el conocimiento de las cosas, más consciente soy de lo poco que sé. Mi conocimiento es limitado, mi ignorancia..., infinita.”

Procuremos reducir esa ignorancia, al menos para que no sea infinita con el conocimiento de algunas cuestiones. Empezaré por explicar lo que se entiende por...

Curvatura del Espacio-Tiempo

Hay que entender que el espacio-tiempo es la descripción en cuatro dimensiones del universo en la que la posición de un objeto se especifica por tres coordenadas en el espacio y una en el tiempo.

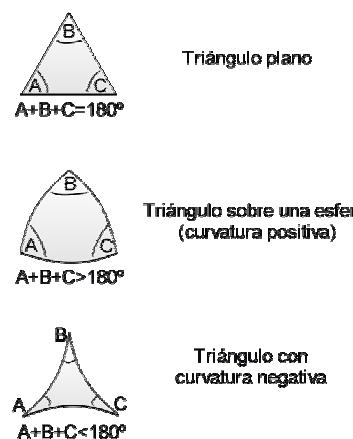
De acuerdo con la relatividad especial, no existe un tiempo absoluto que pueda ser medido con independencia del observador, de manera que eventos simultáneos para un observador ocurren en instantes diferentes vistos desde otro lugar. El tiempo puede ser medido, por tanto, de manera relativa, como lo son las posiciones en el espacio (Euclides) tridimensional, y esto puede conseguirse mediante el concepto de espacio-tiempo. La trayectoria de un objeto en el espacio-tiempo se denomina por el nombre de *línea de universo*. La relatividad general nos explica lo que es un espacio-tiempo curvo con las posiciones y movimientos de las partículas de materia.

La curvatura del espacio-tiempo es la propiedad del espacio-tiempo en la que las leyes familiares de la geometría no son aplicables en regiones donde los campos gravitatorios son intensos. La relatividad general de Eins-

tein, nos explica y demuestra que el espacio–tiempo está íntimamente relacionado con la distribución de materia en el universo, y nos dice que el espacio se curva en presencia de masas considerables como planetas, estrellas o galaxias (entre otros).

En un espacio de sólo dos dimensiones, como una lámina de goma plana, la geometría de Euclides se aplica de manera que la suma de los ángulos internos de un triángulo en la lámina es de 180° . Si colocamos un objeto masivo sobre la lámina de goma, la lámina se distorsionará y los caminos de los objetos que se muevan sobre ella se curvarán. Esto es, en esencia, lo que ocurre en relatividad general.

En los modelos cosmológicos más sencillos basados en los modelos de Friedmann, la curvatura de espacio–tiempo está relacionada simplemente con la densidad media de la materia, y se describe por una función matemática denominada métrica de Robertson–Walker. Si un universo tiene una densidad mayor que la densidad crítica, se dice que tiene curvatura positiva, queriendo decir que el espacio–tiempo está curvado sobre sí mismo, como la superficie de una esfera; la suma de los ángulos de un triángulo que se dibuje sobre la esfera es entonces mayor que 180° . Dicho universo sería infinito y se expandiría para siempre, es el universo abierto. Un universo de Einstein–de Sitter tiene densidad crítica exacta y es, por consiguiente, espacialmente plano (euclideo) infinito en el espacio y en el tiempo.



Representación gráfica de los espacios que dan lugar a los tres posibles formas de universo antes referida en función de la densidad crítica que hará un universo plano, un universo abierto o un universo curvo y cerrado.

Hemos mencionado antes la relatividad del tiempo que para el mismo suceso será distinto en función de quién sea el que cronometre; por ejemplo, el tiempo transcurre más despacio para el astronauta que en nave espacial viaja a velocidades próximas a c , la velocidad de la luz. Según la teoría de la relatividad especial de Einstein, en el caso antes señalado, el tiempo del astronauta viajero avanza más lentamente en un factor que denotamos con la ecuación $\sqrt{1 - v^2/c^2}$, cuando lo mide un sistema de referencia que viaja a una velocidad v relativa al otro sistema de referencia; c es la velocidad de la luz. Este principio ha sido verificado de muchas maneras; por ejemplo, comparando las vidas medias de los muones rápidos, que aumentan con la velocidad de las partículas en una cantidad predicha en este factor de la anterior ecuación.

Un ejemplo sencillo de la dilatación del tiempo es la conocida paradoja de los gemelos. Uno viaja al espacio y el otro lo espera en la Tierra. El primero hace un viaje a la velocidad de la luz hasta Alfa de Centauri y regresa. Cuando baja de la nave espacial, tiene 8'6 años más que cuando partió de la Tierra. Sin embargo, el segundo gemelo que esperó en el planeta Tierra, al regreso de su hermano, era ya un viejo jubilado. El tiempo transcurrido había pasado más lento para el gemelo viajero.

Otra curiosidad de la relatividad especial es la que expresó Einstein mediante su famosa fórmula de $E = mc^2$, que nos viene a decir que masa y energía son dos aspectos de una misma cosa. Podríamos considerar que la masa (materia), es energía congelada. La bomba atómica demuestra la certeza de esta ecuación.

El gráfico de la página anterior, que es una muestra de las tres posibles maneras en que puede estar conformado nuestro universo, dependerá finalmente, de la densidad crítica.

La *densidad crítica* está referida a la densidad media de materia requerida para que la gravedad detenga la expansión de nuestro universo. Así que si la densidad es baja se expandirá para siempre, mientras que una densidad muy alta colapsará finalmente. Si tiene exactamente la densidad crítica

ideal, de alrededor de 10^{-29} g/cm³, es descrito por el modelo al que antes nos referimos conocido como de Einstein–de Sitter, que se encuentra en la línea divisoria de estos dos extremos. La densidad media de materia que puede ser observada directamente en nuestro universo representa sólo el 20% del valor crítico. Puede haber, sin embargo, una gran cantidad de materia oscura que elevaría la densidad hasta el valor crítico. Las teorías de universo inflacionario predicen que la densidad presente debería ser muy aproximada a la densidad crítica; estas teorías requieren la existencia de materia oscura.

Conforme a lo antes dicho, la densidad media de materia está referida al hecho de distribuir de manera uniforme toda la materia contenida en las galaxias a lo largo de todo el universo. Aunque las estrellas y los planetas son más densos que el agua (alrededor de 1 g/cm³), la densidad media cosmológica es extremadamente baja, como se dijo antes, unos 10^{-29} g/cm³, o 10^{-5} átomos/cm³, ya que el universo está formado casi exclusivamente de espacios vacíos, virtualmente vacíos, entre las galaxias. La densidad media es la que determinará si el universo se expandirá o no para siempre.

En presencia de grandes masas de materia, tales como planetas, estrellas y galaxias, está presente el fenómeno descrito por Einstein en su teoría de la relatividad general, la curvatura del espacio–tiempo, eso que conocemos como gravedad, una fuerza de atracción que actúa entre todos los cuerpos y cuya intensidad depende de las masas y de las distancias que los separan; la fuerza gravitacional disminuye con el cuadrado. La gravitación es la más débil de las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza. Isaac Newton formuló las leyes de la atracción gravitacional y mostró que un cuerpo se comporta gravitacionalmente como si toda su masa estuviera concentrada en su centro de gravedad. Así, pues, la fuerza gravitacional actúa a lo largo de la línea que une los centros de gravedad de las dos masas (como la Tierra y la Luna, por ejemplo).

En la teoría de la relatividad general, la gravitación se interpreta como una distorsión del espacio que se forma alrededor de la masa que provoca dicha distorsión, cuya importancia iría en función de la importancia de la masa que distorsiona el espacio que, en el caso de estrellas con gran volumen y densidad, tendrán una importancia considerable, igualmente, la fuerza

de gravedad de planetas, satélites y grandes objetos cosmológicos, es importante.

Esta fuerza es la responsable de tener cohesionado a todo el universo, de hacer posible que existan las galaxias, los sistemas solares y que nosotros mismos tengamos bien asentados los pies a la superficie de nuestro planeta Tierra, cuya gravedad tira de nosotros para que así sea.

No obstante, a escala atómica la fuerza gravitacional resulta ser unos 10^{40} veces más débil que la fuerza de atracción electromagnética, muy potente en el ámbito de la mecánica cuántica donde las masas de las partículas son tan enormemente pequeñas que la gravedad es despreciable.

La gravitación cuántica es la teoría en la que las interacciones gravitacionales entre los cuerpos son descritas por el intercambio de partículas elementales hipotéticas denominadas gravitones. El graviton es el cuanto del campo gravitacional. Los gravitones no han sido observados, aunque se presume que existen por analogía a los fotones de luz.

La teoría cuántica es un ejemplo de talento que debemos al físico alemán Max Planck (1.858 – 1.947) que, en el año 1.900 para explicar la emisión de radiación de cuerpo negro de cuerpos calientes, dijo que la energía se emite en *cuantos*, cada uno de los cuales tiene una energía igual a $h\nu$, donde h es la constante de Planck ($E = h\nu$ o $\hbar = h/2\pi$) y ν es la frecuencia de la radiación. Esta teoría condujo a la teoría moderna de la interacción entre materia y radiación conocida como mecánica cuántica, que generaliza y reemplaza a la mecánica clásica y a la teoría electromagnética de Maxwell. En la teoría cuántica no relativista se supone que las partículas no son creadas ni destruidas, que se mueven despacio con respecto a la velocidad de la luz y que tienen una masa que no cambia con la velocidad. Estas suposiciones se aplican a los fenómenos atómicos y moleculares y a algunos aspectos de la física nuclear. La teoría cuántica relativista se aplica a partículas que viajan cerca de la velocidad de la luz, como por ejemplo, el fotón.

Por haberlo mencionado antes me veo obligado a explicar brevemente el significado de “cuerpo negro”, que está referido a un cuerpo hipotético que absorbe toda la radiación que incide sobre él. Tiene, por tanto, una absorbancia y una emisividad de 1. Mientras que un auténtico cuerpo negro es un concepto imaginario, un pequeño agujero en la pared de un recinto a temperatura uniforme es la mejor aproximación que se puede tener de él en la práctica.

La radiación de cuerpo negro es la radiación electromagnética emitida por un cuerpo negro. Se extiende sobre todo el rango de longitudes de onda y la distribución de energía sobre este rango tiene una forma característica con un máximo en una cierta longitud de onda, desplazándose a longitudes de onda más cortas al aumento de temperaturas (ley de desplazamiento de Wien).

No puedo continuar adelante sin explicar aquí lo que son las partículas elementales como “constituyentes fundamentales” de toda la materia del universo.

Hasta el descubrimiento del electrón por J. J. Thomson en 1.897, se pensaba que los átomos eran los constituyentes fundamentales de la materia, como había postulado 400 años a. de C. Demócrito de Abdera. Pero el hallazgo de Thomson, junto al de Rutherford del núcleo atómico y del protón en 1.911, hizo evidente que los átomos no eran elementales, en el sentido de que tienen estructura interna. El descubrimiento de Chadwick del neutrón en 1.932 completó el modelo atómico basado en el núcleo atómico consistente en protones y neutrones rodeados de un número suficiente de electrones como para equilibrar la carga nuclear. Sin embargo, no explicaba la gran estabilidad del núcleo, que claramente no podía mantenerse unido por una interacción electromagnética, pues el neutrón no tiene carga eléctrica. En 1.935, Yukawa sugirió que la fuerza de intercambio que lo mantenía junto estaba mediada por partículas de vida corta, llamadas mesones, que saltaban de un protón a un neutrón y hacia atrás de nuevo. Este concepto dio lugar al descubrimiento de las interacciones fuertes y de las interacciones débiles, dando un total de cuatro interacciones fundamentales.

También dio lugar al descubrimiento de unas 200 partículas “elementales” de vida corta, algunas de las cuales eran claramente más elementales que las otras. En la clasificación actual existen dos clases principales de partículas

Leptones:	Electrón, muón, tau y sus neutrinos, que interaccionan tanto con las interacciones electromagnéticas como con la interacción débil y que no tienen estructura interna aparente.	
Hadrones:	Bariones:	Protones, neutrones, lambda, signa, omega.
	Mesones:	Piones, kaones, etc.

que interaccionan con la interacción fuerte y tienen una estructura interna compleja.

La estructura hadrónica está basada ahora en el concepto de quarks de Murray Gell-Mann, introducido en 1.964. Este modelo nos dice que los hadrones están divididos en *bariones* (que se desintegran en protones) y *mesones*, que se desintegran en leptones y fotones.

Los bariones están formados por tres quarks y los mesones por dos quarks (un quark y un antiquark). En la teoría quark, por tanto, las únicas partículas elementales realmente, son los leptones y los quarks. Al contrario que los electrones y protones, que poseen cargas exactamente iguales en valor absoluto pero de signos opuestos (positiva el protón y negativa el electrón), los quark tienen cargas que son fracciones de la carga electrónica (+ 2/3 ó -1/3 de la carga electrónica).

Los quarks aparecen en seis variedades distintas que generalmente se escriben mediante las letras *u*, *d*, *c*, *s*, *t* y *b* que responden a los nombres de *up*, *down*, *charmed*, *strange*, *top* y *bottom*.

El protón, siendo un barión, está constituido por tres quarks, *uud* ($2/3 + 2/3 - 1/3 = 1$) y el neutrón por *udd* ($2/3 - 1/3 - 1/3 = 0$), para cada variedad de quark existen los equivalentes antiquarks que se denotan $\bar{u}, \bar{d}, \bar{c}, \bar{s}, \bar{t}, \bar{b}$, que

tienen valores exactos al quark pero con signos opuestos en su carga eléctrica.

Para evitar conflictos con el principio de exclusión de Pauli, se han añadido conceptos de carga de color a las seis variedades de quarks, cuya explicación al resultar compleja obviamos por no ser fundamental en la meta que aquí perseguimos.

Las interacciones fuertes entre quarks se pueden entender por el intercambio de ocho partículas sin carga y sin masa en reposo, llamadas gluones (porque pegan a los quarks juntos). Aunque los gluones, como los fotones que realizan una función similar entre los leptones, no tienen carga eléctrica, sí que tienen una carga de color (también aquí nos paramos para no enredar demasiado y confundir al lector).

La teoría quark completamente elaborada esta ahora bien establecida por evidencias experimentales, pero como ni los quarks ni los gluones han sido identificados nunca en experimentos, la teoría no se puede decir que haya sido directamente verificada. Los quarks individuales pueden tener la curiosa propiedad de ser mucho más masivos que los hadrones que usualmente forman (debido a la enorme energía potencial que tendrían cuando se separan), y algunos teóricos creen que es, en consecuencia, imposible desde un punto de vista fundamental, que existan aislados. Sin embargo, algunos experimentales han anunciado resultados consistentes con la presencia de cargas fraccionarias, que tendrían los quarks no ligados y en estados libres.

Los quarks están confinados en una región con radio R de valor:

$$R \approx hc/\Lambda \approx 10^{-13} \text{ cm}$$

Lo que resulta de la teoría conocida como cromodinámica cuántica es que en la propiedad de *libertad asintótica* obliga a que las interacciones entre los quarks se hagan más débiles a medida que la distancia entre ellos se hace menor y tienda a cero. De forma inversa, la atracción entre quarks es mayor a medida que la distancia entre ellos es mayor y la hipótesis del con-

finamiento de los quarks obliga a que estos no puedan escapar uno del otro; lo impiden los gluones, los bosones intermediarios de la fuerza nuclear fuerte que es la única fuerza que crece con la distancia, al contrario que las otras fuerzas que con el alejamiento se debilitan. Es posible que a muy altas temperaturas, como las existentes en el universo primitivo, los quarks pudieran estar libres. Esta temperatura a la que esto ocurre es conocida como temperatura de desconfinamiento.

Es necesario que ahora se explique aquí lo que son las interacciones, o *fuerzas fundamentales*:

Como pueden haber deducido, me estoy refiriendo a cualquiera de los cuatro tipos diferentes de interacciones que pueden ocurrir entre los cuerpos. Estas interacciones pueden tener lugar incluso cuando los cuerpos no están en contacto físico y juntas pueden explicar todas las fuerzas que se observan en el universo.

Viene de lejos el deseo de muchos físicos que han tratado de unificar en una teoría o modelo a las cuatro fuerzas, que pudieran expresarse mediante un conjunto de ecuaciones. Einstein se pasó los últimos años de su vida intentándolo, pero igual que otros antes y después de él, aún no se ha conseguido dicha teoría unificadora de los cuatro interacciones fundamentales del universo. Se han hecho progresos en la unificación de interacciones electromagnéticas y débiles.

Antes, cuando hablamos de la relatividad general, ya se adelantó el concepto de la fuerza gravitatoria, unas 10^{40} veces más débil que la fuerza electromagnética. Es la más débil de todas las fuerzas y sólo actúa entre los cuerpos que tienen masa. Es siempre atractiva y pierde intensidad a medida que las distancias entre los cuerpos se agrandan. Como ya se ha dicho, su cuanto de gravedad, el gravitón, es también un concepto útil en algunos contextos. En la escala atómica, esta fuerza es despreciablemente débil, pero a escala cosmológica, donde las masas son enormes, es inmensamente importante para mantener a los componentes del universo juntos. De hecho, sin esta fuerza no existiría el Sistema Solar ni las galaxias, y seguramente, nosotros tampoco estaríamos aquí. Es la fuerza que tira de nuestros pies y los

mantiene firmemente asentados a la superficie del planeta. Aunque la teoría clásica de la gravedad fue la que nos dejó Isaac Newton, la teoría macroscópica bien definida y sin fisuras de la gravitación universal es la relatividad general de Einstein, mucho más completa y profunda.

Por el momento, no hay una teoría cuántica de la interacción gravitatoria satisfactoria. Es posible que la *teoría de supercuerdas* pueda dar una teoría cuántica de la gravitación consistente, además de unificar la gravedad con los demás interacciones fundamentales sin que surjan los dichosos e indeseados infinitos.

La *interacción débil*, que es unas 10^{10} veces menor que la interacción y electromagnética, ocurre entre leptones y en la desintegración de los hadrones. Es responsable de la desintegración beta de las partículas y núcleos. En el modelo actual, la interacción débil se entiende como una fuerza mediada por el intercambio de partículas virtuales, llamadas bosones vectoriales intermediarios, que para esta fuerza son las partículas W^+ , W y Z^0 . Las interacciones débiles son descritas por la teoría electrodébil, que las unifica con las interacciones electromagnéticas.

La teoría electrodébil es una teoría gauge de éxito que fue propuesta en 1.967 por Steven Weinberg y Abdus Salam, conocida como modelo WS. También Sheldon Glashow, propuso otra similar.

La *interacción electromagnética* es la responsable de las fuerzas que controlan la estructura atómica, reacciones químicas y todos los fenómenos electromagnéticos. Puede explicar las fuerzas entre las partículas cargadas, pero al contrario que las interacciones gravitacionales, pueden ser tanto atractivas como repulsivas. Algunas partículas neutras se desintegran por interacciones electromagnéticas. La interacción se puede interpretar tanto como un modelo clásico de fuerzas (ley de Coulomb) como por el intercambio de unos fotones virtuales. Igual que en las interacciones gravitatorias, el hecho de que las interacciones electromagnéticas sean de largo alcance significa que tiene una teoría clásica bien definida dadas por las ecuaciones de Maxwell. La teoría cuántica de las interacciones electromagnéticas se des-

cribe con la electrodinámica cuántica, que es una forma sencilla de teoría gauge.

La *interacción fuerte* es unas 10^2 veces mayor que la interacción electromagnética y, como ya se dijo antes, aparece sólo entre los hadrones y es la responsable de las fuerzas entre nucleones que confiere a los núcleos de los átomos su gran estabilidad. Actúa a muy corta distancia dentro del núcleo (10^{-15} metros) y se puede interpretar como una interacción mediada por intercambio de mesones virtuales. Está descrita por una teoría gauge llamada *cromodinámica cuántica*.

Me he referido a una teoría gauge que son teorías cuánticas de campo creadas para explicar las interacciones fundamentales. Una teoría gauge requiere un grupo de simetría para los campos y las potenciales (el grupo gauge). En el caso de la electrodinámica, el grupo es abeliano, mientras que las teorías gauge para las interacciones fuertes y débiles utilizan grupos no abelianos. Las teorías gauge no abelianas son conocidas como teorías de Yang–Mills. Esta diferencia explica por qué la electrodinámica cuántica es una teoría mucho más simple que la cromodinámica cuántica, que describe las interacciones fuertes, y la teoría electrodébil que unifica la fuerza débil con la electromagnética. En el caso de la gravedad cuántica, el grupo gauge es mucho más complicado que los anteriores necesarios para la fuerza fuerte y electrodébil.

En las teorías gauge, las interacciones entre partículas se pueden explicar por el intercambio de partículas (bosones vectoriales intermediarios o bosones gante), como los gluones, fotones y los W y Z.

El físico Enrico Fermi, refiriéndose al gran número de partículas existentes, dijo: “*Si tuviera que saber el nombre de todas las partículas, me habría hecho botánico.*”

Por motivo parecido, aunque antes hemos descritos los grupos o familias más importantes de partículas, lógicamente sólo se nombraron las más comunes, importantes y conocidas como:

- **Protón**, que es una partícula elemental estable que tiene una carga positiva igual en magnitud a la del electrón y posee una masa de $1'672614 \times 10^{-27}$ Kg, que es 1.836'12 veces la del electrón. El protón aparece en los núcleos atómicos, por eso es un nucleón que está formado por partículas más simples, los quarks.
- **Neutrón**, que es un hadrón como el protón pero con carga neutra y también permanece en el núcleo, pero que se desintegra en un protón, un electrón y un antineutrino con una vida media de 12 minutos fuera del núcleo. Su masa es ligeramente mayor que la del protón (símbolo m_n), siendo de $1'6749286(10) \times 10^{-27}$ Kg. Los neutrones aparecen en todos los núcleos atómicos excepto en el del hidrógeno normal que está formado por un solo protón. Su existencia fue descubierta y anunciada por primera vez en 1.932 por James Chadwick (1891 – 1974).
- **Neutrino**, que es un leptón que existe en tres formas exactas pero con distintas masas. Tenemos el ν_e (neutrino electrónico) que acompaña al electrón, ν_μ (neutrino muónico) que acompaña al muón, y ν_τ (neutrino tau) que acompaña a la partícula tau, la más pesada de las tres. Cada forma de neutrino tiene su propia antipartícula.

El neutrino fue postulado en 1.931 para explicar la “energía perdida” en la desintegración beta. Fue identificado de forma tentativa en 1.953 y definitivamente en 1.956. Los neutrinos no tienen carga y se piensa que tienen masa en reposo nula y viajan a la velocidad de la luz, como el fotón. Hay teorías de gran unificación que predicen neutrinos con masa no nula, pero no hay evidencia concluyente.

- **Electrón**, que es una partícula elemental clasificada como leptón, con una carga de $9'109\ 3897\ (54) \times 10^{-31}$ Kg y una carga negativa de $1'602\ 177\ 33\ (49) \times 10^{-19}$ culombios. Los electrones están presentes en todos los átomos en agrupamientos llamados capas alrededor están presentes en todos los átomos en agrupamientos llamados capas alrededor del núcleo; cuando son arrancados del átomo

se llaman electrones libres. Su antipartícula es el positrón, predicha por Paul Dirac.

El electrón fue descubierto en 1.897 por el físico británico Joseph John Thomson (1.856 – 1940). El problema de la estructura (si la hay) del electrón no está resuelto. Si el electrón se considera como una carga puntual, su autoenergía es infinita y surgen dificultades en la ecuación conocida como de Lorente–Dirac.

Es posible dar al electrón un tamaño no nulo con un radio r_0 , llamado radio clásico del electrón, dado por $e^2/(mc^2) = 2'82 \times 10^{-13}$ cm, donde e y m son la carga y la masa, respectivamente, del electrón y c es la velocidad de la luz. Este modelo también tiene problemas, como la necesidad de postular las tensiones de Poincaré.

Ahora se cree que los problemas asociados con el electrón deben ser analizados utilizando electrodinámica cuántica en vez de electrodinámica clásica.

- **Pión**, que es una partícula elemental clasificada como mesón de la familia de los hadrones al igual que el protón y el neutrón, que siendo hadrones están clasificados como bariones.

El pión existe en tres formas diferentes: neutro, con carga positiva y con carga negativa.

Los piones cargados se desintegran en muones y neutrinos (leptones); el pión neutro se desintegra en dos fotones de rayos gamma.

Los piones como los kaones y otros mesones, como hemos dicho son una subclase de los hadrones; están constituidos por pares quark–antiquark y se cree que participan en las fuerzas que mantienen a los nucleones juntos en el núcleo. Al principio se pensó que el muón era un mesón, pero ahora se incluye entre los leptones como la variedad intermedia entre el electrón y la partícula tau.

Como dije antes, existe una lista interminable de partículas que necesitarían esta libreta completa para hablar de ellas, así que me he limitado a los más importantes en la composición de la materia.

Al comienzo del trabajo aparecen una serie de preguntas de las que algunas ya tienen aquí su respuesta y por seguir (más o menos) el orden, parece que ahora tengo que explicar el significado de agujero negro.

No tiene ningún sentido explicar, sin más, lo que es un agujero negro, sin que antes explique algo sobre las estrellas que, en definitiva, son las que dan el origen de estos fenómenos cosmológicos conocidos como agujeros negros, estrellas enanas blancas, etc.

Las estrellas, enormes bolas de gas y polvo luminosas que desde su nacimiento producen energía por la fusión nuclear del hidrógeno para formar helio. El término, por tanto, no sólo incluye estrellas como el Sol, que están en la actualidad quemando hidrógeno, sino también protoestrellas, aún no lo suficientemente calientes como para que dicha combustión haya comenzado, y varios tipos de objetos evolucionados como las estrellas gigantes y supergigantes, que están quemando otros combustibles nucleares más complejos que el hidrógeno, o las enanas blancas y las estrellas nucleares, que están formadas por combustibles nuclear gastado.

La masa máxima de una estrella es de unas 120 masas solares, por encima de la cual sería destruida por su propia radiación. La masa mínima está calculada en 0'80 masas solares; por debajo de ella, los objetos no serían lo suficientemente calientes en sus núcleos como para que comience la combustión del hidrógeno, y se convertirían en enanas marrones. Las luminosidades de estrellas varían desde alrededor de medio millón de veces la luminosidad del Sol para las más calientes hasta menos de una milésima de la del Sol para las enanas más débiles. Aunque las estrellas más prominentes visibles a simple vista son más luminosas que el Sol, la mayoría de las estrellas son en realidad más débiles que éste y, por tanto, imperceptibles a simple vista.

Las estrellas brillan como resultado de la conversión de masa en energía por medio de reacciones nucleares, siendo las más importantes las que involucran al hidrógeno. Por cada kilogramo de hidrógeno quemado de esta manera, se convierte en energía aproximadamente siete gramos de masa (el 7 %). De acuerdo a la famosa ecuación $E = mc^2$, los siete gramos equivalen a una energía de 6.3×10^{14} julios. Las reacciones nucleares no sólo aportan el calor y la luz de las estrellas, sino que también producen elementos más pesados y complejos que el hidrógeno y el helio.

Estos elementos pesados y más complejos (litio, carbono, oxígeno, etc) han sido distribuidos por el espacio, de tal manera que están presentes por todo el universo mediante explosiones de supernovas o por medio de nebulosas planetarias y vientos estelares.

De hecho, nuestra presencia aquí sería imposible sin que el material del que estamos hecho (polvo de estrellas), no se hubiera fabricado antes en alguna estrella lejana, hace miles de años y seguramente a muchos años luz de nuestro sistema solar.

Las estrellas se pueden clasificar de muchas maneras. Una manera es mediante su etapa evolutiva: en presencia principal, secuencia principal, gigante, supergigante, enana blanca o estrella de neutrones y, para las más masivas, su evolución hasta agujeros negros.

También se clasifican por sus espectros, que indica sus temperaturas superficiales. Otra manera es en poblaciones I, II y III, que engloban estrellas con abundancias progresivamente menores de elementos pesados, indicando paulatinamente una mayor de edad. También se clasifican por el método conocido como evolución estelar.

La cantidad de estrellas conocidas en su variedad por uno u otro motivo, es en realidad muy abundante, como por ejemplo:

Estrella binaria, estrella “capullo”, de baja velocidad, con envoltura, con exceso de ultravioleta, de alta velocidad, de baja luminosidad, de baja

masa, estrella de bario, estrella de bariones, estrella de campo, estrella de carbono, de circonio, de estroncio, de helio, de población I extrema, de población intermedia, estrella de la rama gigante asintótica, de litio, de manganeso, de manganeso-mercurio, de mercurio-manganeso, de metales pesados, de neutrones, de quarks, de referencia, de silicio, de tecnecio, de tipo intermedio, de tipo tardío, de tipo temprano, estrella del polo, estrella doble, estrella enana, estrella estándar, evolucionada, etc, etc.

Por ser para nosotros la más importante de todas, hablaré un poco de nuestra estrella más cercana, esa que hace posible la vida en el planeta Tierra al que envía luz y calor, el Sol.

Nuestro Sol, a pesar de su diámetro de 1.392.530 Km, su enorme masa de $1'989 \times 10^{30}$ Kg, su volumen de $1'3 \times 10^6$, etc, es en realidad una simple estrella común mediana, clasificada como una estrella G2V: una estrella amarilla con una temperatura efectiva de 5.770 K (tipo espectral G2) y una enana de la secuencia (clase de luminosidad V). El Sol está formado en su mayor parte por hidrógeno (71% en masa), con otra parte de helio (27%) y elementos más pesados (el 2%). Su edad se estima que es de unos 4.600 millones de años.

En su horno termonuclear fusiona, de manera constante y cada segundo, 4.654.000 toneladas de hidrógeno, en 4.650.000 toneladas de helio, 4.000 toneladas son lanzadas al espacio en forma de luz y calor, de lo que una parte llega al planeta Tierra. La transferencia de energía desde el núcleo hasta la superficie tarda 10 millones de años. En su centro la temperatura se calcula que es de 15'6 millones de °K y la densidad de 148.000 Kg/m^3 .

Existen otras curiosidades de luminosidad, magnetismo, viento solar, etc, que estimo poco importantes para este cargo que aquí se trata. La vida del Sol está estimada en otros 4.000/4.500 millones de años más antes de que se convierta en gigante roja, explote y quede finalmente como enana blanca.

Dicho esto, ahora sí estamos preparados para comprender mejor lo que es un *agujero negro*.

Cuando hablamos de un agujero negro estamos hablando de un objeto con un campo gravitacional tan intenso que su velocidad de escape supera la velocidad de la luz. Los agujeros negros se forman cuando las estrellas masivas colapsan al final de sus vidas.

Un objeto que se colapsa se convierte en un agujero negro cuando su radio se hace menor que un tamaño crítico, conocido como radio de Schwarzschild, y la luz no puede escapar de él.

La superficie de tiene este radio crítico se denomina *horizonte de sucesos*, y marca la frontera dentro de la cual esta atrapada toda la información. De esta forma, los acontecimientos dentro del agujero negro no pueden ser observados desde fuera. La teoría muestra que tanto el espacio como el tiempo se distorsionan dentro del horizonte de sucesos y que los objetos colapsan a un único punto del agujero, que se llama singularidad, situada en el propio centro del agujero negro. Los agujeros negros pueden tener cualquier masa.

Pueden existir agujeros negros supermasivos (de 10^5 masas solares) en los centros de las galaxias activas. En el otro extremo, miniagueros negros con un radio de 10^{-10} m y masas similares a las de un asteroide pudieron haberse formado en las condiciones extremas que se dieron poco después del Big Bang.

Nunca se ha observado directamente un agujero negro. Karl Schwarzschild (1.873 – 1.916), dedujo la existencia de agujeros negros a partir de las ecuaciones de Einstein de la relatividad general de 1.915 que, al ser estudiadas en 1.916, un año después de la publicación, encontró en estas ecuaciones que existían tales objetos supermasivos.

Antes, en la explicación sobre las estrellas, queriendo dejarlo para este momento, deje de explicar lo que hace el equilibrio en la vida de una estre-

lla. La estrella está formada por una inmensa nube de gas y polvo que a veces tiene varios años luz de diámetro. Cuando dicho gas (sus moléculas) se va juntando se produce un rozamiento que ioniza los átomos de la nube de hidrógeno que se juntan y se juntan cada vez más, formando un remolino central que gira atrayendo al gas circundante, que poco a poco va formando una inmensa bola. En el núcleo, la fricción es muy grande y las moléculas apretadas al máximo por la fuerza de gravedad, por fin produce una temperatura de varios millones de grados K que es la causante de la fusión de los protones que forman esos átomos de hidrógeno. La reacción que se produce es una reacción en cadena; comienza la fusión que durará todo el tiempo de vida de la estrella. Así nacen las estrellas cuyas vidas están supeditadas al tiempo que tarde en ser consumido su combustible nuclear, el hidrógeno que mediante la fusión es convertido en helio.

Las estrellas muy grandes, conocidas como supermasivas, son devoradoras de hidrógeno y sus vidas son mucho más cortas que el de las estrellas normales.

Una vez que se produce la fusión termonuclear, se ha creado el equilibrio de la estrella; veamos como. La inmensa masa que se juntado para formar la estrella genera una gran cantidad de fuerza de gravedad que tiende a comprimir la estrella bajo su propio peso. La fusión termonuclear generada en el núcleo de la estrella, hace que la estrella tienda a expandirse. En esta situación, la fusión que expande y la gravedad que contrae, como son fuerzas similares, se contrarresta la una a la otra y así la estrella continua brillando en equilibrio perfecto.

Pero, ¿qué ocurre cuando se consume todo el hidrógeno?

Pues que la fuerza de fusión deja de empujar hacia fuera y la gravedad continúa (ya sin nada que lo impida) empujando hacia dentro, literalmente, estrujando el material de la estrella sobre sí mismo hasta límites increíbles de densidad.

Según sean estrellas medianas como nuestro Sol, grandes o muy grandes, lo que antes era una estrella, cuando finaliza el derrumbe o implosión, cuando la estrella es aplastada sobre sí misma por su propio peso, cuando finalice digo, tendremos una estrella enana blanca, una estrella de neutrones o un agujero negro.

Alrededor del agujero negro puede formarse un disco de acreción cuando cae materia sobre él desde una estrella cercana que, para su mal, se atreve a traspasar el horizonte de sucesos. Es tan enorme la fuerza de gravedad que genera el agujero negro que, en tal circunstancias, literalmente hablando se come a esa estrella compañera próxima. En ese proceso, el agujero negro produce energía predominantemente en longitudes de onda de rayos X a medida que la materia está siendo engullida hacia la singularidad. De hecho, estos rayos X pueden ser detectados por satélites en órbita. Se ha localizado una enorme fuente de rayos X en el centro mismo de nuestra galaxia. En realidad han sido varias las fuentes localizadas allí, a unos 30.000 años luz de nosotros. Son serios candidatos a agujeros negros, siendo el más famoso Cygnus X-1.

Existen varias formas teóricamente posibles de agujeros negros.

- Un agujero negro sin rotación ni carga eléctrica (Schwarzschild).
- Un agujero negro sin rotación con carga eléctrica (Reissner–Nordström).

En la práctica es más fácil que los agujeros negros estén rotando y que no tengan carga eléctrica, forma conocida como agujero negro de Kerr. Los agujeros negros no son totalmente negros; la teoría sugiere que pueden emitir energía en forma de radiación Hawking.

La estrella supermasiva, cuando se convierte en un agujero negro se contrae tanto que realmente desaparece de la vista, de ahí su nombre de “agujero negro”. Su enorme densidad genera una fuerza gravitatoria tan descomunal que la velocidad de escape supera a la de la luz, por tal motivo,

ni la luz puede escapar de él. En la singularidad, dejan de existir el tiempo y el espacio; podríamos decir que el agujero negro está fuera, apartado de nuestro universo, pero en realidad deja sentir sus efectos ya que, como antes dije, se pueden detectar las radiaciones de rayos X que emite cuando engulle materia de cualquier objeto estelar que se le aproxime más allá del punto límite que se conoce como *horizonte de sucesos*.

Con la explicación anterior he querido significar que, de acuerdo con la relatividad de Einstein, cabe la posibilidad de que una masa redujera sin límite su tamaño y se autoconfinara en un espacio infinitamente pequeño y que, alrededor de esta, se forme una frontera gravitacional a la que se ha dado el nombre de horizonte de sucesos. He dicho al principio de este apartado que en 1.916, fue Schwarzschild el que marca el límite de este horizonte de sucesos para cualquier cuerpo celeste, magnitud conocida como radio de Schwarzschild que se denota por: $R_{sch} = 2GM/c^2$

Donde M es la masa del agujero negro, G es la constante gravitacional de Newton, y c^2 es la velocidad de la luz elevada al cuadrado. Así, el radio de Schwarzschild para el Sol que tiene un diámetro de 1.392.530 Km, sería de sólo tres kilómetros, mientras que el de la Tierra es de 1 cm: si un cuerpo con la masa de la Tierra se comprimiera hasta el extremo de convertirse en una singularidad, la esfera formada por su horizonte de sucesos tendría el modesto tamaño de una bolita o canica de niños. Por otro lado, para una estrella de unas 10 masas solares el radio de Schwarzschild es de unos 30 kilómetros. Que para nuestro Sol, como he dicho antes, se quedaría en sólo tres kilómetros, tal es su grado de encogimiento sobre sí mismo.

Por otra parte, los acontecimientos que ocurren fuera del horizonte de sucesos en un agujero negro, tienen un comportamiento como cualquier otro objeto cósmico de acuerdo a la masa que presente. Por ejemplo, si nuestro Sol se transformara en un agujero negro, la Tierra seguiría con los mismos patrones orbitales que antes de dicha conversión del Sol en agujero negro.

Ahora bien, y en función de la fórmula anteriormente descrita, el horizonte de sucesos se incrementa en la medida que crece la masa del agujero a

medida que atrae masa hacia él y se la traga introduciéndola en la singularidad. Las evidencias observacionales nos invitan a pensar que en muchos centros de galaxias se han formado ya inmensos agujeros negros supermasivos que han acumulado tanta masa (absorciones de materia interestelar y estrellas) que su tamaño másico estaría bordeando el millón de masas solares, pero su radio de Schwarzschild no supera ni las 20 UA (unidad astronómica = 150 millones de Km), mucho menor que nuestro sistema solar.

Comprender lo que es una singularidad puede resultar muy difícil para una persona alejada de la ciencia en sí.

Es un asunto bastante complejo el de la singularidad en sí misma, y para los lectores más alejados de los quehaceres de la física, será casi imposible aceptarla. En el pasado, no fue fácil su aceptación, a pesar de las conclusiones radicales que expuso Karl Schwarzschild en su trabajo inspirado en la teoría y ecuaciones de Einstein. De hecho, hasta el mismo Einstein dudó de la existencia de tales monstruos cosmológicos. Incluso durante largo tiempo, la comunidad científica lo consideró como una curiosidad teórica. Tuvieron que transcurrir 50 años de conocimientos experimentales y observaciones astronómicas para empezar a creer, sin ningún atisbo de duda, que los agujeros negros existían realmente.

El concepto mismo de “singularidad” desagradaba a la mayoría de los físicos, pues la idea de una densidad infinita se alejaba de toda comprensión. La naturaleza humana está mejor condicionada a percibir situaciones que se caracterizan por su finitud, cosas que podemos medir y pesar, y que están alojadas dentro de unos límites concretos; serán más grande o más pequeñas pero, todo tiene un comienzo y un final pero... infinito, es difícil de digerir. Además, en la singularidad, según resulta de las ecuaciones, ni existe el tiempo ni existe el espacio. Parece que se tratara de otro universo dentro de nuestro universo toda la región afectada por la singularidad que, eso sí, afecta de manera real al entorno donde está situada y además, no es pacífica, ya que se nutre de cuerpos estelares circundantes que atrae y engulle.

La noción de singularidad empezó a adquirir un mayor crédito cuando Robert Oppenheimer, junto a Hartlan S. Snyder, en el año 1.939 escribieron

un artículo anexo de otro anterior de Oppenheimer sobre las estrellas de neutrones. En este último artículo, describió de manera magistral la conclusión de que una estrella con masa suficiente podía colapsarse bajo la acción de su propia gravedad hasta alcanzar un punto adimensional; con la demostración de las ecuaciones descritas en dicho artículo, la demostración quedó servida de forma irrefutable que una estrella lo suficientemente grande, llegado su final al consumir todo su combustible de fusión nuclear, continuaría comprimiéndose bajo su propia gravedad, más allá de los estados de enana blanca o de estrella de neutrones, para convertirse en una singularidad.

Los cálculos realizados por Oppenheimer y Snyder para la cantidad de masa que debía tener una estrella para terminar sus días como una singularidad estaban en los límites básicos de $M = \sim$ masa solar, estimación que fue corregida posteriormente por otros físicos teóricos que llegaron a la conclusión de que sólo sería posible que una estrella se transformara en singularidad, la que al abandonar su fase de gigante roja retiene una masa residual como menos de 2 – 3 masas solares.

Oppenheimer y Snyder desarrollaron el primer ejemplo explícito de una solución a las ecuaciones de Einstein que describía de manera cierta a un agujero negro, al desarrollar el planteamiento de una nube de polvo colapsante. En su interior, existe una singularidad, pero no es visible desde el exterior, puesto que está rodeada de un horizonte de suceso que no deja que nadie se asome, la vea, y vuelva para contarla. Lo que traspasa los límites del horizonte de sucesos, ha tomado el camino sin retorno. Su destino irreversible, la singularidad de la que pasará a formar parte.

Desde entonces, muchos han sido los físicos que se han especializado profundizando en las matemáticas relativas a los agujeros negros. John Malher (que los bautizó como agujeros negros), Roger Reyrose, Stephen Hawking, Kip S. Thorne, Kerr y muchos otros nombres que ahora no recuerdo, han contribuido de manera muy notable al conocimiento de los agujeros negros, las cuestiones que de ellas se derivan y otras consecuencias de densidad, energía, gravedad, ondas gravitacionales, etc, que son deducidas a partir de estos fenómenos del cosmos.

Se afirma que las singularidades se encuentran rodeadas por un horizonte de sucesos, pero para un observador, en esencia, no puede ver nunca la singularidad desde el exterior. Específicamente implica que hay alguna región incapaz de enviar señales al infinito exterior. La limitación de esta región es el *horizonte de sucesos*, tras ella se encuentra atrapado el pasado y el infinito nulo futuro. Lo anterior nos hace distinguir que en esta frontera se deberían reunir las características siguientes:

- debe ser una superficie nula donde es pareja, generada por geodésicas nulas;
- contiene una geodésica nula de futuro sin fin, que se origina a partir de cada punto en el que no es pareja, y que
- el área de secciones transversales espaciales jamás pueden disminuir a lo largo del tiempo.

Todo esto ha sido demostrado matemáticamente por Israel, 1.967; Carter, 1.971; Robinson, 1.975; y Hawking, 1.978 con límite futuro asintótico de tal espaciotiempo como el espaciotiempo de Kerr, lo que resulta notable, pues la métrica de Kerr es una hermosa y exacta formulación para las ecuaciones de vacío de Einstein y, como un tema que se relaciona con la entropía en los agujeros negros.

No resulta arriesgado afirmar que existen variables en las formas de las singularidades que, según las formuladas por Oppenheimer y su colaborador Snyder, después las de kerr y más tarde otros, todas podrían existir como un mismo objeto que se presenta en distintas formas o maneras.

Ahora bien, para que un ente, un objeto o un observador pueda introducirse dentro de una singularidad como un agujero negro, en cualquiera que fuese su forma, tendría que traspasar el radio de Schwarzschild (las fronteras matemáticas del horizonte de sucesos), cuya velocidad de escape es igual a la de la luz, aunque esta tampoco puede salir de allí una vez atrapada dentro de los límites fronterizos determinados por el radio. Este radio

de Schwarzschild puede ser calculado usándose la ecuación para la velocidad de escape:

$$V_{esc} = (2GM/R)^{1/2}$$

Para el caso de fotones u objeto sin masa, tales como neutrinos, se sustituye la velocidad de escape por la de la luz c^2 .

La velocidad de escape está referida a la velocidad mínima requerida para escapar de un campo gravitacional. El objeto que escapa puede ser cualquier cosa, desde una molécula de gas a una nave espacial. Como antes he reflejado está dada por $\sqrt{2GM/R}$, donde G es la constante gravitacional, M es la masa del cuerpo y R es la distancia del objeto que escapa del centro del cuerpo del que pretende escapar (del núcleo). Un objeto que se mueva a velocidad menor a la de escape entra en una órbita elíptica; si se mueve a una velocidad exactamente igual a la de escape, sigue una órbita parabólica, y si el objeto supera la velocidad de escape, se mueve en una trayectoria hiperbólica.

Así hemos comprendido que, a mayor masa del cuerpo del que se pretende escapar, mayor será la velocidad que necesitamos para escapar de él. Veamos algunas:

Objeto	Velocidad de escape
La Tierra11,18 Km/s
El Sol617,3 Km/s
Júpiter59,6 Km/s
Saturno35,6 Km/s
Venus10,36 Km/s
Agujero negro+ de 299.000 Km/s

Como se ve en el cuadro anterior, cada objeto celeste, en función de su masa, tiene su propia velocidad de escape para que cualquier cosa pueda salir de su órbita y escapar de él.

La excepción está en el último ejemplo, la velocidad de escape necesaria para vencer la fuerza de atracción de un agujero negro que, siendo preciso superar la velocidad de la luz 299.792'458 Km/s, es algo que no está permitido, ya que todos sabemos que conforme determina la teoría de la relatividad especial de Einstein, la velocidad de la luz es la velocidad límite en nuestro universo; nada puede ir más rápido que la velocidad de la luz, entre otras razones porque el objeto sufriría la transformación de Lorentz y su masa sería infinita.

Podría continuar explicando otros aspectos que rodean a los agujeros negros, pero estimo que el objetivo que perseguía de hacer conocer lo que es un agujero negro y el origen del mismo, está sobradamente cumplido.

A lo largo de la exposición anterior, en algún momento determinado me referí la entropía, y haciendo un alto en el camino, antes de continuar con nuestro objetivo, quiero explicar aquí qué es la *entropía*:

Se denota con el símbolo S y está referida a la medida de la NO disponibilidad de la energía de un sistema para producir trabajo; en un sistema cerrado, un aumento de la entropía está acompañado por un descenso en la energía disponible. Cuando un sistema desarrolla un cambio reversible, la entropía (S) cambia en una cantidad igual a la energía transferida al sistema en forma de calor (Q) dividida por la temperatura termodinámica a la cual tiene lugar el proceso (T), es decir:

$$\Delta S = Q/T$$

Sin embargo, todos los procesos reales son en un cierto grado cambios irreversibles y en cualquier sistema cerrado un cambio irreversible siempre está acompañado de un aumento de la entropía.

En un sentido más amplio, la entropía puede ser interpretada como una medida del desorden; cuanto mayor es la entropía, mayor es el desorden.

Como cualquier cambio real en un sistema cerrado tiende a una mayor entropía, y por tanto a un mayor desorden, se deduce que si la entropía del universo está aumentando, la energía disponible está decreciendo (muerte térmica del universo), si se considera el universo como un sistema cerrado. Este aumento de la entropía del universo es una manera de formular el segundo principio de la termodinámica.

También nosotros mismos, considerados individualmente como sistemas cerrados, estamos afectados por la entropía que con el paso del tiempo aumenta y perdemos energía ganando en desorden. El desorden físico de nuestro sistema animal que inexorablemente se encamina, imparable, al caos final. Claro que mientras eso llega, tenemos la obligación ineludible de contribuir, en la forma que cada cual pueda, para que el mañana sea mejor para aquellos que nos siguen.

Continuemos con los objetos supermasivos y, tras el agujero negro, el más cercano en densidad es una *estrella de neutrones*. Objeto extremadamente pequeño y denso que se forma cuando una estrella masiva, de 1'5 a 2 masas solares, al finalizar la fusión, sufre una explosión de supernova de tipo II. Durante la explosión, el núcleo de la estrella masiva se colapsa bajo su propia gravedad hasta que, a una densidad de unos 10^{17} Kg/m³, los electrones y los protones están tan juntos que pueden combinarse para formar neutrones. El objeto resultante consiste sólo en neutrones; se mantiene estable frente a un mayor colapso gravitacional por la presión de degeneración de los neutrones, siempre que su masa no sea mayor que dos masas solares (límite de Oppenheimer–Volkoff). Si el objeto fuese más masivo colapsaría hasta formar un agujero negro.

Una típica estrella de neutrones, con una masa poco mayor que la del Sol, tendría un diámetro de solo unos 30 Km, y una densidad mucho mayor que la que habría en un terrón de azúcar con una masa igual a la de toda la humanidad.

Cuanto mayor es la masa de una estrella de neutrones, menor es su diámetro. Se cree que las estrellas de neutrones tienen un interior de neutrones superfluidos (es decir, neutrones que se comportan como un fluido de viscosidad cero), rodeados por una corteza sólida de más o menos 1 Km de grosor compuesta por elementos como el hierro.

Los púlsares son estrellas de neutrones magnetizadas en rotación. Las binarias de rayos X masivas también se piensa que contienen estrellas de neutrones.

Un púlsar es una fuente de radio desde la que recibimos señales altamente regulares. Han sido catalogados más de 700 púlsares desde que se descubrió el primero en 1.967. Como antes dije, son estrellas de neutrones que están en rápida rotación y cuyo diámetro ronda 20 - 30 Km. Están altamente magnetizadas (alrededor de 10^8 tesla), con el eje magnético inclinado con respecto al eje de rotación. La emisión de radio se cree que surge por la aceleración de partículas cargadas por encima de los polos magnéticos. A medida que rota la estrella, un haz de ondas de radio barre la Tierra, siendo entonces observado el pulso, de forma similar a la luz de un faro. Los períodos de los pulsos son típicamente de 1 s, pero varían desde los 1'56 ms (púlsares de milisegundo) hasta los 4'35. Los periodos de los pulsos se alargan gradualmente a medida que las estrellas de neutrones pierden energía rotacional, aunque unos pocos púlsares jóvenes son propensos a súbitas perturbaciones conocidas como ráfagas.

Las medidas precisas de tiempos en los púlsares han revelado la existencia de púlsares binarios, y un pulsar, PSR1257+12, se ha demostrado que está acompañado por objetos de masa planetaria.

Han sido detectados destellos ópticos procedentes de unos pocos púlsares, notablemente los púlsares del Cangrejo y Vela.

La mayoría de los púlsares se piensa que se crean en explosiones de supernova por el colapso del núcleo de una estrella supergigante (como en el caso de los agujeros negros pero en estrellas menos masivas), aunque en

la actualidad hay considerables evidencias de que al menos algunos de ellos se originan a partir de enanas blancas que han colapsado en estrella de neutrones después de una acreción de masa de una estrella compañera, formando lo que se conoce como púlsar reciclado.

La gran mayoría de púlsares conocidos se encuentran en la Vía Láctea y están concentrados en el plano galáctico. Se estima que hay unos 100.000 púlsares en la galaxia. Las observaciones de la dispersión interestelar y del efecto Faraday en los púlsares suministran información sobre la distribución de electrones libres y de los campos magnéticos de la Vía Láctea.

Los púlsares se denotan por el prefijo PSR seguido de la posición aproximada en ascensión recta (4 dígitos) y declinación (2 ó 3 dígitos), normalmente para la época 1.950,0. Las cifras pueden estar precedidas por B si las coordenadas son para la época 1.950,0 o J para la época 2.000,0.

Nuestro universo es igual en todas partes. Las leyes que rigen en todo el universo son las mismas. La materia que puebla el universo, gases estelares, polvo cósmico, galaxias con cientos de miles de millones de estrellas y sistemas planetarios, también son iguales en cualquier confín del universo. Todo el universo, por lo tanto, está plagado de agujeros negros y de estrellas de neutrones. En realidad, con el transcurso del tiempo, el número de estos objetos masivos estelares irá en aumento, ya que cada vez que explota una estrella supermasiva, nace un nuevo agujero negro o una estrella de neutrones, transformándose así en un objeto distinto del que fue en su origen. De gas y polvo pasó a ser estrella y después se transformó en un agujero negro o en una estrella de neutrones.

GALAXÍA

La Galaxia espiral que acoge a nuestro Sol y a las estrellas visibles a simple vista durante la noche; es escrita con G mayúscula para distinguirla de las demás galaxias. Su disco es visible a simple vista como una débil

banda alrededor del cielo, la Vía Láctea; de ahí que a la propia Galaxia se la denomine con frecuencia Vía Láctea.

Nuestra galaxia tiene tres componentes principales. Uno es el disco de rotación de unas 6×10^{10} masas solares consistentes en estrellas relativamente jóvenes (población II), cúmulos cubiertos de gas y polvo, estando estrellas jóvenes y material interestelar concentrados en brazos espirales. El disco es muy delgado, de unos 1.000 a. l., comparado con su diámetro de más de 100.000 años luz. Aún continúa una activa formación de estrellas en el disco, particularmente en las nubes moleculares gigantes.

El segundo componente principal es un halo débil y aproximadamente esférico con quizás el 15 - 30% de la masa del disco. El halo está constituido por estrellas viejas (población II), estando concentradas parte de ellas en cúmulos globulares, además de pequeñas cantidades de gas caliente, y se une a un notable bulbo central de estrellas, también de la población II.

El tercer componente principal es un halo no detectado de materia oscura con una masa total de al menos 4×10^{11} masas solares. En total, hay probablemente alrededor de 2×10^{11} estrellas en la Galaxia (unos 200 mil millones), la mayoría con masas menores que el Sol.

La edad de la Galaxia es incierta, si bien el disco tiene al menos 10.000 millones de años, mientras que los cúmulos globulares y la mayoría de las estrellas del halo se cree que tienen entre 12.000 y 14.000 millones de años.

El Sol se encuentra a una distancia que está entre 26.000 y 30.000 años luz del centro galáctico, en el Brazo de Orión.

El mismo centro galáctico se halla en la constelación Sagitarius.

La Vía Láctea es una espiral, aunque las observaciones de su estructura y los intentos de medir las dimensiones de los brazos espirales se ven impedidos por el polvo oscurecedor del disco y por las dificultades en estimar distancias. Es posible que la Galaxia sea una espiral barrada dado que exis-

ten algunas evidencias de una estructura en forma de barra en las regiones centrales y el bulbo.

Todas las galaxias son sistemas de estrellas, a menudo con gas y polvo interestelar, unidas por la gravedad. Las galaxias son las principales estructuras visibles del universo. Varían desde las enanas con menos de un millón de estrellas a las supergigantes con más de un billón de estrellas, y un diámetro desde unos pocos cientos a mas de 600.000 años luz. Las galaxias pueden encontrarse aisladas o en pequeños grupos, como el nuestro conocido Grupo Local, o en grandes cúmulos como el Cúmulo de Virgo.

Las galaxias se clasifican habitualmente de acuerdo a su apariencia (clasificación de Hubble). A parecen en dos formas principales: espirales (con brazos) y elípticas (sin brazos). Las elípticas tienen una distribución de estrellas suave y concentrada en el centro, con muy poco gas o polvo interestelar. De las espirales hay varios tipos, espirales ordinarias y barradas. Ambos tipos tienen material interestelar además de estrellas. Las galaxias lenticulares presentan un disco claro, aunque sin brazos espirales visibles.

Las galaxias irregulares tienen una estructura bastante amorfa e irregular, en ocasiones con evidencias de brazos espirales o barras. Unas pocas galaxias no se parecen a ninguno de estos tipos principales, y pueden ser clasificadas como peculiares. Muchas de éstas son probablemente los resultados de choques entre galaxias que han quedado fusionadas quedando configuradas después de manera irregular.

El tipo de galaxia más numeroso pueden ser las galaxias esferoidales, pequeñas, y relativamente débiles, que tienen forma aproximadamente elíptica.

Se cree que las galaxias se han formado por la acumulación gravitacional de gas, algún tiempo después de la época de la recombinação. Las nubes de gas podrían haber comenzado a formar estrellas, quizás como resultado de las colisiones mutuas. El tipo de galaxia generado podría depender del ritmo al que el gas era transformado en estrellas, formándose las elípti-

cas cuando el gas se convertía rápidamente en estrellas, y las espirales si la transformación de estrellas era lo suficientemente lenta como para permitir crecer de forma significativa un disco de gas.

Las galaxias evolucionan al convertir progresivamente su gas remanente en estrellas, si bien no existe probablemente una evolución entre las diferentes tipos de la clasificación del conocido sistema de Hubble. No obstante, algunas galaxias elípticas pudieron haberse creado por la colisión y posterior fusión de dos galaxias espirales.

El número relativo de galaxias de los diferentes tipos está íntimamente relacionado con su brillo intrínseco y con el tipo de grupo o cúmulo al que pertenecen. En los cúmulos densos, con cientos o miles de galaxias, una alta proporción de las galaxias brillantes son elípticas y lenticulares, con unas pocas espirales (5 - 10%).

No obstante, la proporción de espirales pudo haber sido mayor en el pasado, habiendo perdido las espirales su gas de manera que ahora se asemejan a los lenticulares, o habiendo sufrido fusiones con otras galaxias espirales e irregulares para convertirse en elípticas. Ya sabéis que nada desaparece, sólo se transforma.

Fuera de los cúmulos, la mayoría de las galaxias pertenecen a grupos que contienen entre unos pocos y varias docenas de miembros, siendo raras las galaxias aisladas. Las espirales constituyen el 80% de las galaxias brillantes en estos entornos de baja densidad, con una correspondiente baja proporción de elípticas y lenticulares.

Algunas galaxias presentan una actividad inusual en su centro, como las galaxias Seyfert o las galaxias N. Una radiogalaxia es un emisor inusualmente intenso de energía en forma de ondas de radio.

Hablando de galaxias podríamos movernos en un amplio abanico de posibilidades de las que relaciono algunas a continuación:

Galaxia head-tail: Una elíptica en la que una intensa emisión de radio en el núcleo está acompañada por una cola irregular de radioemisión difusa que se extiende cientos de miles de años luz. Es una radación sincrotrón de electrones energéticos.

Galaxia anular: Inusual galaxia con anillo luminoso bien definido alrededor de un núcleo brillante. El anillo puede parecer suave y regular, o anudado y deformado, y puede contener gas y polvo además de estrellas. Un ejemplo es la galaxia de la Rueda de Carro.

Galaxia binaria: Par de galaxias en órbita de una en torno a la otra. Las auténticas galaxias binarias son muy difíciles de distinguir de las superposiciones casuales de dos galaxias en la línea de visión. La investigación estadística de los pares binarios que sigue las órbitas es valiosa en el estudio de la estimación de las masas totales de algunos tipos particulares de galaxias.

Galaxia compacta: Tipo de galaxia que sólo puede ser distinguida de una estrella mediante placas de exploración del cielo tomadas con cámaras Schmidt. Tienen diámetros aparentes de $2 - 5''$ y una región de alto brillo superficial que puede ser definido y debido a núcleos brillantes de las regiones activas que están formando nuevas estrellas. Unos 2.000 objetos de este tipo fueron catalogados por F. Zwicky.

Galaxia con bajo brillo superficial (LSB): Tipo de galaxia cuya densidad de estrellas es tan baja que es difícil detectarla frente al fondo del cielo. Se desconoce la proporción de galaxias con bajo brillo superficial en relación a las galaxias normales, pudiendo representar una parte significativa del universo. Muchas de estas débiles galaxias son enanas, situadas particularmente en cúmulos de galaxias; algunas son tan masivas como las grandes espirales, por ejemplo, Malin-1.

Galaxia con envoltura: Galaxia espiral rodeada por débiles arcos o capas de estrellas, situados a ángulos rectos con respecto a su eje mayor. Pueden observarse entre una y veinte capas casi concéntricas, aunque in-

completas. Se disponen de manera que capas sucesivas puedan aparecer normalmente en lados opuestos de la galaxia. Alrededor del 10% de las elípticas brillantes presentan envolturas, la mayoría de ellas en regiones de baja intensidad o densidad de galaxias. No se conoce ninguna espiral con una estructura de capas de ese tipo. Podrían ser el resultado de una elíptica gigante que se come una compañera.

Galaxia de anillo polar: Raro tipo de galaxia, casi siempre una galaxia lenticular, que tiene un anillo luminoso de estrellas, gas y polvo orbitando sobre los polos de su disco. Por tanto, los ejes de rotación del anillo y del disco forman casi un ángulo recto. Dicho sistema puede ser el resultado de una colisión, una captura de por maneras, o la unión de una galaxia rica en gas con la galaxia lenticular.

Galaxia de disco: Tipo de galaxia cuya estructura principal es un delgado disco de estrellas con órbitas aproximadamente circulares alrededor de su centro, y cuya emisión de luz típicamente disminuye exponencialmente con el radio. El término se aplica a todos los tipos de galaxias que no sean elípticas, esferoidales enanas o algunas galaxias peculiares. El disco de las galaxias lenticulares contiene muy poco material interestelar, mientras que los discos de las galaxias espirales e irregulares contienen cantidades considerables de gas y polvo además de estrellas.

Galaxia de tipo tardío: Galaxia espiral o irregular. El nombre proviene de la posición convencional de estas galaxias en el diagrama diapasón de los tipos de galaxias. Por razones similares, una galaxia espiral Sc o Sd pueden ser denominadas espiral del tipo tardío, en contraposición a una espiral Sa o Sb de tipo temprano.

Galaxia de tipo temprano: Galaxia elíptica o lenticular: una sin brazos espirales. El nombre proviene de la posición de las galaxias en el diagrama diapasón de las formas de las galaxias. Por razones similares, una galaxia Sa podría ser referida como una espiral de tipo temprano, en contraposición, en contraposición a una espiral Sc o Sd de tipo tardío.

Se podría continuar explicando lo que es una galaxia elíptica, enana, compacta azul, esferoidal enana, espiral (como la Vía Láctea), espiral enésima, espiral barrada, interaccionante, irregular, lenticular, peculiar, starburst, primordiales... etc, sin embargo, creo que ya se ha dejado constancia aquí de los datos necesarios para el que lector tenga una idea de lo que es una galaxia. Así que decido finalizar el apartado de galaxias, reflejando un cuadro del Grupo Local de galaxias en el que está situada la nuestra.

GRUPO LOCAL DE GALAXIAS	
Galaxia	Distancia en Kpc
Andrómeda (M 31)	725
Vía Láctea	- 0
Del Triángulo (M 33)	795
Gran Nube de Magallanes	49
IC 10	1250
M32 (NGC 221)	725
NGC 6822 (de Barnard)	540
M 120 (NGC 205)	725
Pequeña Nube de Magallanes	58
NGC 185	620
NGC 147	660
IC 1613	765
Wolf-Lundmark-Melotte	940
Enana de Fornax	131
Enana de Sagitarius	25
And I	725
And II	725
Leo I	273
Enana de Acuario (DDO 210)	800
Sagitarius (Sag DiG)	1.100
Enana de Sculptor	78
Enana de Antlia	1.150
And III	725
IGS 3	760
Enana de Sextans	79

Enana de Phoenix	390
Enana de Tucana	870
Leo II	215
Enana de Ursa Minor	63
Enana de Carina	87
Enana de Draco	76

En el cuadro anterior del Grupo local de galaxias al que pertenece la Vía Láctea, en la que está nuestro Sistema Solar, se consigna las distancias a que se encuentran estas galaxias de la nuestra y se hace en kilopársec.

En el espacio exterior, el cosmos, lo que conocemos por universo, las distancias son tan enormes que se tienen que medir con unidades espaciales como el año luz (distancia que recorre la luz en un año a razón de 299.792.458 metros por segundo). Otra unidad ya mayor es el pársec (pc), unidad básica de distancia estelar correspondiente a una paralaje trigonométrica de un segundo de arco ($1''$). En otras palabras, es la distancia a la que una Unidad Astronómica (UA = 150.000.000 Km) subtiende un ángulo de un segundo de arco. Un pársec es igual a 3'2616 años luz, o 206.265 Unidades Astronómicas, o $30'857 \times 10^{12}$ Km. Para las distancias a escalas galácticas o intergalácticas se emplea una unidad de medida superior al pársec, el kilopársec (Kpc) y el megapársec (Mpc).

Para tener una idea aproximada de estas distancias, pongamos el ejemplo de nuestra galaxia hermana, Andrómeda, situada (según el cuadro anterior a 725 kilopársec de nosotros) en el Grupo local a 2'3 millones de años luz de la Vía Láctea.

¿Nos mareamos un poco?

1 segundo luz	299.792'458 Km
1 minuto luz	18.000.000 Km
1 hora luz	1.080.000.000 Km
1 día luz.	25.920.000.000 Km
1 año luz	9.460.800.000.000 Km
2'3 millones de años luz	21.759.840.000.000.000 Km

¡Una barbaridad!

Ahí tenemos la imposibilidad física de viajar a otros mundos, y no digamos a otras galaxias. Las velocidades que pueden alcanzar en la actualidad nuestros ingenios espaciales no llegan ni a 50.000 Km/h. ¿Cuánto tardarían en recorrer los 21.759.840.000.000.000 Km que nos separa de Andrómeda?

Incluso el desplazarnos hasta la estrella más cercana, Alfa Centauri, resulta una tarea impensable si tenemos en cuenta que la distancia que nos separa es de 4'3 años luz, y un año luz = 9.460.800.000.000 Km.

Hasta que no se busque la manera de esquivar la barrera de la velocidad de la luz, los viajes a otros mundos están algo complicados para nosotros.

La única ventaja a nuestro favor: ¡EL TIEMPO! Tenemos mucho, mucho tiempo por delante para conseguir descifrar los secretos del hiperespacio que nos mostrará otros caminos para desplazarnos por las estrellas que, en definitiva, será el destino de la humanidad. Todo ello, claro está, si antes no es la misma humanidad la que lo fastidia todo. El mirar hacia atrás y comprobar comportamientos anteriores, en verdad no resulta muy alentador. El proceso de humanización aún está muy crudo y con suma facilidad sacamos fuera el animal que llevamos dentro de nosotros. Los actos terroristas, las guerras, los miles de niños muertos de hambre, los pueblos que malviven en la más absoluta miseria y sin agua, es la prueba irrefutable de la calidad humana de la que podemos presumir. Y todo ello agravado por el hecho cierto de que la otra parte del mundo, mientras los otros padecen de toda clase de privaciones, derrochan, malgastan en inútiles caprichos y tiran la comida que podría paliar el hambre de los otros.

Así resulta ser la humanidad.

Claro que algo bueno debíamos tener. Se nos dio la mujer, un ser mucho más fuerte que nosotros los hombres, capaz de darnos hijos y de mante-

ner unida la familia. Mientras que el hombre es (por regla general), el suministrador, el que proporciona el sustento, la mujer es la que influye en los valores más importantes del hombre; ella, durante la niñez, le graba en su limpia mente esos mensajes que perdurarán durante toda la vida. Dará la impronta de su carácter y la personalidad futura. Mientras el padre trabaja, la madre dedica horas y horas a los niños, y sus enseñanzas y consejos los acompañarán durante sus vidas. En el colegio y en la universidad la enseñan cosas que no sabían, en sus casas les enseñan la educación y a ser hombres y mujeres que se miran en el espejo de sus padres.

La humanidad es en realidad algo muy complejo y difícil de entender. Sabemos que en el universo existen cientos de miles de millones y trillones de protones y electrones, o 10^{-5} átomos por cm^3 de espacio; todos, absolutamente todos los protones, son exactamente iguales. Con los electrones pasa igual y lo mismo con los átomos, son exactos, copias los unos de los otros, la misma masa, la misma carga y las mismas propiedades, no podríamos encontrar un electrón distinto a otro. Sin embargo, referido a nosotros, los individuos (individual) que componemos toda la humanidad (unos 6.000 millones), resulta que, ni siquiera uno es exactamente igual a otro. Cada uno es diferente a los demás y tiene sus propias características particulares que lo hace distinto.

Ahí precisamente reside la grandeza y también la dificultad. La grandeza que da la variedad y el enorme abanico que posibilidades de mentes distintas empeñadas en resolver un problema que se estudia bajo miles de millones de puntos de vista, con lo mal será difícil que finalmente no aparezcan la solución. La dificultad que esa misma variedad genera entre seres que, al ser diferentes, también tienen criterios distintos y distintas maneras de ver las cosas.

Con el tiempo, y obligados por la necesidad colectiva, se llegó a establecer algunas reglas de juego para hacer posible que la humanidad avance y que la sociedad se perfeccione. Sin embargo, de vez en cuando aparece un irresponsable, un idiota que, como Zapatero, se cree Dios y en pocos meses arruina el trabajo que otros hicieron durante años.

Este trabajo no es sobre política, así que retomaré la física y la astronomía de la que momentáneamente me he apartado.

Big Bang

Hablaremos ahora del Big Bang, esa teoría aceptada por todos y que nos dice cómo se formó nuestro universo y comenzó su evolución hasta ser como ahora lo conocemos.

De acuerdo a esta teoría, el universo se originó a partir de un estado inicial de alta temperatura y densidad, y desde entonces ha estado siempre expandiéndose. La teoría de la relatividad general predice la existencia de una singularidad en el comienzo, cuando la temperatura y la densidad eran infinitas.

La mayoría de los cosmólogos interpretan esta singularidad como una indicación de que la relatividad general de Einstein deja de ser válida en el universo muy primitivo (no existía materia), y el comienzo mismo debe ser estudiado utilizando una teoría de cosmología cuántica.

Con nuestro conocimiento actual de física de partículas de altas energías, podemos hacer avanzar el reloj hacia atrás a través de la teoría leptónica* y la era hadrónica** hasta una millonésima de segundo después del Big Bang, cuando la temperatura era de 10^{13} K. Utilizando una teoría más especulativa, los cosmólogos han intentado llevar el modelo hasta 10^{35} s después de la singularidad, cuando la temperatura era de 10^{28} K. Esa infinitesimal escala de longitud es conocida como límite de Planck, $L_p = \sqrt{(G\hbar/c^3)} = 10^{-35}$ m, que en la Ley de radiación de Planck, es distribuida la energía radiada por un cuerpo negro mediante pequeños paquetes discretos llamados *cuan-*

* , ** Especificadas más adelante

tos, en vez de una emisión continua. A estas distancias, la gravedad está ausente para dejar actuar a la mecánica cuántica.

La teoría del Big Bang es capaz de explicar la expansión del universo, la existencia de una radiación de fondo cósmica y la abundancia de núcleos ligeros como el helio, el helio-3, el deuterio y el litio-7, cuya formación se predice que ocurrió alrededor de un segundo después del Big Bang, cuando la temperatura reinante era de 10^{10} K.

La radiación de fondo cósmica proporciona la evidencia más directa de que el universo atravesó por una fase caliente y densa. En la teoría del Big Bang, la radiación de fondo es explicada por el hecho de que durante el primer millón de años más o menos (es decir, antes del desacoplo de la materia y la radiación), el universo estaba lleno de plasma que era opaco a la radiación y, por tanto, en equilibrio térmico con ella. Esta fase es habitualmente denominada “*bola de fuego primordial*”.

Cuando el universo se expandió y se enfrió a unos 3000 °K, se volvió transparente a la radiación, que es la que observamos en la actualidad, mucho más fría y diluida, como radiación térmica de microondas. El descubrimiento del fondo de microondas en 1.956 puso fin a una larga batalla entre el Big Bang y su rival, la teoría del universo estacionario de F. Hoyle y otros, que no podía explicar la forma de cuerpo negro del fondo de microondas. Es irónico que el término Big Bang tuvo inicialmente un sentido burlesco y fue acuñado por Hoyle, contrario a la teoría del universo inflacionario y defensor del estacionario.

Cronología del Big Bang

Era	Duración	Temperatura
Era de Planck	de 0 a 10^{-43} seg.	a 10^{-34} K
Era de radiación	de 10^{-43} a 30.000 años	desde 10^{-34} a 10^4 K
Era de la materia	de 30.000 años al presente (13.500.000.000 años).	desde 10^4 a 3 K actual

Para fijar más claramente los hechos se debe extender la explicación evolutiva del universo en las fases principales que son:

Era: de la materia, hadrónica y leptónica.

Eras en el proceso del Big Bang

De la materia

Es la era que comenzó cuando el efecto gravitacional de la materia comenzó a dominar sobre el efecto de presión de radiación. Aunque la radiación es no masiva, tiene un efecto gravitacional que aumenta con la intensidad de la radiación. Es más, a altas energías, la propia materia se comporta como la radiación electromagnética, ya que se mueve a velocidades próximas a la de la luz. En las etapas muy antiguas del universo, el ritmo de expansión se encontraba dominado por el efecto gravitacional de la presión de radiación, pero a medida que el universo se enfrió, este efecto se hizo menos importante que el efecto gravitacional de la materia. Se piensa que la materia se volvió predominante a una temperatura de unos 10^4 K, aproximadamente 30.000 años a partir del Big Bang. Este hecho marcó el comienzo de la era de la materia.

De la radiación

Periodo entre 10^{-43} s (la era de Planck) y 300.000 años después del Big Bang. Durante este periodo, la expansión del universo estaba dominada por los efectos de la radiación o de las partículas rápidas (a altas energías todas las partículas se comportan como la radiación). De hecho, la era leptónica y la era hadrónica son ambas subdivisiones de la era de radiación.

La era de radiación fue seguida por la era de la materia que antes se reseña, durante la cual los partículas lentas dominaron la expansión del universo.

Era hadrónica

Corto periodo de tiempo entre 10^{-6} s y 10^{-5} s después del Big Bang en el que se formaron las partículas atómicas pesadas, como protones, neutrones, piones y kaones entre otras. Antes del comienzo de la era hadrónica, los quarks se comportaban como partículas libres. El proceso por el que se formaron los quarks se denomina transición de fase quark-hadrón. Al final de la era hadrónica, todas las demás especies hadrónicas habían decaído o se habían desintegrado, dejando sólo protones o neutrones. Inmediatamente después de esto el universo entró en la era leptónica.

Era Leptónica

Intervalo que comenzó unos 10^{-5} s después del Big Bang, en el que diversos tipos de leptones eran la principal contribución a la densidad del universo. Se crearon pares de leptones y antileptones en gran número en el universo primitivo, pero a medida que el universo se enfrió, la mayor parte de las especies leptónicas fueron aniquiladas. La era leptónica se entremezcla con la hadrónica y ambas, como ya dije antes, son subdivisiones de la era de la radiación. El final de la era leptónica se considera normalmente que ocurrió cuando se aniquilaron la mayor parte de los pares electrón-positrón, a una temperatura de 5×10^9 K, más o menos un segundo después del Big Bang. Después, los leptones se unieron a los hadrónes para formar átomos*

* Ver pág. 265 y siguientes.

Así se formó nuestro universo, a partir de una singularidad que explotó expandiendo toda la densidad y energía a unas temperaturas terroríficas, y a partir de ese mismo instante conocido como Big Bang, nacieron, como hermanos gemelos, el tiempo y el espacio junto con la materia que finalmente desembocó en lo que ahora conocemos como universo.

El universo es el conjunto de todo lo que existe, incluyendo (como he dicho) el espacio, el tiempo y la materia. El estudio del universo se conoce como cosmología. Los cosmólogos distinguen al Universo con “U” mayúscula, significando el cosmos y su contenido, y el universo con “u” minúscula, que es normalmente un modelo matemático deducido de alguna teoría física como por ejemplo, el universo de Friedmann o el universo de Einstein–de Sitter. El universo real está constituido en su mayoría de espacios que aparentemente están vacíos, existiendo materia concentrada en galaxias formadas por estrellas, planetas, gases y otros objetos cosmológicos.

El universo se está expandiendo, de manera que el espacio entre las galaxias está aumentando gradualmente, provocando un desplazamiento al rojo cosmológico en la luz procedente de los objetos distantes.

Existe evidencia creciente de que el espacio puede estar lleno de una materia oscura invisible que puede constituir muchas veces la masa total de las galaxias visibles.

Como ya quedó claro antes, el concepto más favorecido de origen del universo es la teoría del Big Bang, de acuerdo con la cual el universo se creó a partir de una densa y caliente concentración enorme de materia (una singularidad) en una bola de fuego que explotó y se expandió para crear el espacio, el tiempo y toda la materia que lo conforme. Todo ello ocurrió, según los datos de que se disponen, hace ahora aproximadamente 15.000 millones de años, o 15 eones (10^9).

El universo se formó y apareció el tiempo y el espacio y la materia. Es lo que dice la teoría que antes hemos descrito. Sin embargo, hay muchas

cuestiones que, por lo menos a mí, no han quedado claras y me llevan a preguntas tales como:

¿Cuántas partículas hay en el universo?

¿De dónde vino la sustancia del universo?

¿Qué hay más allá del borde del universo?

En realidad, no existen respuestas concretas para estas preguntas, porque para empezar no sabemos como es de grande el universo. Sin embargo, si podemos hacer algunas hipótesis.

Podemos calcular que hay unas 100.000.000.000 de galaxias en el universo. Cada una de estas galaxias tiene una media de masa igual a 100.000.000.000 la masa del Sol.

Quiere decir que la cantidad total de materia en el universo sería igual a $10^{11} \times 10^{11}$ ó 10^{22} veces la masa del Sol.

Dicho de otra manera, en el universo hay materia suficiente para hacer 10.000.000.000.000.000.000.000 (diez mil trillones) de soles como el nuestro.

Miremos ahora al revés. La masa del universo está concentrada casi por entero en los nucleones* que contiene. Los nucleones son partículas diminu-

* Nucleones: partículas que constituyen los principales componentes del núcleo atómico (protones y neutrones).

tas y hacen falta 6×10^{23} de ellas para formar una masa equivalente a un gramo.

Pues bien, si 6×10^{23} nucleones hacen 1 g, y si hay 2×10^{55} g en el universo, entonces el número total de nucleones en el universo podría ser de $6 \times 10^{23} \times 2 \times 10^{55}$ ó 12×10^{78} , que de manera más convencional se escribiría $1,2 \times 10^{79}$.

Los astrónomos opinan que el 90 por 100 de los átomos de universo son hidrógeno, el 9 por 100 helio y el 1 por 100 elementos más complejos. Una muestra de 100 gramos, o mejor 100 átomos, consistiría entonces en 90 átomos de hidrógeno, 9 de helio y 1 de oxígeno (por ejemplo). Los núcleos de los átomos de hidrógeno contendrían 1 nucleón cada uno: 1 protón. Los núcleos de los átomos de helio contendrían 4 nucleones cada uno: 2 protones y 2 neutrones. El núcleo del átomo de oxígeno contendría 16 nucleones: 8 protones y 8 neutrones. Los 100 átomos juntos contendrían, por tanto, 145 nucleones: 116 protones y 26 neutrones.

Existe una diferencia entre estos dos tipos de nucleones. El neutrón no tiene carga eléctrica y no es preciso considerar ninguna partícula que lo acompañe. Pero el protón tiene una carga eléctrica positiva, y como el universo es, según creemos, eléctricamente neutro en su conjunto, tiene que existir un electrón (con carga eléctrica negativa) por cada protón, creando así el equilibrio existente.

De las demás partículas, las únicas que existen en cantidades importantes en el universo son los fotones, los neutrinos y posiblemente los gravitones.

nes, pero son partículas sin masa. Veintidós tredecillones es, después de todo, un número apreciable para un universo de importancia.

Nadie sabe de dónde vino la sustancia del universo, no siempre la ciencia puede dar respuesta a todo, es la manera de regular los sistemas para obtener respuestas tras el duro trabajo del estudio, la investigación y el experimento. Hasta el momento nos falta información para contestar la pregunta.

Claro que siempre podemos especular. Isaac Asimov decía que por su parte, “*la respuesta podía estar en la existencia de “energía negativa” que igualara la “energía positiva” ordinaria, pero con la particularidad de que cantidades iguales de ambos se unirían para dar nada como resultado*” (igual que +1 y -1 sumados dan 0).

Y al revés: lo que antes era nada podría cambiar de pronto y convertirse en una pompa de “energía positiva” y otra pompa igual de “energía negativa”. De ser así, la pompa de energía positiva se convirtió en el universo que conocemos, mientras que en alguna otra parte, existiría el universo contrario, paralelo negativo.

Por mi parte, soy menos complicado y como rige el principio de la física conocida como *Navaja de Occam*, creo en un camino más simple y sencillo: El universo, en sus comienzos, produjo enormes cantidades de partículas de materia y de antimateria, y el número de una y otra no era igual sino que, no se sabe por qué razón, las partículas positivas eran más que las negativas.

Todos sabemos que un protón, cuando se encuentra con un antiproton (materia con antimateria) ambos se destruyen.

Una vez destruidos todos los pares materia antimateria, quedó el sobrante de partículas positivas que es la materia de nuestro universo.

De esa manera se formaron, con esas partículas positivas y los electrones (hadrones y leptones), se originaron grandes conglomerados de gas y

polvo que giraban lentamente, fragmentándose en vórtices turbulentos que se condensaban finalmente en estrellas.

Estos conglomerados de gas y polvo podían tener extensiones de años luz de diámetro y, en algunas regiones donde la formación de estrellas fue muy activa, casi todo el polvo y el gas fue a parar a una estrella u otra. Poco o nada fue lo que quedó en los espacios intermedios. Esto es cierto para los cúmulos globulares, las galaxias elípticas y el núcleo central de las galaxias螺旋的.

Dicho proceso fue mucho menos eficaz en las afueras de las galaxias螺旋的. Las estrellas se formaron en números muchos menores y sobró mucho polvo y mucho gas.

Nosotros, los habitantes del planeta Tierra, nos encontramos en los brazos螺旋的 de nuestra galaxia, estamos situados en la periferia a unos 30.000 años luz del centro galáctico y vemos las manchas oscuras que proyectan las nubes de polvo contra el resplandor de la Vía Láctea. El centro de nuestra propia galaxia queda oscurecido por tales nubes.

Estas nubes enormes de polvo cósmico es el material primario del que hacen las estrellas. Este material del que está formado el universo consiste en su mayor parte, como se ha dicho anteriormente, de hidrógeno y helio. Los átomos de helio no tienen ninguna tendencia a juntarse unos con otros. Los de hidrógeno sí, pero sólo en parejas, formando moléculas de hidrógeno (H_2). Quiere decirse que la mayor parte del material que flota entre las estrellas consiste en pequeños átomos de helio o en pequeños átomos y moléculas de hidrógeno. Todo ello constituye el gas interestelar, que forma la mayor parte de la materia que circula en el universo entre las estrellas.

El polvo interestelar o polvo cósmico, que se halla presente en cantidades mucho más pequeñas, se compone de partículas diminutas, pero mucho más grandes que átomos o moléculas, y por tanto deben contener átomos que no son ni de hidrógeno ni de helio, son átomos de materiales más complejos.

El tipo de átomo más común en el universo, después del hidrógeno y el helio, es el de oxígeno. El oxígeno puede combinarse con hidrógeno para formar grupos oxidrilo (HO) y moléculas de agua (H_2O), que tienen una marcada tendencia a unirse a otros grupos y moléculas del mismo tipo que encuentren en el camino, de forma que poco a poco se van constituyendo pequeñísimas partículas compuestas por millones y millones de tales moléculas. Los grupos oxidrilo y las moléculas de agua pueden llegar a constituir una parte importante del polvo cósmico.

En 1.965 se detectó por primera vez grupos oxidrilo en el espacio y se comenzó a estudiar su distribución. Desde entonces se ha informado también de la existencia de moléculas más complejas que contienen átomos de carbono, así como de hidrógeno y oxígeno. El polvo cósmico contiene también agrupaciones atómicas formadas por átomos menos comunes y más complejos que los ya mencionados. Los materiales más pesados y complejos se fabrican en los hornos termonucleares, los núcleos de las estrellas, y cuando al final de su existencia como tales estrellas explotan en súper novas, estos materiales son lanzados al espacio a velocidades increíbles y siembra el vacío estelar de materiales complejos que más tarde sirven de material para formar nuevas estrellas de II generación.

En el espacio estelar se han detectado también átomos de calcio, sodio, potasio e hierro, observando la luz que esos átomos absorben.

Dentro de nuestro sistema solar hay un material parecido, aportado quizás por los cometas. Es posible que fuera de los límites visibles del sistema solar exista una conglomeración grande de cometas, y que algunos de ellos se precipiten hacia el Sol (atraídos por la gravedad). Los cometas son formaciones de fragmentos sólidos de metal y roca, unidos por una mezcla de hielo, metano y amoníaco congelados y otros materiales parecidos. Cada vez que un cometa se aproxima al Sol, se evapora parte de su materia, liberando diminutas partículas sólidas que se esparcen por el espacio en forma de larga cola. En última instancia, el cometa se desintegra por completo.

A lo largo de la historia del sistema solar se han desintegrado innumerables cometas y han llenado de polvo el espacio interior del sistema solar.

La Tierra recoge cada día miles de millones de partículas de polvo (“micrometeoroides”). Los científicos espaciales se interesan por ellas por diversas razones; una de ellas es que los micrometeoroides de mayor tamaño podrían suponer un peligro para los futuros astronautas y colonizadores de la Luna.

Cuando me sumerjo en los misterios y maravillas que encierra el universo, no puedo dejar de sorprenderme por sus complejas y bellas formaciones, la inmensidad, la diversidad, las fuerzas que están presentes, los objetos que lo pueblan, etc.

Pensemos por ejemplo que un átomo tiene aproximadamente 10^{-8} centímetros de diámetro. En los sólidos y líquidos ordinarios los átomos están muy juntos, casi en contacto mutuo. La densidad de los sólidos y líquidos ordinarios depende por tanto del tamaño exacto de los átomos, del grado de empaquetamiento y del peso de los distintos átomos.

De los sólidos ordinarios, el menos denso es el hidrógeno solidificado, con una densidad de 0'076 gramos por cm^3 . El más denso es un metal raro, el osmio, con una densidad de 22'48 gramos/ cm^3 .

Si los átomos fuesen bolas macizas e incompresibles, el osmio sería el material más denso posible, y un centímetro cúbico de materia jamás podría pesar ni un kilogramo, y mucho menos toneladas.

Pero los átomos no son macizos. El físico neozelandés experimentador por excelencia, Ernest Ruthertord, demostró en 1.909 que los átomos eran en su mayor parte espacio vacío. La corteza exterior de los átomos contiene sólo electrones ligerísimos, mientras que el 99'9% de la masa del átomo está concentrada en una estructura diminuta situada en el centro: el núcleo atómico.

El núcleo atómico tiene un diámetro de unos 10^{-15} cm (aproximadamente 1/100.000 del propio átomo). Si los átomos de una esfera de materia se pudieran estrujar hasta el punto de desplazar todos los electrones y dejar a

los núcleos atómicos en contacto mutuo, el diámetro de la esfera disminuiría hasta un nivel de 1/100.000 de su tamaño original.

De manera análoga, si se pudiera comprimir la Tierra hasta dejarla reducida a un balón de núcleos atómicos, toda su materia quedaría reducida a una esfera de unos 130 metros de diámetro. En esas mismas condiciones, el Sol mediría 13'7 km de diámetro en lugar de los 1.392.530 km que realmente mide. Y si pudiéramos convertir toda la materia conocida del universo en núcleos atómicos en contacto, obtendríamos una esfera de sólo algunos cientos de miles de km de diámetro, que cabría cómodamente dentro del cinturón de asteroides del Sistema Solar.

El calor y la presión que reinan en el centro de las estrellas rompen la estructura atómica y permiten que los núcleos atómicos empiecen a empaquetarse unos junto a otros. Las densidades en el centro del Sol son mucho más altas que la del osmio, pero como los núcleos atómicos se mueven de un lado a otros sin impedimento alguno, el material sigue siendo un gas. Hay estrellas que se componen casi por entero de tales átomos destrozados. La compañera de la estrella Sirio es una “enana blanca” no mayor que el planeta Urano, y sin embargo tiene una masa parecida a la del Sol.

Los núcleos atómicos se componen de protones y neutrones. Ya hemos dicho antes que todos los protones tienen carga eléctrica positiva y se repelen entre sí, de modo que en un lugar dado no se pueden reunir más de un centenar de ellos. Los neutrones, por el contrario, no tienen carga eléctrica y en condiciones adecuadas pueden estar juntos y empaquetados un enorme número de ellos para formar una “estrella de neutrones”. Los púlsares, según se cree, son estrellas de neutrones en rápida rotación.

Estas estrellas se forman cuando las estrellas de 2 - 3 masas solares, agotado el combustible nuclear, no pueden continuar fusionando el hidrógeno en helio, el helio en oxígeno, el oxígeno en carbono, etc, y explotan en supernovas. Las capas exteriores se volatilizan y son expulsados al espacio; el resto de la estrella (su mayor parte), al quedar a merced de la fuerza gravitatoria, es literalmente aplastada bajo su propio peso hasta tal punto que los electrones se funden con los protones y se forman neutrones que se com-

primen de manera increíble hasta que se degeneran y emiten una fuerza que contrarresta la gravedad, quedándose estabilizada como estrella de neutrones.

Si el Sol se convirtiera en una estrella de neutrones, toda su masa quedaría concentrada en una pelota cuyo diámetro sería de 1/100.000 del actual, y su volumen $(1/100.000)^3$, o lo que es lo mismo $1/1.000.000.000.000.000$ (una milmillonésima) del actual. Su densidad sería, por tanto, $1.000.000.000.000.000$ (mil billones) de veces superior a la que tiene ahora.

La densidad global del Sol hoy día es de $1'4$ gramos/cm³. Una estrella de neutrones a partir del Sol tendría una densidad que se reflejaría mediante $1.400.000.000.000.000$ gramos por cm³. Es decir, un centímetro cúbico de una estrella de neutrones puede llegar a pesar $1.400.000.000$ (mil cuatrocientos millones de toneladas). ¡Qué barbaridad!

Objetos como estos pueblan el universo, e incluso más sorprendentes todavía, como es el caso de los agujeros negros explicado en páginas anteriores de este mismo trabajo.

Cuando hablamos de las cosas del universo estamos hablando de cosas muy grandes. Cualquiera se podría preguntar, por ejemplo: ¿hasta cuándo podrá mantener el Sol la vida en la Tierra?

Está claro que podrá hacerlo mientras radie energía y nos envíe luz y calor que la haga posible tal como la conocemos.

Como ya explicamos antes, la radiación del Sol proviene de la fusión del hidrógeno en helio. Para producir la radiación vertida por el sol se necesita una cantidad ingente de fusión: cada segundo tienen que fusionarse $654.600.000$ toneladas de hidrógeno en $650.000.000$ toneladas de helio (las $4.600.000$ toneladas restantes se convierten en energía de radiación y las pierde el Sol para siempre. La ínfima porción de esta energía que incide sobre la Tierra basta para mantener toda la vida en nuestro planeta).

Nadie diría que con este consumo tan alto de hidrógeno por segundo, el Sol pudiera durar mucho tiempo, pero es que ese cálculo no tiene en cuenta el enorme tamaño del Sol. Su masa totaliza 2.200.000.000.000.000.000 (más de dos mil cuatrillones) de toneladas. Un 53% de esta masa es hidrógeno, lo cual significa que el Sol contiene en la actualidad una cantidad de 1.166.000.000.000.000.000.000 toneladas.

Para completar datos diré que el resto de la masa del Sol es casi todo helio. Menos del 0'1 por 100 de su masa está constituido por átomos más complicados que el helio. El helio es más compacto que el hidrógeno. En condiciones idénticas, un número dado de átomos de helio tiene una masa cuatro veces mayor el mismo número de átomos de hidrógeno. O dicho de otra manera: una masa dada de helio ocupa menos espacio que la misma masa de hidrógeno. En función del volumen – el espacio ocupado –, el Sol es hidrógeno en un 80 por ciento.

Si suponemos que el Sol fue en origen todo hidrógeno, que siempre ha convertido hidrógeno en helio al ritmo dicho de 654 millones de toneladas por segundo y que lo seguirá haciendo hasta el final, se calcula que ha estado radiando desde hace unos 4.000 millones de años y que seguirá haciéndolo durante otros cinco mil millones de años más.

Pero las cosas no son tan simples. El Sol es una estrella de segunda generación, constituida a partir de gas y polvo cósmico desperdigado por estrellas que se habían quemado y explotado miles de millones de años atrás. Así pues, la materia prima del Sol contenía ya mucho helio desde el principio, lo que nos lleva a pensar que el final puede estar algo más cercano.

Por otra parte, el Sol no continuará radiando exactamente al mismo ritmo que ahora. El hidrógeno y el helio no están perfectamente entremezclados. El helio está concentrado en el núcleo central y la reacción de fusión se produce en la superficie del núcleo.

A medida que el Sol siga radiando, irá adquiriendo una masa cada vez mayor ese núcleo de helio y la temperatura en el centro aumentará. En últi-

ma instancia, la temperatura sube lo suficiente como para transformar los átomos de helio en átomos más complicados. Hasta entonces el Sol radiará más o menos como ahora, pero una vez que comience la fusión del helio, empezará a expandirse y a convertirse poco a poco en una gigante roja. El calor se hará insopportable en la Tierra, los océanos se evaporarán y el planeta dejará de albergar vida en la forma que la conocemos.

La esfera del Sol, antes de explotar para convertirse en una enana blanca, aumentará engullendo a Mercurio y a Venus y quedará cerca del planeta Tierra, que para entonces será un planeta yermo.

Los astrónomos estiman que el Sol entrará en esta nueva fase en unos 5 ó 6 mil millones de años. Así que el tiempo que nos queda por delante es como para no alarmarse todavía. Sin embargo, el no pensar en ello... no parece conveniente.

Espero que al lector de este trabajo, encargado por la Asociación Cultural “Amigos de la Física 137, e/hc”, les esté entreteniendo y sobre todo interesando los temas que aquí hemos tratado, siempre con las miras puestas en difundir el conocimiento científico de temas de la naturaleza como la astronomía y la física. Tratamos de elegir temas de interés y aquellos que han llamado la atención del público en general, explicándolos y respondiendo a preguntas que seguramente les gustaría conocer, tales como: ¿por qué la Luna muestra siempre la misma cara hacia la Tierra?

La atracción gravitatoria de la Luna sobre la Tierra hace subir el nivel de los océanos a ambos lados de nuestro planeta y crea así dos abultamientos. A medida que la Tierra gira de oeste a este, estos dos bultos – de los cuales uno mira hacia la Luna y el otro en dirección contraria – se desplazan de este a oeste alrededor de la Tierra.

Al efectuar este desplazamiento, los dos bultos rozan contra el fondo de los mares poco profundos, como el de Bering o el de Irlanda. Tal rozamiento convierte energía de rotación en calor, y este consumo de la energía de rotación terrestre hace que el movimiento de rotación de la Tierra alrededor

de su eje vaya disminuyendo poco a poco. Las mareas actúan como freno sobre la rotación de la Tierra, y como consecuencia de ello, los días terrestres se van alargando un segundo cada mil años.

Pero no es sólo el agua del océano lo que sube de nivel en respuesta a la gravedad lunar. La corteza sólida de la Tierra también acusa el efecto, aunque en medida menos notable. El resultado son dos pequeños abultamientos rocosos que van girando alrededor de la Tierra, el uno mirando hacia la Luna y el otro en la cara opuesta de nuestro planeta. Durante ese desplazamiento, el rozamiento de una capa rocosa contra otra va minando también la energía de rotación terrestre. (Los bultos, claro está, no se mueven físicamente alrededor del planeta, sino que a medida que el planeta gira, remiten en un lugar y se forman en otro, según qué porciones de la superficie pasen por debajo de la Luna y sean atraídas por su fuerza de gravedad).

La Luna no tiene mares ni mareas en el sentido corriente. Sin embargo, la corteza sólida de la luna acusa la fuerte atracción gravitacional de la Tierra, y no hay que olvidar que ésta es 80 veces más grande que la Luna. El abultamiento provocado en la superficie lunar es mucho mayor que el de la superficie terrestre. Por tanto, si la Luna rotase en un periodo de 24 horas, estaría sometida a un rozamiento muchísimo mayor que la Tierra. Además, como nuestro satélite tiene una masa mucho menor que la Tierra, su energía total de rotación sería, ya de entrada, para períodos de rotación iguales, mucho menor.

Así pues, la Luna, con una reserva inicial de energía muy pequeña, socavada rápidamente por los grandes bultos provocados por la Tierra, tuvo que sufrir una disminución relativamente rápida de su periodo de rotación. Hace seguramente muchos millones de años debió de decelerarse hasta el punto de que el día lunar se igualó con el mes lunar. De ahí en adelante, la Luna siempre mostraría la misma cara hacia el planeta Tierra.

Esto, a su vez, congela los abultamientos en un aposición fija. Unos de ellos miran hacia la Tierra desde el centro mismo de la cara lunar que nosotros vemos, mientras que el otro está apuntando en dirección contraria desde el centro mismo de la cara lunar que no podemos ver. Puesto que las dos ca-

ras no cambian de posición a medida que la Luna gira alrededor de la Tierra, los bultos no experimentan ningún nuevo cambio ni tampoco se produce rozamiento alguno que altere el periodo de rotación del satélite. La luna continuará mostrándonos la misma cara indefinidamente; lo cual, como veis, no es ninguna coincidencia, sino la consecuencia inevitable de la gravitación y del rozamiento.

La Luna es un caso relativamente simple. En ciertas condiciones, el rozamiento debido a las mareas puede dar lugar a condiciones de estabilidad más complicadas.

Durante unos ochenta años, por ejemplo, se pensó que Mercurio (el planeta más cercan al Sol y el más afectado por la fuerza gravitatoria solar) ofrecía siempre la misma cara al Sol, por el mismo motivo que la Luna ofrece siempre la misma cara a la Tierra. Pero se ha comprobado que, en el caso de este planeta, los efectos del rozamiento producen un periodo estable de rotación de 58 días, que es justamente dos tercios de los 88 días que constituyen el período de revolución de Mercurio alrededor del Sol.

Hay tantas cosas que aprender que el corto tiempo que se nos permite estar aquí es totalmente insuficiente para conocer todo lo que nos gustaría. ¿Hay algo más penoso que la ignorancia?

Continuemos pues aprendiendo cosas nuevas.

En la página 283 dejé una reseña de lo que se entiende por *entropía* y así sabemos que la energía sólo puede ser convertida en trabajo cuando dentro del sistema concreto que se esté utilizando, la concentración de energía no es uniforme. La energía tiende entonces a fluir desde el punto de mayor concentración al de menor concentración, hasta establecer la uniformidad. La obtención de trabajo a partir de energía consiste precisamente en aprovechar este flujo.

El agua de un río está más alta y tiene más energía gravitatoria en el manantial del que mana en lo alto de la montaña y menos energía en el llano

en la desembocadura, donde fluye suave y tranquila. Por eso fluye el agua río abajo hasta el mar (si no fuese por la lluvia, todas las aguas continentales fluirían montaña abajo hasta el mar y el nivel del océano subiría ligeramente. La energía gravitatoria total permanecería igual, pero estaría distribuida con mayor uniformidad).

Una rueda hidráulica gira gracias al agua que corre ladera abajo: ese agua puede realizar un trabajo. El agua sobre una superficie horizontal no puede realizar trabajo, aunque esté sobre una meseta muy alta y posea una energía gravitatoria excepcional. El factor crucial es la diferencia en la concentración de energía y el flujo hacia la uniformidad.

Y lo mismo reza para cualquier clase de energía. En las máquinas de vapor hay un depósito de calor que convierte el agua en vapor, y otro depósito frío que vuelve a condensar el vapor en agua. El factor decisivo es esta diferencia de temperatura. Trabajando a un mismo y único nivel de temperatura no se puede extraer ningún trabajo, por muy alta que sea aquella.

El término “entropía” lo introdujo el físico alemán Rudolf J. E. Clausius en 1.849 para representar el grado de uniformidad con que está distribuida la energía, sea de la clase que sea. Cuanto más uniforme, mayor la entropía. Cuando la energía está distribuida de manera perfectamente uniforme, la entropía es máxima para el sistema en cuestión.

Clausius observó que cualquier diferencia de energía dentro de un sistema tiende siempre a igualarse por sí sola. Si colocamos un objeto caliente junto a otro frío, el calor fluye de manera que se transmite del caliente al frío hasta que se igualan las temperaturas de ambos cuerpos. Si tenemos dos depósitos de agua comunicados entre sí y el nivel de uno de ellos es más alto que el otro, la atracción gravitatoria hará que el primero baje y el segundo suba, hasta que ambos niveles se igualen y la energía gravitatoria quede distribuida uniformemente.

Clausius afirmó, por tanto, que en la naturaleza era regla general que las diferencias en las concentraciones de energía tendían a igualarse. O dicho de otra manera: **que la entropía aumenta con el tiempo**.

El estudio del flujo de energía desde puntos de alta concentración a otros de baja concentración se llevó a cabo de modo especialmente complejo en relación con la energía térmica. Por eso, el estudio del flujo de energía y de los intercambios de energía y trabajo recibió el nombre de “*termodinámica*”, que en griego significa “movimiento de calor”.

Con anterioridad se había llegado ya a la conclusión de que **la energía no podía ser destruida ni creada**. Esta regla es tan fundamental que se la denomina “primer principio de la termodinámica”.

La idea sugerida por Clausius de que **la entropía aumenta con el tiempo** es una regla general no menos básica, y que denomina “segundo principio de la termodinámica.”

Según este segundo principio, la entropía aumenta constantemente, lo cual significa que las diferencias en la concentración de energía también van desapareciendo. Cuando todas las diferencias en la concentración de energía se han igualado por completo, no se puede extraer más trabajo, ni pueden producirse cambios.

¿Está degradándose el universo?

Pensemos en un reloj. Los relojes funcionan gracias a una concentración de energía en su resorte o en su batería. A medida que el resorte se des tensa o la reacción química de la batería avanza, se establece un flujo de energía desde el punto de alta concentración al de baja concentración, y como resultado de este flujo anda el reloj. Cuando el resorte se ha destensado por completo o la batería ha finalizado su reacción química, el nivel de energía es uniforme en todo el reloj, no hay ya flujo de energía y la maquinaria se para. Podríamos decir que el reloj se ha “degradado”. Por analogía,

decimos que el universo se “degradará” cuando toda la energía se haya igualado.

Si es cierto el segundo principio de la termodinámica, todas las concentraciones de energía en todos los lugares del universo se están igualando, y en ese sentido el universo se está degradando. La entropía alcanzará un máximo cuando la energía del universo esté perfectamente igualada; a partir de entonces no ocurrirá nada porque, aunque la energía seguirá allí, no habrá ya ningún flujo que haga que las cosas ocurran.

La situación parece deprimente (si el segundo principio es cierto), pero no es para alarmarse ahora, ya que el proceso tardará billones de años en llegar a su final y el universo, tal como hoy existe, no sólo sobrevivirá a nuestro tiempo, sino que con toda probabilidad también a la humanidad misma.

De todo esto podemos obtener una consecuencia clara y precisa; de acuerdo con el segundo principio de la termodinámica, la entropía del universo está en constante aumento, es decir, la energía que contiene tiende a igualarse en todas partes. Así que, como cualquier proceso que iguala las concentraciones de energía está aumentando el desorden en el sistema, nuestro universo cada vez tiene un mayor desorden con los movimientos aleatorios libres de las partículas que lo componen, cuyo comportamiento no es más que una especie de medida del desorden que en el universo se produce de manera continuada.

La entropía está presente en la vida cotidiana: objetos que se descolocan, cosas que se desordenan, vestidos que se ensucian, un vaso que se cae y se rompe, los muebles que se llenan de polvo, el suelo que recoge las marcas de los pies que lo pisan, todo eso es entropía y, para arreglarla, tenemos que disponer bien las cosas, recoger los objetos caídos, lavar la ropa y limpiar el suelo o quitar el polvo, con lo cual, la entropía continúa estando presente en el esfuerzo que todo ello conlleva y deteriora la lavadora, la aspiradora y nos causa a nosotros por el esfuerzo realizado (deterioro-entropía).

La entropía está ineludiblemente unida al tiempo, ambos caminan juntos. En procesos elementales en los que intervienen pocos objetos es imposible saber si el tiempo marcha hacia delante o hacia atrás. Las leyes de la naturaleza se cumplen igual en ambos casos. Y lo mismo ocurre con las partículas subatómicas.

Un electrón curvándose en determinada dirección con el tiempo marchando hacia delante podría ser igualmente un positrón curvándose en la misma dirección, pero con el tiempo marchando hacia atrás. Si sólo consideramos esa partícula, es imposible determinar cuál de las dos posibilidades es la correcta.

En aquellos procesos elementales en que no se puede decir en qué dirección marcha el tiempo, no hay cambio de entropía (o es tan pequeña la variación que podríamos ignorarla). Pero en los procesos corrientes, en las que intervienen muchas partículas, la entropía siempre aumenta. Que es lo mismo que decir que el desorden siempre aumenta.

Un saltador de trampolín cae en la piscina y el agua salpica hacia arriba; cae un jarrón al suelo y se hace añicos; las hojas caen de los árboles y se desparraman por el suelo.

Se puede demostrar que todas estas cosas, y en general, todo cuanto ocurre normalmente en derredor nuestro, lleva consigo un aumento de entropía. Estamos acostumbrados a ver que la entropía aumenta y aceptamos ese momento como señal de que todo se desarrolla normalmente y de que nos movemos hacia delante en el tiempo. Si de pronto viésemos que la entropía disminuye, la única manera de explicarlo sería suponer que nos estamos moviendo hacia atrás en el tiempo: las salpicaduras de agua se juntan y el saltador saliendo del agua asciende al trampolín, los trozos del jarrón se juntan y ascienden hasta colocarse encima del mueble y las hojas desperdigadas por el suelo suben hacia el árbol y se vuelven a pegar en las ramas. Todas estas cosas muestran una disminución de la entropía, y sabemos que esto está tan fuera del orden de las cosas que la película no tiene más remedio que estar marchando al revés.

En efecto, las cosas toman un giro extraño cuando el tiempo se invierte, que el verlo nos hace reír.

Por eso la entropía se denomina a veces “la flecha del Tiempo”, porque su constante aumento marca lo que nosotros consideramos el “avance del tiempo”.

Todo esto me lleva a pensar que, si finalmente el universo en el que estamos es un universo con la densidad crítica necesaria para el universo curvo y cerrado que finaliza en un Big Crunch, en el que las galaxias se frenaran hasta parar por completo y comenzaran de nuevo a desandar el camino hacia atrás, ¿no es eso volver atrás en la flecha del tiempo y reparar la entropía?

Como la posibilidad del Big Crunch es bastante grande, no estaría de más estudiar los efectos que se producirían. ¿Se formarán estrellas que explotaron en supernovas? ¿Veríamos resurgir cosas que el tiempo y la entropía hicieron desaparecer?

Según esta teoría podría ser posible que cosas extrañas llegaran a ocurrir si el proceso del universo, siempre en expansión, caminando hacia delante en el tiempo, de pronto se invirtiera y comenzaría una andadura hacia atrás, al pasado, caminando al revés al invertirse la flecha del Tiempo.

Cambiemos de tema.

¿Por qué la materia no puede moverse más deprisa que la velocidad de la luz?

Para contestar esta pregunta hay que advertir al lector que la energía suministrada a un cuerpo puede influir sobre él de distintas maneras. Si un martillo golpea a un clavo en medio del aire, el clavo sale despedido y gana energía cinética o, dicho de otra manera, energía de movimiento. Si el martillo golpea sobre un clavo, cuya punta está apoyada en una madera dura e in-

capaz de moverse, el clavo seguirá ganando energía, pero esta vez en forma de calor por rozamiento al ser introducido a la fuerza dentro de la madera.

Albert Einstein demostró en su teoría de la relatividad especial que la masa cabía contemplarla como una forma de energía ($E = mc^2$, la bomba atómica lo confirmó). Al añadir energía a un cuerpo, esa energía puede aparecer en la forma de masa o bien en otra serie de formas.

En condiciones ordinarias, la ganancia de energía en forma de masa es tan increíblemente pequeña que sería imposible medirla. Fue en el siglo XX (al observar partículas subatómicas que, en los grandes aceleradores de partículas, se movían a velocidades de decenas de miles de kilómetros por segundo) cuando se empezaron a encontrar aumentos de masa que eran suficientemente grandes para poder detectarlos. Un cuerpo que se moviera a unos 260.000 Km por segundo respecto a nosotros mostraría una masa dos veces mayor que cuando estaba en reposo (siempre respecto a nosotros).

La energía que se comunica a un cuerpo libre puede integrarse en él de dos maneras distintas:

1. En forma de velocidad, con lo cual aumenta la rapidez del movimiento.
2. En forma de masa, con lo cual se hace “más pesado”.

La división entre estas dos formas de ganancia de energía, tal como la medimos nosotros, depende en primer lugar de la velocidad del cuerpo (medida, una vez más, por nosotros).

Si el cuerpo se mueve a velocidades normales, prácticamente toda la energía se incorpora a él en forma de velocidad: se moverá más aprisa sin cambiar su masa.

A medida que aumenta la velocidad del cuerpo (suponiendo que se le suministra energía de manera constante) es cada vez menor la energía que se

convierte en velocidad y más la que se transforma en masa. Observamos que, aunque el cuerpo siga moviéndose cada vez más rápido, el ritmo de aumento de velocidad decrece. Como contrapartida, notamos que gana más masa a un ritmo ligeramente mayor.

Al aumentar aún más la velocidad y acercarse a los $299.792'458$ Km/s, que es la velocidad de la luz en el vacío, casi toda la energía añadida entra en forma de masa. Es decir, la velocidad del cuerpo aumenta muy lentamente, pero la masa es la que sube a pasos agigantados. En el momento en que se alcanza la velocidad de la luz, toda la energía añadida se traduce en masa.

El cuerpo no puede sobreponer la velocidad de la luz porque para conseguirlo hay que comunicarle energía adicional, y a la velocidad de la luz toda esa energía, por mucha que sea, se convertirá en nueva masa, con lo cual la velocidad no aumentaría ni un ápice.

Todo esto no es pura teoría, sino que tal como ha sido comprobado, es la realidad de los hechos.

La velocidad de la luz es la velocidad límite en el universo. Cualquier cosa que intente sobreponerla adquiriría una masa infinita.

La velocidad de la luz, por tanto, es un límite en nuestro universo; no se puede superar. Siendo esto así, el hombre tiene planteado un gran reto, no será posible el viaje a las estrellas si no buscamos la manera de esquivar este límite de la naturaleza, ya que las distancias que nos separan de otros sistemas solares son tan enormes que, viajando a velocidades por debajo de la velocidad de la luz, sería casi imposible alcanzar el destino deseado.

Los científicos, físicos experimentales, tanto en el CERN como en el FERMILAB, aceleradores de partículas donde se estudian y los componentes de la materia haciendo que haces de protones o de muones, por ejemplo, a velocidades cercanas a la de la luz choquen entre sí para que se desintegren y dejen al descubierto sus contenidos de partículas aún más elementales. Pues bien, a estas velocidades relativistas cercanas a c (la velocidad de

la luz), las partículas aumentan sus masas; sin embargo, nunca han logrado sobrepasar el límite de c , la velocidad máxima permitida en nuestro universo.

Es preciso ampliar un poco más las explicaciones anteriores que no dejan sentadas todas las cuestiones que el asunto plantea, y quedan algunas dudas que incitan a formular nuevas preguntas, como por ejemplo: ¿por qué se convierte la energía en masa y no en velocidad?, o ¿por qué se propaga la luz a 299.793 Km/s y no a otra velocidad?

La única respuesta que podemos dar hoy es que así, es el universo que nos acoge y las leyes naturales que lo rigen, donde estamos sometidos a unas fuerzas y unas constantes universales de las que la velocidad de la luz en el vacío es una muestra.

A velocidades grandes cercanas a la de la luz (velocidades relativistas) no sólo aumenta la masa del objeto que viaja, sino que disminuye también su longitud en la misma dirección del movimiento (contracción de Lorentz) y en dicho objeto y sus ocupantes – si es una nave – se retrasa al paso del tiempo, o dicho de otra manera, el tiempo allí transcurre más despacio.

A menudo se oye decir que las partículas no pueden moverse “más deprisa que la luz” y que la “velocidad de la luz” es el límite último de velocidad.

Pero decir esto es decir las cosas a medias, porque la luz viaja a velocidades diferentes dependiendo del medio en el que se mueve. Donde más deprisa se mueve la luz es en el vacío: allí lo hace a 299.792'458 Km/s. Este sí es el límite último de velocidades que podemos encontrar en nuestro universo.

Tenemos el ejemplo del fotón, la partícula mediadora de la fuerza electromagnética, un bosón sin masa que recorre el espacio a esa velocidad antes citada.

Einstein en su teoría de la relatividad especial de 1.905, nos decía que en nuestro universo nada puede ir más rápido que la luz. También nos dejó dicho que masa y energía son dos aspectos de una misma cosa. Que la materia se puede convertir en energía (ahí está la bomba atómica como demostración) pero, ¿es posible hacer lo contrario y convertir energía en materia?

Sí sería posible convertir energía en materia, pero hacerlo en grandes cantidades resulta poco práctico. Veamos por qué.

Según la teoría de Einstein, tenemos que $e = mc^2$, donde e representa la energía, medida en ergios, m representa la masa, medida en gramos, y c es la velocidad de la luz en centímetros por segundo.

La luz se propaga en el vacío a una velocidad aproximada a los 30.000 millones (3×10^{10}) de centímetros por segundo. La cantidad c^2 representa el producto $c \times c$, es decir:

$$3 \times 10^{10} \times 3 \times 10^{10}, \text{ ó } 9 \times 10^{20}.$$

Por tanto, c^2 es igual a 900.000.000.000.000.000.000.

Así pues, una masa de un gramo puede convertirse, en teoría, en 9×10^{20} ergios de energía.

El ergio es una unidad muy pequeña de energía que equivale a: “Unidad de trabajo o energía utilizado en el sistema c.g.s. y actúa definida como trabajo realizado por una fuerza de 1 dina cuando actúa a lo largo de una distancia de 1 cm: 1 ergio = 10^{-7} julios”. La kilocaloría, de nombre quizás mucho más conocido, es igual a unos 42.000 millones de ergios. Un gramo de materia convertido en energía daría 2.2×10^{10} (22 millones) de kilocalorías. Una persona puede sobrevivir cómodamente con 2.500 kilocalorías al día, obtenidas de los alimentos ingeridos. Con la energía que representa un solo gramo de materia tendríamos reservas para unos 24.110 años, que no es poco para la vida de un hombre.

O digámoslo de otro modo: si fuese posible convertir en energía eléctrica la energía representada por un solo gramo de materia, bastaría para tener luciendo continuamente una bombilla de 100 vatios durante unos 28.200 años.

O bien: la energía que representa un solo gramo de materia equivale a la que se obtendría de quemar unos 32 millones de litros de gasolina.

Nada tiene de extraño, por tanto, que las bombas nucleares, donde se convierten en energías cantidades apreciables de materia, desaten tanta destrucción.

La conversión opera en ambos sentidos. La materia se puede convertir en energía y la energía en materia. Esto último puede hacerse en cualquier momento en el laboratorio, donde continuamente convierten partículas energéticas (como fotones de rayos gamma) en 1 electrón y 1 positrón sin ninguna dificultad. Con ello se invierte el proceso, convirtiéndose la energía en materia.

Pero estamos hablando de una transformación de ínfimas cantidades de masa casi despreciable. ¿Pero podremos utilizar el mismo principio para conseguir cantidades mayores de materia a partir de energía?

Bueno, si un gramo de materia puede convertirse en una cantidad de energía igual a la que produce la combustión de 32 millones de litros de gasolina, entonces hará falta toda esa energía para fabricar un solo gramo de materia, lo que nos lleva al convencimiento de que no sería muy rentable invertir el proceso.

Recuerdo en este punto cómo los viajeros espaciales de la Nave Enterprise, cuando tienen hambre, le piden a una dispensadora de alimentos lo que desean comer o beber, y la máquina, a partir de la energía, le facilita todo aquello que necesiten. La serie Star Trek, unas de las mejores que han sido realizadas, reflejan algunas licencias que como esta de la máquina dis-

pensadora, no explican de dónde precede la fuente de energía que utilizan y, que según lo que se ve, tendría que ser inagotable.

Antes de que llegara Einstein, los físicos del siglo XIX creían que la materia y la energía eran dos cosas completamente diferentes. Materia es todo aquello que ocupaba un espacio y que poseía masa. Y al tener masa también tenía inercia y respondía al campo gravitatorio. La energía en cambio, no ocupaba espacio ni tenía masa, pero podía efectuar trabajo. Además, se pensaba que la materia consistía en partículas (átomos), mientras que la energía, se componía de ondas.

Por otra parte, esos mismos físicos del XIX creían que ni la materia ni la energía, cada una por su parte, podía ser creada ni destruida. La cantidad de materia del universo era constante, igual que la cantidad total de energía. Había pues una ley de conservación de la energía y de conservación de la materia.

Albert Einstein, en 1.905, les demostró que la masa es una forma muy concentrada de energía. La masa podía convertirse en energía y viceversa. Lo único que había que tener en cuenta era la ley de conservación de la energía. En ella iba incluida la materia.

Hacia los años veinte se vio además que no se podía hablar de partículas y ondas como si fuesen dos cosas diferentes. Lo que se consideraban partículas actuaban en ciertos aspectos como si de ondas se tratara, y lo que normalmente se consideraban ondas actuaban en ciertos aspectos como partículas.

Así podemos hablar de ondas del electrón, por ejemplo; y también de partículas de luz, o fotones. Pero existe una diferencia entre la una y el otro, mientras que la partícula que denominamos electrón, posee una “masa en reposo” mayor a cero, los fotones por el contrario, no tienen masa alguna, por ese motivo, estas partículas se mueven siempre a una velocidad de 299.792'458 metros por segundo a través del vacío, no debemos olvidar que un fotón es una partícula de luz.

La luz está compuesta por fotones y precisamente ya se ha dicho que es la luz la que tiene el record de velocidad del universo al correr a unos 300.000 Km/s, exactamente 299.792'458 Km/s.

¿Y los neutrinos?

Los neutrinos se forman en ciertas reacciones nucleares y ningún físico atómico ha sido hasta ahora capaz de medir su masa. Es probable que los neutrinos, como los fotones, tengan una masa en reposo nula, aunque en realidad el neutrino nunca podrá estar en reposo y, como el fotón, siempre se está moviendo a 299.792'458 Km/s y adquieren esa velocidad desde el instante en que se forma.

Pero los neutrinos no son fotones, porque ambos tienen propiedades muy distintas. Los fotones interaccionan fácilmente con las partículas de materia y son retardados y absorbidos al pasar por la materia. Los neutrinos, por el contrario, apenas interaccionan con las partículas de materia y pueden atravesar un espesor de años luz de plomo sin verse afectados.

Parece claro, por tanto, que si los neutrinos tienen una masa en reposo nula, no son materia. Por otro lado, hace falta energía para formarlos, y al alejarse se llevan algo de ella consigo, de modo que son una forma de energía.

Sin embargo, atraviesan cualquier espesor de materia sin interaccionar apenas, de modo que prácticamente no efectúan trabajo. Lo cual les distingue de cualquier otra forma de energía. En su momento se habló de que los neutrinos podían ser la energía oscura que tanto fascina a todos los físicos, astrofísicos y astrónomos, sin embargo, al no haber detectado la masa de los neutrinos, se desechó la idea.

El neutrino es de la familia de los leptones y existe en tres formas. Una asociada al electrón y se conoce como neutrino electrónico (V_e), otra al muón y es el neutrino muónico (V_μ) y por último el que está asociado con la

partícula tau, que es el neutrino tauónico (ν_t). Cada forma tiene su propia antipartícula.

El neutrino fue postulado en 1.931 para explicar la energía “perdida” en la desintegración beta. Fue identificado de forma tentativa en 1.953, y definitivamente en 1.956, dando la razón a Wolfgang Pauli que presintió su existencia.

Los neutrinos no tienen carga y como dijimos antes, tampoco tienen masa; son pura energía que viaja siempre por el espacio a la velocidad de la luz. En algunas teorías de gran unificación se predice que los neutrinos tienen masa no nula, pero no hay evidencia concluyente para eso.

Cuando Pauli propuso su existencia para justificar la energía perdida en la desintegración beta, Enrico Fermi lo bautizó con el nombre de neutrino. La ley de conservación de la energía prohíbe que ésta se pierda, y en la desintegración beta, que es un tipo de interacción débil en la que un núcleo atómico inestable se transforma en un núcleo de la misma masa atómica pero de distinto número atómico, hace que en el proceso un neutrón se convierta en un protón con la emisión de un electrón, o de un protón en un neutrón con la emisión de un positrón. Pero la cuenta no salía, allí faltaba algo, no se completaba en la transformación la energía original, así que Pauli añadió en la primera un antineutrino electrónico y la segunda la completó con un neutrino electrónico, de la manera siguiente:



Un ejemplo de esto es la desintegración del carbono-14.

Así fue como se dio a conocer al mundo la existencia de neutrinos.

El mencionar la desintegración me ha traído a la memoria otros materiales que también se desintegran de manera natural y que son materiales fértiles, o que sin serlo, se pueden transformar en otros que sí lo son.

Al hablar de material fértil me estoy refiriendo a núclidos que pueden absorber neutrones para formar material fisible. El uranio-238, por ejemplo, absorbe un neutrón para formar uranio-239, que se desintegra en plutonio-239. Este es el tipo de conversión que la imaginación del hombre hace que ocurra en un reactor reproductor.

Lo explicaré con más detalles:

El uranio-235 es un combustible práctico, es decir, los neutrones lentos son capaces de hacer que el uranio-235 se fisione, o lo que es lo mismo, se rompan sus átomos en dos, produciendo neutrones lentos, que a su vez inducen otras fisiones atómicas. El uranio-233 y el plutonio-239 son también combustibles nucleares prácticos por las mismas razones.

Desgraciadamente, el uranio-233 y el plutonio-239 no existen en estado natural sino en trazas mínimas, y el uranio-235, aunque existe en cantidades apreciables, no deja de ser raro. En cualquier muestra de uranio natural, sólo siete de cada mil átomos son de uranio-235, el resto es uranio-238.

El uranio-238, la variedad común de uranio, no es un combustible nuclear práctico. Así que, el uranio que más abunda en la naturaleza no sirve como combustible nuclear. Podemos conseguir que se fisione, pero sólo con neutrones rápidos. Los átomos de uranio-238 que se rompen en dos, producen neutrones lentos, que no bastan para producir o inducir nuevas fisiones. El uranio-238 cabría compararlo a la madera húmeda: es posible hacer que arda, pero acabará por apagarse.

Supongamos, sin embargo, que se separa el uranio-235 del uranio-238 (trabajo más bien difícil) y que se utiliza aquel para hacer funcionar un reactor nuclear. Los átomos de uranio-235 que forman el combustible del reactor se fisionan y esparcen miríadas de neutrones lentos en todas direcciones. Si

el reactor está rodeado por una capa de uranio ordinario (que en su mayor parte es uranio-238), los neutrones que van a parar allí son absorbidos por el uranio-238 y, aunque no pueden hacer que el uranio-238 se fisione, sí pueden provocar otros cambios que finalmente, producirán plutonio-239. Separando este plutonio-239 del uranio (tarea muy fácil), puede ser utilizado como combustible nuclear práctico para la fisión.

De esta manera, el reactor nuclear genera nuevo combustible a partir de un material (uranio-238) que no lo es. Este es el motivo de que al reactor nuclear que hace posible la transformación se le llame “reactor generador”.

Un reactor generador bien diseñado puede producir más plutonio-239 que el uranio-234 consumido para ello. De este modo, las reservas totales de uranio de la Tierra (y no sólo las de uranio-235) se convierten en potenciales de combustible nuclear.

El torio, tal como se da en la naturaleza, consiste todo él en torio-232, que al igual que el uranio-238, no es un combustible nuclear práctico, porque requiere neutrones rápidos para fisionarse. Pero si se coloca torio-232 alrededor de un reactor nuclear, sus átomos absorberán los neutrones y, sin experimentar fisión alguna, se convertirán en átomos de uranio-233. Como el uranio-233 es un combustible práctico que se puede separar fácilmente del torio, el resultado es otra variedad del reactor generador, que convierte las reservas de torio en un combustible nuclear en potencia.

La cantidad total de uranio y de torio que hay en la Tierra es unas 800 veces mayor que las reservas de uranio-235, lo que significa que el buen uso de los reactores generadores podría multiplicar por 800 la oferta potencia de energía extraída de plantas de fisión nuclear.

En este punto, sin dejar de elogiar la inteligencia del hombre que ha sabido encontrar la manera de transformar una materia inservible en otra práctica, hay que decir que la energía de fisión nuclear genera también muchos problemas.

Como estará comprobando al lector de este trabajo, el autor ha querido esta vez diversificar los temas y plasmar una variedad múltiple que facilite el conocimiento de distintas cosas que ocurren en la naturaleza, o que la mano del hombre hace que ocurran, y todas estas cuestiones tratadas aquí van encaminadas a resolver preguntas que en alguna ocasión nos hemos podido hacer, tales como:

¿Por qué al calentar un metal se pone primero rojo, luego naranja, después amarillo, pero a continuación blanco en lugar de seguir el espectro y ponerse verde?

Cualquier objeto, a cualquier energía superior al cero absoluto, radia ondas electromagnéticas. Si su temperatura es muy baja, emite sólo ondas de radio largas, muy pobres en energías. Al aumentar la temperatura, radia una cantidad mayor de ondas, pero también empieza a radiar ondas de radio más cortas (y más energéticas). Si la temperatura sigue subiendo, empiezan a radiarse microondas aún más energéticas y después radiaciones infrarrojas.

Esto no quiere decir que a una temperatura dada sólo se emitan ondas de radio largas, un poco más arriba sólo ondas de radio cortas, luego sólo microondas y después sólo infrarrojos. En realidad, se emite toda la gama de radiaciones, pero siempre hay una radiación máxima, es decir, una gama de longitudes de onda que son las más radiadas, flanqueadas por cantidades menores en el lado de las energías bajas y por cantidades todavía más pequeñas en el de las altas.

Cuando un objeto alcanza la temperatura del cuerpo humano (37°C), el máximo de radiación se encuentra en los infrarrojos largos. El cuerpo humano también radia ondas de radio, pero las longitudes de ondas más cortas y más energéticas son siempre las más fáciles de detectar por ser los más potentes.

Cuando la temperatura alcanza aproximadamente los 600°C , el máximo de radiación se halla en el infrarrojo corto. Pero a estas alturas la pequeña cantidad de radiación que se halla en el lado de las energías altas adquie-

re una importancia especial, porque entra ya en la región de la luz visible roja. El objeto reluce entonces con un rojo intenso.

Este rojo constituye sólo un pequeño porcentaje de la radiación total, pero como da la casualidad de que nuestro ojo lo percibe, le otorgamos toda nuestra atención y decimos que el objeto está al “rojo vivo”.

Si la temperatura sigue subiendo, el máximo de radiación continúa desplazándose hacia las longitudes de ondas cortas y cada vez se emite más luz visible de longitudes cada vez menores. Aunque el objeto radia más luz roja, se van agregando poco a poco luz anaranjada y luz amarilla en cantidades menores pero significativas. Al llegar a los 1.000°C la mezcla de colores la percibimos como naranja, y a los 2.000°C como amarilla. Lo cual no significa que a los 1.000°C sólo se radie luz naranja y a los 2.000°C sólo se radie luz amarilla, porque si fuese así, habría efectivamente que esperar que lo siguiente fuese “color verde”. Lo que en realidad vemos son mezclas de colores.

Al llegar a los 6.000°C (la temperatura superficial del Sol), el máximo de radiación está en el amarillo visible y lo que llega a nuestros ojos son grandes cantidades de luz visible, desde el violeta hasta el rojo. La incidencia simultánea de toda la gama de luz visible sobre nuestra retina nos da la sensación de blanco, y de ahí el color del Sol.

Los objetos más calientes aún que el Sol radian todas las longitudes de ondas de luz visible y en cantidades todavía mayores, pero el máximo de radiación se desplaza al azul, de modo que la mezcla se desequilibra y el blanco adquiere un tinte azulado.

Toda esta travesía se produce para objetos calientes que emiten “espectros continuos”, es decir, que radian luz en la forma de una ancha banda de longitudes de ondas. Ciertas sustancias en condiciones adecuadas, radian sólo luz de determinadas longitudes de onda. El nitrato de bario radia luz verde cuando se calienta, y con ese fin se lo utiliza en los fuegos de artificio, “calor verde”, podríamos decir.

¡Qué bonito es saber!

En alguna ocasión todos hemos oído mencionar la palabra “gases nobles”, y sin embargo no siempre sabemos lo que son y el por qué le llaman así.

Los elementos que reaccionan difícilmente o que no reaccionan en absoluto con otros elementos se denominan “inertes”. El nitrógeno y el platino son ejemplos de elementos inertes.

En la última década del siglo pasado se descubrieron en la atmósfera una serie de gases que no parecían intervenir en ninguna reacción química. Estos nuevos gases (helio, neón, argón, kripton, xenón y radón) son más inertes que cualquier otro elemento y se agrupan bajo el nombre de *gases inertes*.

Los elementos inertes reciben a veces el calificativo de “nobles” porque esa resistencia a reaccionar con otros elementos recordaba un poco a la altanería de la aristocracia. El oro y el platino son ejemplos de “metales nobles”, y por la misma razón se llaman a veces “gases nobles” a los gases inertes. Hasta 1.962, el nombre más común era el de gases inertes, quizás porque lo de nobles parecía poco apropiados en sociedades democráticas.

La razón de que los gases inertes sean inertes es que el conjunto de electrones de cada uno de sus átomos está distribuido en capas especialmente estables. La más exterior, en concreto, tiene 8 electrones. Así la distribución electrónica del neón es (2,8) y la del argón (2,8,8). Como la adición o sustracción de electrones rompe esta distribución estable, no pueden producirse cambios electrónicos. Lo cual significa que no pueden producirse reacciones químicas y que estos elementos son inertes.

Ahora bien, el grado de inercia depende de la fuerza con que el núcleo, cargado positivamente y situado en el centro del átomo sujeta a los 8 electrones de la capa exterior. Cuantas más capas electrónicas haya entre la ex-

terior y el centro, más débil será la atracción del núcleo central sobre los electrones de esa última capa de electrones.

Quiere esto decir que el gas inerte más complejo es también el menos inerte. El gas inerte de estructura atómica más complicada es el radón. Sus átomos tienen una distribución electrónica de (2,8,18,32,18,8). El radón, sin embargo está sólo constituido por isótopos radiactivos y es un elemento con el que difícilmente se pueden hacer experimentos químicos. El siguiente en orden de complejidad es el xenón, que es estable. Sus átomos tienen una distribución electrónica de (2,8,18,18,8).

Los electrones más exteriores de los átomos de xenón y radón están bastante alejados del núcleo y, por consiguiente, muy sueltos. En presencia de átomos que tienen una gran apetencia de electrones, son cedidos rápidamente. El átomo con mayor apetencia de electrones es el flúor, y así fue como en 1.962 el químico canadiense Neil Bartlett consiguió formar compuestos de xenón y flúor.

Desde entonces se han conseguido formar también compuestos de radón y kriptón. Por eso los químicos rehúyen el nombre de *gases inertes*, porque a fin de cuentas, esos gases no son completamente inertes. Hoy día se ha impuesto la denominación de “gases nobles”, y existe toda una rama de la química que se ocupa de los “compuestos de gases nobles”.

Naturalmente, cuanto más pequeño es el átomo de un gas noble, más inerte es, y no se ha encontrado nada que sea capaz de arrancarles algún electrón. El argón, cuya distribución electrónica es de 2,8,8 y el neón, con 2,8 electrones respectivamente, sigue siendo completamente inerte. Y el más inerte de todos es el helio, cuyos átomos contienen una sola capa electrónica con dos electrones (que es lo máximo que puede alojar esta primera capa) que al estar en la primera linea cerca del núcleo positivo, están fuertemente atraídos al tener su carga eléctrica el signo negativo.

Para finalizar diré que los gases nobles (gases inertes, gases raros) están clasificados en el grupo 18 (antiguamente 0) de la tabla periódica de dos

elementos y se definen por símbolos que responden a: helio (He), neón (Ne), argón (Ar), kriptón (Kr), xenón (Xe) y radón (Rn).

Ya se dijo antes la configuración electrónica de cada uno de ellos y todas las capas internas están completamente ocupadas, lo que hace que estos elementos, por tanto, constituyan la terminación de un periodo y posean configuración de capa completa, por lo que sus energías de ionización son muy elevadas y su reactividad química escasa.

Como son monoatómicos, las moléculas de los gases nobles poseen simetría esférica, y las fuerzas intermoleculares son muy débiles, por lo que sus entalpías de vaporización son muy bajas.

Con todo lo anteriormente expuesto sobre los gases nobles, espero que el lector del trabajo aquí reflejado pueda tener una idea más amplia y un conocimiento más certero sobre lo que en realidad son los denominados como “gases nobles”.

En comparación con la inmensidad del universo, nos queda aún muchísimo que aprender. Si nos limitamos a nuestro entorno más cercano, la Tierra, ¿cómo hemos podido llegar tan lejos?

El conocimiento que actualmente tenemos en las distintas ramas del saber (el conocimiento es un árbol enorme, las raíces que lo sustenta son las matemáticas, el tronco es la física, y a partir de ahí, salen las ramas que corresponden a los distintos disciplinas del saber, tales como química, biología, astronomía, etc), tiene su origen muy lejos en el pasado, en civilizaciones olvidadas que dejaron las huellas de su saber a otras que, como los griegos antiguos, hace ahora de ello 2.600 años, o 600 años a. de Cristo, aprovecharon esos conocimientos y se dieron cuenta de que el mundo que les rodeaba y los acontecimientos naturales que ocurrían eran totalmente ajenos a los Dioses del Olimpo y a la mitología.

Thales de Mileto, uno de los siete sabios de Grecia, así lo entendió; dejó a un lado a los Dioses y expresó sus ideas empleando la lógica observan-

do la naturaleza. Él fue el primero que se dio cuenta de la importancia que tenía el agua para la vida. Empédoles, otro pensador, dijo que todo estaba formado por cuatro elementos: aire, agua, tierra y fuego que, combinados en la debida proporción se convertirían en los distintos materiales de los que estaban formados todas las cosas. Demócrito de Abdera nos habló de algo invisible e indivisible como el componente más pequeño de la materia, le llamó a-tomo o átomo. Sócrates, Aristóteles o Platón (y otros) nos introdujeron en el campo de la filosofía, y Anaximandro, Anaxímedes, Pitágoras, Euclides y muchos más, nos enseñaron astronomía, matemáticas-geometría, medicina, etc.

Se podría decir, sin temor a equivocarse, que allí en la antigua Grecia comenzó a germinar la semilla sobre la que está basada y donde están asentados los pilares de la ciencia actual, de la sociología, de las Humanidades, las Artes y las letras de hoy.

Ahora ya en nuestra época, tendríamos que reflejar otros muchos nombres de los que tomaron la antorcha y continuaron el camino emprendido por los griegos clásicos.

Ni los conozco a todos ni puedo recordar en este preciso momento a todos los que conozco y, en realidad, mi lista de nombres estaría limitada a las disciplinas que más atraen mi atención, lo que nos lleva a una muy pequeña, que a título de muestra quiero reflejar aquí: Ptolomeo, Copérnico, Galileo Galilei, Covendich, Brahe, Newton, Rutherford, Gauss, Euler, Riemann, Max Planck, Einstein, Niels Bohr, Heisemberg, Foucault, Morley, Dirac, E. Schrödinger, Pauli, E. Fermi, Gell-Mann, etc, etc, etc.

Hacer un recorrido pormenorizado de la contribución de cada uno de estos hombres a la humanidad, sería objeto de volúmenes enteros describiendo trabajos y descubrimientos maravillosos que, gracias a un talento y un genio especial, permitieron a estos elegidos elevar el conocimiento del resto; hicieron posible que ahora, en el año 2.006, estemos en un estadio del conocimiento que podríamos denominar como punto de partida para el comienzo de una nueva era. Tenemos las herramientas necesarias para dar ese primer paso.

Adquirir nuevos conocimientos tiene unos efectos curiosos, me explico: han sido muchas las puertas que han sido abiertas desde que, hace ahora 2.500 años, Thales, Empédoles, Demócrito y todos los demás nos cedieron sus ideas. Estas ideas se profundizaron, depuraron y perfeccionaron hasta que han servido de llaves para abrir de par en par las puertas que nos llevarían a desvelar secretos profundamente escondidos en la naturaleza.

¿Qué ha ocurrido cuando hemos abierto estas puertas?

Aquí están los efectos curiosos a que me refería antes. Hemos encontrado otras muchas puertas cerradas de las que no tenemos las llaves para poder abrir las y continuar el camino emprendido, o dicho de otra manera: adquirir nuevos conocimientos nos posibilita para hacer nuevas preguntas que, antes de tenerlos, no sabíamos ni formular.

Efectivamente es así. Si tenemos los datos y sabemos cosas podremos formular otras nuevas preguntas sugeridas por este conocimiento.

Por ejemplo:

¿Qué pasaría con los pasajeros de una nave espacial que, traspasado el horizonte de sucesos de un agujero negro, se dirigiera hacia la singularidad?

Esta simple pregunta la podemos hacer como consecuencia de que “conocemos” que un agujero negro tiene un espacio a su alrededor que marca un límite de seguridad para evitar ser atraído hacia el centro del agujero. Este límite circular es el horizonte de sucesos, que una vez traspasado, hará imposible el regreso. Conocemos también que allí dentro, después del horizonte, está la singularidad.

Pues bien, antes de Einstein y Schwarzschild no podríamos haber realizado la pregunta del ejemplo; nadie conocía la existencia de los agujeros negros, así que, ¿cómo hacer preguntas sobre lo que no conocemos ni sabemos que existe?

De esta forma tan simple nos damos cuenta que, a nuevos conocimientos, nuevas preguntas. Cada vez que aprendemos cosas nuevas nuestra mente los conecta a las ya conocidas, agranda nuestro horizonte del conocimiento y nos predispone para buscar nuevas incógnitas que resolver, nuevas preguntas que realizar, nuevas puertas que abrir a nuestro entendimiento.

Como decía Karl Popper: “*Cuanto más sé y más profundizo en el conocimiento de las cosas, más consciente soy de mi ignorancia. Todo lo que sé es limitado pero, mi ignorancia es infinita*”.

En el pensamiento de Popper queda reflejada una realidad irrefutable, nadie sabrá nunca todo sobre todo. Siempre será más lo que no sabemos que lo podemos saber, por mucho que esto sea.

Hablando por mí, puedo decir que tras mucho años de estudio y de interesarme por la ciencia, podría hablar en cualquier momento de cómo se formó el universo, como surgieron los primeros quarks para formar protones y neutrones que, a su vez, se unieron para formar los núcleos y después, al ser rodeadas por electrones atraídos por la carga positiva del núcleo, formaron los átomos que unidos forman la materia de la que están hechas todas las cosas, desde una estrella a un simple árbol, el océano o nosotros mismos.

También puedo explicar cómo al enfriarse el universo primitivo, se rompió la simetría y surgieron las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza (fuerza nuclear fuerte, nuclear débil, electromagnetismo y gravedad) que hace que el universo sea como lo conocemos.

Podría contarles como nacen y mueren las estrellas para que, de ellas, surjan enanas blancas, estrellas de neutrones o agujeros negros.

Tengo la posibilidad de comentar, o simplemente pensar, los complejas circunstancias que coincidieron en nuestro planeta para que, a partir de materia inerte, surgiera la vida orgánica que basada en el carbono, pudo alcanzar la inteligencia necesaria para ser consciente de su SER.

Estaríamos horas y horas hablando de la libertad asintótica de los quarks o de su confinamiento en una región con radio de valor $R \approx hc/\Lambda \approx 10^{-13}$ cm, y de los 8 gluones que los mantiene unidos por medio de la fuerza nuclear fuerte.

Estaría posibilitado a introducirme en el complejo universo de explicar lo que es el tiempo, si finalmente resulta ser algo más que una ilusión.

De la entropía que deteriora los sistemas, del modelo estándar de la física, de las teorías de Maxwell, de Kaluza–Klein de supersimetría, supergravedad o de supercuerdas, de todo eso podríamos hablar, y sin embargo, no sería más que una insignificante mota de polvo en el total del saber humano del presente, y ni siquiera eso en el saber futuro.

Serán abiertas muchas puertas y encontraremos otras muchas cerradas que nos obligarán a buscar las llaves que las abran para seguir encontrando nuevas puertas cerradas. Nunca se sabe lo suficiente, y en el caso de nuestra especie, estamos destinados a superar enormes problemas.

Moralmente, tenemos la obligación ineludible de continuar avanzando en el saber para poder esquivar situaciones futuras de macabras consecuencias, así será dentro de unas decenas de años, cuando se agoten las reservas naturales de nuestro planeta de los combustibles petrolíferos y de gas, el dilema que se avecina no será nada despreciable.

De momento, todas las fuentes de energías como las solares, eólicas, hidráulicas, mareomotriz, geotérmica, nuclear, etc, resultan poco rentables; su coste es grande en relación a la producción que se consigue. Estas fuentes energéticas requieren costosas y enormes instalaciones.

La producción de trabajo puede determinar fenómenos de distinta naturaleza: caloríficos, químicos, mecánicos, etc. En función de esta diversidad se habla de energía térmica, química o mecánica y también nuclear y otras. Las distintas formas de manifestarse la energía están asociadas a los cambios que experimentan los sistemas materiales.

La energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma, si un cuerpo experimenta un cambio en su estado. Cuando un cuerpo está aislado, es decir, cuando no puede ceder energía al exterior ni recibirla, la suma de todas las formas de energía que posee se mantiene constante, aunque dentro del propio sistema cerrado que representa el cuerpo sí se están produciendo transformaciones de energía de una u otra forma (entropía).

Los cuerpos tienen la capacidad de producir energía mecánica por el hecho de estar moviéndose; la energía cinética adquirida por un cuerpo se mide por el trabajo realizado sobre él para ponerlo en movimiento o por el que el cuerpo realiza hasta que se para. Su fórmula es

$$Ec = \frac{1}{2} mv^2$$

siendo m la masa del cuerpo y v a la velocidad que se mueve.

Comentar ampliamente sobre las distintas clases de energías sería motivo de un extenso trabajo y no es aquí el lugar adecuado para ello, ya que el haber sacado el tema a relucir es para dejar patente que las fuentes no renovables se encuentran en la Tierra de forma limitada, y al ritmo que los estamos consumiendo, no durarán mucho. Ya sabemos que dependemos de estas fuentes de energías para continuar la actividad y el desarrollo de la actividad industrial de producción, fabricación, de las máquinas, del alumbrado de las ciudades, la calefacción, etc, etc.

La falta de energía para nuestra sociedad sería una auténtica tragedia; dependemos tanto de ella que su falta nos paralizaría, literalmente hablando.

Bien es verdad que estamos contaminando la atmósfera del planeta y sus consecuencias pueden ser muy graves. Sin embargo, los intereses de las grandes compañías hacen oídos sordos, y en clara convivencia con los gobiernos se continúa con el deterioro ambiental tan nocivo.

Otro problema está dado por la energía nuclear. Procedente de reacciones nucleares o de la desintegración de los núcleos de determinados átomos.

Existen dos tipos de reacciones nucleares que liberan energía: la fisión y la fusión nuclear. La fisión consiste en la ruptura de un núcleo pesado en otros dos núcleos que, a su vez, liberan neutrones. Los neutrones desprendidos pueden romper otros núcleos de uranio-235 (U^{235}), que al fisionarse vuelven a liberar neutrones. La repetición del proceso determina una propagación de la fisión a toda la masa: la reacción en cadena, que provoca la liberación de gran cantidad de energía. Este procedimiento tiene un enorme inconveniente: la radio-actividad de alta peligrosidad para los seres humanos. Las radiaciones nucleares liberan partículas que producen cáncer y mutaciones en los seres vivos. Por otra parte, los residuos no se pueden reciclar y exigen ser escondidos en las profundidades de la Tierra, enterradas en cajas herméticamente cerradas de plomo. El sistema es muy costoso y peligroso; estos residuos están activos durante cientos de años.

La fusión nuclear es el proceso de unión de varios núcleos ligeros para constituir otro más pesado y estable. Para que se verifique la fusión, es necesario que se produzca un acercamiento entre los núcleos iniciales, venciendo las fuerzas electrostáticas de repulsión. La energía necesaria para que los núcleos reaccionen puede proceder de la energía térmica (energía termo-nuclear) o del empleo de un acelerador de partículas.

Un ejemplo claro de esta energía de fusión lo tenemos en el Sol, donde dos núcleos de hidrógeno se fusionan para formar un núcleo de helio, liberando en el proceso enormes energías. Los núcleos se encuentran cargados positivamente y tienden a repelerse, así que son necesarias enormes energías cinéticas para superar las fuerzas de repulsión mutua; esto implica temperaturas del orden de 10^8 K. Esta fusión se produce en el núcleo de las estrellas y es el proceso que libera energía y hace que las estrellas brillen. También se produce fusión por ciclo de carbono-nitrógeno; reacción protón-protón y proceso triple alfa.

Esta energía de fusión del Sol es la que permite la existencia de vida en el planeta Tierra, que a 150.000.000 Km de distancia recibe su luz y su calor.

La fusión nuclear es una energía limpia, sin radiaciones nocivas como ocurre con la fisión nuclear. La materia prima para generar este tipo de energía, el hidrógeno, lo tenemos en inagotables cantidades en nuestro planeta: el agua de los ríos, mares y océanos. El problema reside en que para fusionar átomos de hidrógeno en átomos de helio, se requiere producir temperaturas iguales a las que reinan en el núcleo de nuestro Sol y que pueden alcanzar los 15'6 millones de K en una densidad de 148.000 Km/m³. Nuestra tecnología actual no está capacitada para ello... de momento.

Pero como antes decía, este es el problema más acuciante que tiene planteada la humanidad. En un futuro no muy lejano, las fuentes de energías actuales se habrán agotado y para entonces, tenemos que haber encontrado nuevas fuentes, como por ejemplo la fusión, en la que se está trabajando e investigando ya. Esta clase de energía tiene la ventaja de ser más completa, no contamina, los residuos se podrían reciclar, la materia prima (el hidrógeno del agua de los mares y océanos) sería barata e inagotable lo que redundaría en los gastos para producirla y por derivación, en su precio final al público. Por otra parte se evitarían los enormes costes de almacenaje de los desechos de la energía de fisión nuclear tan dañino para la vida.

Salvada esa primera prueba de la energía, o mejor dicho, de la falta de energía, habrá un largo periodo de crecimiento y descubrimientos que posibilitará, entonces de verdad, los viajes espaciales tripulados por humanos y haciendo escala en los planetas vecinos y en sus lunas, que serán explotadas por los grandes compañías que abrirán minas en Ganímedes, o construirán centros de ocio en Europa y estaciones de estudios químicos en Io (Ganímedes y Europa junto con Io son satélites de Júpiter) y para ello habremos inventado aparatos de anti-gravedad que puestos en nuestra muñeca como un reloj, evitaría que la gravedad del planeta nos aplaste.

Esto comenzará a pasar de aquí a cien años. Después pasarán varios siglos hasta que aprendamos la manera de aprovechar la energía de los agujeros negros. También se buscará el camino para obtener energía de la antimateria, será dominado un nuevo sistema de viajar por traslación instantánea, los vehículos y naves aéreas como hoy los conocemos serán reliquias del pasado.

La mecánica cuántica (el salto cuántico del electrón) nos desvelará el secreto de cómo el electrón puede, al recibir un fotón, desaparecer del nivel nuclear que ocupa para de manera instantánea, y sin necesidad de recorrer la distancia que los separa, aparecer como por arte de magia en un nivel superior. Copiaremos el salto cuántico para viajar. Nos introduciremos en un cabina, marcaremos las coordenadas, pulsaremos un botón y desapareceremos en Madrid y de manera instantánea, apareceremos de la nada en otra cabina igual situada en Nueva York a 6.000 Km de distancia.

Así, con cambios tan asombrosos como estos, avanzará la humanidad hasta que se aproxime el problema siguiente:

La muerte del Sol. Cuando agote el hidrógeno y no pueda continuar fusionándolo en helio, el Sol comenzará a hincharse como un globo, la temperatura aumentará y se convertirá en una estrella gigante roja cuya órbita aumentará tanto que se comerá, literalmente hablando, a Mercurio y a Venus y quedará cerca del planeta Tierra que, mucho antes, vería como se evaporan sus ríos, mares y océanos y perece cualquier clase de vida animal o vegetal. Finalmente, la gigante roja explotara como nova y lanzará al espacio los materiales de sus capas exteriores, para contraerse bajo la gravedad de su propia masa hasta convertirse en una estrella enana blanca.

Mucho antes de que todo eso empiece a suceder, tenemos que haber resuelto el problema de la mudanza. Nuestra casa ahora es la Tierra, un planeta que cuando ocurra el inevitable, quedaría calcinado. Hasta que eso llegue (faltan 4.000 millones de años) tenemos que pensar en las soluciones: inventar naves de tecnología muy avanzada, de enormes dimensiones, que alcancen increíbles velocidades, que sean autónomas en la producción de alimentos y fabricación de objetos de todo tipo, que anule la gravedad cero del espacio exterior, etc, etc, etc.

Tenemos que buscar otros mundos habitables en los que instalarnos; lunas y planetas que reúnan las características que permitan la vida animal, si no igual, tendrá que ser parecidas a las de la Tierra. En ese punto, la humanidad, no quedará unida en un solo planeta, tendrá que dividirse y colonizar distintos mundos.

Ese es el segundo gran problema que nuestros descendientes tendrán que resolver. Posiblemente, esté siendo muy optimista al pensar que la humanidad podrá llegar hasta ese lejano punto del futuro. No sería descabellado pensar que mucho antes nos destruyamos nosotros mismos o por consecuencias naturales... un meteorito, por ejemplo.

Existe, por si el anterior fuera poco, un tercer problema para que la humanidad se perpetúe. Este, con mucho, es el más grave y difícil de superar.

Me estoy refiriendo al modelo de universo que tenemos y que, según todos los indicios, conforme determinará la “masa crítica”, puede tener un final dominado por el frío infinito, el cero absoluto -273 K, o por el contrario, terminar en una gran bola de fuego, el Big Crunch producido por una densidad de materia superior a la “masa o densidad crítica” que, debido a la intensidad de la fuerza de gravedad, irá parando lentamente a las galaxias hasta detenerlas por completo.

Después, también lentamente al principio y más rápidamente después, las galaxias correrán en sentido inverso, desandarán el camino recorrido, y un día muy lejano en el futuro todas ellas confluirán en un mismo punto para producir el denominado Big Crunch, lo contrario del Big Bang.

Toda la materia del universo reunida en un punto de inmensa temperatura y densidad, una singularidad que seguramente dará lugar a otro Big Bang que formará otro nuevo universo y el ciclo comenzará desde cero, nacerán otro tiempo y otro espacio y... ¿otra humanidad? ¡Quién puede saberlo!

De todas maneras ese es, en teoría, el final que espera al universo, y ante tal infinito problema, el hombre comienza a especular con hiperespacios y universos de múltiples dimensiones para huir de la cruda realidad. La humanidad es verdad que no lo tiene nada fácil.

Hacer un recorrido pormenorizado de la contribución y aportación de cada uno de los hombres y mujeres que, con su esfuerzo, genio y talento, han contribuido para hacer posible que ahora, a principio del siglo XXI, tengamos el nivel de conocimiento que tenemos en los distintos ámbitos o disciplinas de la ciencia, sería una ingente tarea de años que llenaría una gran biblioteca con miles y miles de volúmenes que explicaran los muchos pasos dados, los descubrimientos, los inventos, las teorías, y las ideas que, finalmente quedaron como leyes inamovibles como fiel reflejo de la naturaleza misma que, en realidad, es la que esconde todos los secretos que para seguir adelante, necesitaremos desvelar.

Como antes decía, han sido muchas las puertas que han sido abiertas para descubrir detrás de cada una, un misterio tal como el comienzo y formación del universo, el descubrimiento de la existencia de las cuatro fuerzas fundamentales, de las constantes universales, el movimiento de las galaxias por la expansión del universo, el descubrimiento del núcleo en el átomo que forma la materia de la que están hechas todas las cosas, de los quarks, hadrones, y leptones, las matemáticas, la física, la química, la astronomía, y también la filosofía, todo ello formando una ingente y descomunal obra que parece imposible que se llevara a cabo por unos insignificantes seres, habitantes de un insignificante planeta, que dependen para vivir de la luz y el calor de un insignificante Sol (una estrella mediana, amarilla, de la clase G2) que forma parte de un conjunto de cien mil millones de soles que conforman la galaxia Vía Láctea que, a su vez, es una más entre los cientos de miles de millones de galaxias que pueblan el universo.

Si nos comparamos con la inmensidad de nuestra Galaxia (100.000 años luz de diámetro), somos menos que una brizna de polvo. Si nos comparamos con el universo entero... no somos nada.

Sin embargo, en este punto debemos recapacitar un poco, reconocer con humildad la importancia que realmente tenemos en el universo y seguidamente, reconocer también los enormes logros conseguidos desde que, hace escasamente unos doscientos mil años, un animal se levantó para andar erguido y comenzar a pensar en otras formas de vivir, ideando rústicas herramientas para la caza, haciendo fuego y construyendo refugios.

El lenguaje mediante sonidos guturales vino a cambiarlo todo. Allí empezó el entendimiento inteligente de seres que de animales irracionales, evolucionaron hasta llegar a pensar por sí mismos, tener conciencia de SER y preguntarse de dónde venía y hacia dónde caminaba.

Ya quedó escrito en alguna parte anterior de esta libreta, el pensamiento del filosofo científico Karl Popper que decía: "Nuestros conocimientos son limitados, pero nuestra ignorancia es infinita...". Sin embargo, aunque es verdad que existen millones de preguntas que no sabemos contestar, también lo es que nuestros conocimientos crecen de manera exponencial.

Nadie puede negar que en los últimos doscientos años hayamos avanzado más que en los 10.000 años anteriores. Claro está que nos hemos aprovechado de las experiencias e inventos de los que nos precedieron. Aprendimos de los errores (no siempre) y mejoramos sus descubrimientos que fueron puntos de apoyo que hicieron más fácil el trabajo. Igualmente, los que nos seguirán se encontrarán con buenos puntos de apoyo para seguir avanzando.

De esta manera, cada vez se avanza más en menos tiempo.

Hemos podido saber que en un principio, hace varios miles de millones de años (4.000), las condiciones de la Tierra, la composición enrarecida de su atmósfera, la formación de los océanos y la composición primigenia de sus aguas con abundantes chimeneas marinas de volcanes submarinos que arrojaban hidrocarburos y gases de metano, así como la proliferación de enormes tormentas y caída de rayos, todo ello acompañado de que por entonces la capa de ozono que ahora nos protege de la radiación cósmica no existía, lo cual provocaba la intensa lluvia de partículas ultravioletas y rayos gamma que de manera continuada bombardeaban las aguas superficiales del planeta, además del territorio seco formado por la tierra seca. Todo ello dio lugar a que existieran unas condiciones especiales que finalmente se tradujeron en la formación de la primera célula viva capaz de reproducirse por sí misma, a partir de la materia "inerte". ¡Un verdadero milagro!, que evolucionó y a lo largo del tiempo nos trajo a nosotros, seres engreídos que se dan más importancia de lo que en realidad tienen. Siempre expreso estas compa-

raciones en relación al universo, ya que si nos ceñimos al ámbito planetario terrestre, la humanidad tiene una importancia de 1^a magnitud.

En realidad, si no ocurre ninguna desgracia planetaria, o es el mismo ser humano el que pone los medios para su auto-eliminación (contaminación, guerras, etc), será muy difícil parar su infinita ambición por saber cosas nuevas, su insaciable curiosidad lo empuja un paso más cada vez. Los problemas agudizan el ingenio y como ha venido sucediendo, el trabajo que unos empiezan es seguido por los que vienen detrás y, en ese sentido, se podría decir que somos una especie inmortal; unos trabajaron para ceder su fruto a otros que a su vez repiten el ciclo indefinidamente. Una especie con tales características es difícil de vencer y tiene pocos problemas que no pueda resolver... a la larga, con mucho tiempo por delante.

Esta especie, la nuestra, es un auténtico privilegio en el inmenso universo que nos ha situado en la galaxia Vía Láctea que, junto con su vecina Andrómeda es una de las treinta galaxias que aproximadamente componen un pequeño conjunto conocido como el Grupo Local. La situación del planeta Tierra no es nada privilegiada, está situado al borde de uno de los brazos螺旋的 a 30.000 años luz del centro galáctico, exactamente en la periferia. Precisamente esta situación es la que hace posible que la vida surgiera en nuestro planeta que, de haber estado en el centro galáctico, seguramente, habría sido diferente.

Los problemas a los que antes me refería, no sé si todos ellos, pero los que tengan solución será de la mano de las matemáticas y de la física, las ramas de la ciencia que son la base de todas los demás.

De lo que no puede haber duda alguna es sobre el destino final del universo, de una u otra forma quedará destruido. Lo mismo será si estamos en un universo abierto que se expansionará eternamente, como si estamos en un universo cerrado que se contraerá sobre sí mismo. En el primero reinará el frío del cero absoluto, todo quedara congelado y muerto. En el segundo será el fuego el que en una enorme bola de feroz temperatura lo arrasará todo. Tanto en uno como en otro caso, el resultado será el mismo: ausencia de vida.

La entropía no deja de hacer su trabajo en el sistema cerrado que es el universo que irremediablemente verá crecer el desorden y disminuir la energía; es la ley de la naturaleza, y contra dicha fuerza nada podemos hacer, es imparable y lo mismo que no podemos parar el tiempo, tampoco podemos parar los acontecimientos naturales que el paso del mismo conlleva. Las cosas se deterioran, nosotros envejecemos y los terrenos fértiles se erosionan y desertizan. Ricos ecosistemas, con el paso del tiempo, se convierten en parajes yermos donde la vida desaparece.

El universo tiene 13.500.000.000 años, un tiempo considerable si lo comparamos con los míseros ochenta años que podemos vivir nosotros. Sin embargo, nunca pensamos en ello, no comparamos la brevedad de nuestras vidas con tal inmensidad. Para todos nosotros, esa insignificante fracción de tiempo es en realidad enorme. Durante ese tiempo transcurre toda nuestra vida y año tras año se suceden los acontecimientos que, ya de mayores, pasan por nuestros recuerdos: nuestra niñez y amigos de la infancia, el colegio, los deportes, el estudio o el trabajo temprano, la novia, la boda, los hijos, verlos crecer, la lucha de llevarlos adelante y... sin que nos demos cuenta, los 65 años.

De esa manera, en una fracción del tiempo del universo, para nuestro ámbito particular han pasado muchísimas cosas; hemos vivido muchísimas experiencias, hemos aprendido, hemos tenido efímeros momentos de felicidad y también momentos de dolor, nos hemos sacrificado por conseguir cosas para nuestros hijos, cuando parece que todo está logrado y hemos alcanzado la meta.... nos tenemos que marchar.

Desde luego, nada puede negar que el tiempo es relativo, ya nos lo explicó Einstein en su teoría de la relatividad especial, el tiempo será largo o corto según quién lo mida y quién lo esté observando.

El comentario anterior referido al tiempo que tiene el universo y el tiempo de vida de un ser humano comparados entre sí (13.500.000.000 años contra 80 años), resulta que la vida de un ser humano es totalmente insignificante, un minúsculo y despreciable período de tiempo del universo.

verso. Sin embargo, ese tiempo insignificante, para un ser humano es enorme, es muy valioso, es toda su vida.

Algunos científicos nos dicen que el tiempo no existe y que sólo se trata de una ilusión de nuestros sentidos, el pasado, el presente y el futuro es sólo una ilusión de una misma cosa que nosotros llamamos tiempo.

Escribiendo esta página, miro hacia arriba y veo lo que escribí en el pasado, miro el bolígrafo y veo lo que escribo en el presente... pero sigo mirando y ante mis propios ojos veo avanzar la punta del boli sobre el papel y en fracciones de segundo lo que es presente es ya pasado y paso de inmediato al futuro, ya que la hoja que estaba limpia y blanca pasa al otro plano de estar llena de letras.

Si nos concentramos en estos pensamientos observamos las cosas desde otro punto de vista, nada es tan simple como parece a primera vista cuando, sin pensar en profundidad, sólo miramos la superficie de las cosas.

Nunca debemos creer lo que observamos en un primer momento, para saber la verdad de las cosas es preciso que miremos más allá de la superficie (con las personas ocurre lo mismo, nunca son lo que aparentan ser), allí, en el fondo, escondida, está la verdad.

En este punto de lo engañosa que pueden ser las apariencias, no puedo impedir que acudan a mi memoria dos personajes:

Riemann y Ramanujan

El primero, hijo de un clérigo que tenía cerca de la decena de hijos y que vivía en el seno de una familia muy humilde, tenía aspecto enclenque y enfermizo. Fue enviado por su padre a estudiar en el seminario y resultó que aquel niño tenía un don especial, su mente era pura matemática.

Destacó tanto que fue enviado al máximo exponente de los matemáticos europeos de aquel momento, Gauss, con el que estudió y amplió su mente en aquella Alemania del siglo XIX.

En 1.860 (no recuerdo exactamente, escribo de memoria), el chico expuso durante una conferencia su tesis doctoral, sobre geometría del espacio curvo. Demostró que Euclides estaba equivocado, y así echó por tierra lo que durante 2.000 años había sido la Biblia de la geometría. Inventó la geometría de los espacios infinitos, su famoso Tensor Métrico posibilitaba trabajar con espacios de más de tres dimensiones (largo, alto y ancho de la geometría Euclídea), y desde ese momento marcó un hito en la historia del hombre.

De hecho, Einstein no podría haber formulado su teoría de la relatividad general sin el Tensor Métrico de Riemann.

A Riemann debemos múltiples avances en las matemáticas y en la geometría. Fue un genio que murió enfermo con tan solo 33 años.

El otro personaje, Ramanujan, nacido en el seno de una familia de clase alta en la India, vivió en la ciudad de Madrás y el cambio político llevó a su familia a un nivel más bajo y humilde que le obligó a buscar trabajo en el Puerto de Madrás como oficinista de mísero jornal.

Al igual que Riemann antes que él, tenía un don especial para las matemáticas. Su aspecto era algo grosero, de físico bajo de estatura y gordito. Cualquier libro de matemáticas que caía en sus manos era literalmente devorado por Ramanujan.

Aquel muchacho Indio, trabajador humilde en el puerto, tenía una vida interior muy fuerte y profunda. Por su mente pasaban las combinaciones de números que, mediante complicadas ecuaciones, le mostraban las soluciones a problemas planteados.

Habiendo escrito una carta a varios de los mayores matemáticos del momento en Europa, éstos ingleses, al recibirla y ver el garabateo contenido en unas cuartillas los arrojaron a la papelera sin más. La excepción fue Hardy, un matemático de Cambridge que, fascinado, leyó y releyó una y otra vez el simple texto mal escrito que, sin embargo, contenía más de 100 teoremas matemáticos que no sabía resolver.

Consiguió traer a Ramanujan a Inglaterra y trabajaron juntos tres años en los que Ramanujan produjo matemáticas que asombraron a todos. En sí mismo, pasaba horas y horas, sin hablar y sin dejar de garabatear números en las libretas que utilizaba. Creaba unos seis teoremas al día, aquello era asombroso.

Enfermo como Riemann, murió antes de cumplir 40 años.

Varios años después de su muerte, por casualidad, encontraron en un cuarto abandonado en las dependencias de Cambridge, escondidos en el fondo de un cajón, unos cuadernos llenos de ecuaciones y números que, examinados por los mayores expertos matemáticos del momento, exclamaron:

“¡¡Es increíble. Este hombre ha desarrollado en el último año de su vida mientras se estaba muriendo, el trabajo de diez matemáticos de primera fila durante todas sus vidas!!”

Ahora, aquellas libratas encontradas son conocidas por todos como los “cuadernos perdidos de Ramanujan”, y en ellos están reflejadas las *funciones modulares*, que seguramente tengan la solución para la teoría de supercuerdas.

Tan profundas son las matemáticas de los “cuadernos perdidos de Ramanujan” que, aún varios años después de haberlos encontrado, ni los grandes matemáticos han sido capaces de descifrarlos.

De esta manera, contando muy brevemente la historia de estos dos personajes, os pongo un ejemplo de que no es aconsejable dejarse llevar por las apariencias de un primer momento; hay que profundizar y mirar más adentro.

Riemann y Ramanujan, de apariencias físicas negativas, el uno tísico y el otro obeso, en aquellas envolturas poco agradables, escondían, sin embargo, a dos genios matemáticos que con su contribución cambiaron el rumbo del mundo.

La mente humana es un prodigo de perfección, es el conjunto más complejo que existe en el universo, personalmente creo que no tiene límites. El ser humano es capaz de crear todo aquello que su mente pueda pensar que es posible.

Tiene un ingrediente muy importante, la fantasía. Piensa en cosas que en un primer momento parecen imposibles.

- Aparatos voladores que surcan los aires.
- Máquinas que fabrican objetos.
- Luz artificial para alumbrar ciudades y hogares.
- Calor en invierno y frío en verano.
- Energía rompiendo el átomo.
- Viajar al espacio.
- Ver en directo las imágenes de lo que ocurre en otra parte.

Etc, etc, etc.

La imaginación de los seres humanos siempre ha sido muy rica y fructífera en inventar cosas para regocijar el pensamiento, y de acontecimientos reales han pasado a su enaltecimiento convirtiéndolos en leyendas, unas veces basadas en hechos reales y otras debidas a una imaginación desbordante.

Podríamos recordar aquí las leyendas de los Dioses del Olimpo:

Los Amores de Zeus

- La leyenda de Io y tábano.
- La leyenda del rapto de Europa.
- La leyenda de Dánae.
- La leyenda de Leda.

Las Leyendas de Hera

- La leyenda de Cleobis y Bitón.
- La leyenda de Ixión.

Las Leyendas de Artemisa

- La leyenda de Niobe.
- La leyenda de Endimión.

Leyendas de Apolo

- La leyenda de Jacinto.
- La leyenda de Cipariso.

También existen leyendas de amor y mutaciones en los que están mezclados grandes amores con personajes que se convirtieron en otros seres distintos.

Quien no ha oído alguna vez las leyendas de:

- Orfeo y Eurídice.
- Eco y Narciso.
- Pigmalión y Galatea.
- Hero y Leandro.
- Píramo y Tisbe.
- Aretusa y Aefeo.
- Polifemo y Galatea.
- Psique y Cupido.
- Dafne.
- Aracne.
- Clitia.

Los grandes mitos como:

- Midas.
- Dédalo e Ícaro.
- Minos y el Minotauro.
- El Ave Fénix.
- Orión.
- Anfítrion.
- Edipo.
- Tántalo.
- Orestes y Electra.

También, cómo no, historias de los grandes Héroes que perduran en el recuerdo de todos como:

- Perseo.
- Belerofonte.
- Jasón.
- Teseo.
- Heracles.
- Todos los de Troya: Ulises, Aquiles, Agamenón, y otros.

Historias como las de la Esfinge que, alada con tronco de mujer y la parte inferior de león, colocada a la entrada de la ciudad, le formulaba una pregunta al viajero:

“¿Cuál es el único ser de la tierra que, con una sola voz, tiene por la mañana cuatro piernas, dos al mediodía y tres al anochecer, y que cuantas más piernas tiene más débil es?”

Quien no contestaba la pregunta era destruido por el monstruo enviado por la Diosa Heras.

Edipo, cuando le fue formulada la pregunta, medito un momento y respondió: “*el hombre*”, cuando es pequeño gatea y en la vejez necesita del apoyo de un bastón.

Historias así enriquecen la imaginación del hombre y existen cientos y miles de ellas. Recordemos como Zeus engendró al más grande de los héroes humanos (parte dios y parte hombre), Heracles – Hércules – que se hizo famoso por su enorme fuerza física y sus famosos “trabajos de Hércules”. Ulises, con ingenio y valor, uno de los héroes de la guerra de Troya que inventó el caballo de madera donde se escondieron los guerreros que invadieron la ciudad. Rey de Ítaca, Ulises ganó su fama por sus viajes, fue capaz de oír el canto de las sirenas, vivir en la isla de la hechicera Cirse, ven-

cer con su ingenio al Cíclope Polifemo de un solo ojo en la frente y, mientras tanto, su esposa Penélope soportaba el asedio de sus admiradores que, dando por muerto a Ulises, querían reinar en Ítaca casándose con Penélope, contra la voluntad de ella y de su hijo Telémaco.

Volvió Ulises, disfrazado de mendigo, y tendió una trampa a los invasores de su hogar matándolos a todos.

Otra representación de la imaginación, más reciente, la tenemos en las historias contadas por Julio Verne. Quién no conoce el viaje al centro de la Tierra, 20.000 leguas de viaje submarino con el capitán Nemo, o los hijos del Capitán Grant o la Isla Misteriosa.

En los libros tenemos la prueba de la enorme capacidad de imaginar que tenemos los humanos y, a la misma altura, podemos poner el nivel del pensamiento útil, del querer aprender, buscar nuevos caminos, interesarnos por lo desconocido. De esta manera, a través del pensamiento y de la imaginación, hemos llegado hasta aquí.

Pero dejémonos de imaginación recreativa y pasemos a la imaginación científica de este trabajo.

Luz, Velocidad, Tiempo y, relatividad

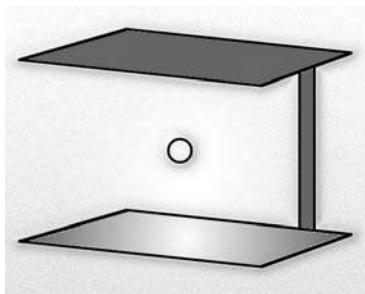
Aunque muchas veces comentado, trataré de nuevo el tema de la velocidad de la luz y sus implicaciones reales en el transcurso del tiempo. La relatividad del movimiento es, por una parte, la clave para comprender la teoría de Einstein, y al mismo tiempo una fuente potencial de confusión.

No es nada fácil dar una definición del tiempo, los intentos de hacerlo terminar a menudo dando vueltas y vueltas hasta llegar al punto de partida. Sin ir más lejos, en mi último trabajo (09/09/06) de título “*Pasado, Presente y Futuro. Una ilusión llamada Tiempo*”, intenté explicar lo que es el tiempo

y hablé de él desde distintos ángulos y bajo distintos puntos de mira. Durante muchas páginas trate el tiempo y me remonte hasta el Big Bang como fuente de su nacimiento, allí, junto a su hermano el espacio, nació el tiempo.

Hablamos del reloj atómico de cesio-33, de la velocidad de la luz, de la fórmula matemática que explicaba la dilatación del tiempo a través de la velocidad, del tiempo de Planck, de las transformaciones de Lorentz, tiempo terrestre, tiempo dinámico, tiempo bariónico, tiempo estándar, tiempo universal, etc.

Podemos medir el tiempo en un reloj de luz pero nuestro objetivo es comprender cómo afecta el movimiento al transcurso del tiempo. Se conoce como “reloj de luz” al más sencillo del mundo y que consiste en dos pequeños espejos montados el uno frente al otro sobre un soporte, y entre ellos hay un único fotón de luz que salta del uno al otro. Si los espejos están separados unos 15 cm, el fotón tardará alrededor de una milmillonésima de segundo en realizar un viaje de ida y vuelta. Se puede considerar que el “tic-tac” de un reloj de luz se produce cada vez que un fotón hace un viaje de ida y vuelta completo. Mil millones de tic-tac indicarían que ha transcurrido un segundo.



El fotón de uno a otro espejo realizando el viaje de ida y vuelta mil millones de veces en un segundo. El fotón no tiene masa y su velocidad es la de la luz, 299.792.458 m/s.

Tenemos que mencionar el carácter constante de la velocidad de la luz, y que el mismo implica que un reloj pueda marcar su tic-tac más lentamente.

O dicho de otra manera, viajar a velocidades cercanas a la de la luz ralentiza el tiempo, así lo determina la teoría de la relatividad especial de Einstein. El tiempo transcurre más lentamente para un individuo en movimiento que para otro individuo que se encuentre en reposo. Si el razonamiento absolutamente sencillo que nos ha llevado a esta conclusión es correcto, entonces, ¿no tendríamos, por ejemplo, que poder vivir más tiempo estando en movimiento que permaneciendo inmóviles? Después de todo, si el tiempo transcurre más lentamente para un individuo en movimiento que para uno que está quieto, esta disparidad se podrá aplicar también, además de al tic tac de un reloj, al latido de un corazón y al deterioro de algunas partes del cuerpo. Esto es así, y se ha confirmado directamente, no para la esperanza de vida de los humanos, sino para ciertas partículas del microespacio: los muones*. No obstante, existe una pega importante que nos impide proclamar el hallazgo de la fuente de la juventud.

Cuando se encuentran en reposo en el laboratorio, los muones se desintegran mediante un proceso muy semejante a la desintegración de la radiactividad, en un promedio de tiempo de alrededor de dos millonésimas de segundo. Esta desintegración es un hecho experimental apoyado en una cantidad enorme de pruebas. El muón tiene una vida de 2 millonésimas de segundo, llegado a ese tiempo, se desintegra, explota para descomponerse en electrones y neutrinos.

Pero si estos muones no están en reposo en el laboratorio, sino que viajan a través de un aparato denominado acelerador de partículas que los impulsa hasta alcanzar la velocidad de la luz, el promedio de su esperanza de vida medido por los científicos en el laboratorio aumenta drásticamente. Esto sucede realmente. A una velocidad de 298.168 kilómetros por segundo (alrededor del 99'5% de la velocidad de la luz), el tiempo de vida del muón se multiplica aproximadamente por diez. La explicación de esto, de acuerdo con la relatividad especial, es que los "relojes de pulsera" que llevan los muones hacen tic tac mucho más lentamente que los relojes del laboratorio que están en reposo y su tic tac es más rápido, o sea al ritmo normal cotidia-

* Muón: partícula elemental de la familia de los leptones, 200 veces más masivo que el electrón, carga -1.

no del transcurso del tiempo. Esta es una demostración muy directa y expresaiva del efecto que produce el movimiento en el paso del tiempo. Si las personas pudieran moverse tan rápido como estos muones, su esperanza de vida subiría hasta los 800 años, al multiplicarse por el mismo factor 10 de los muones.

¿Que dónde está el truco?

Bueno, el que los muones en movimiento viven 10 veces más tiempo que los muones en reposo se debe precisamente a que el movimiento detiene el tiempo, no por completo, sino que lo ralentiza y lo hace ir más despacio. Claro que no todos los movimientos pueden conseguir este milagro. Si mi amigo Ricardo Muñoz está sentado en la mesa de su despacho, mientras que, mi amigo Antonio Panzuela se mueve por la oficina, el tiempo que transcurre, el cotidiano, es el mismo para ambos, el reloj marca el mismo ritmo para los dos, ya que el movimiento de Antonio Parzuela es ínfimo comparado con el de la velocidad de la luz, que es el único movimiento (velocidad relativista) que ralentiza el tiempo y tiene matices importantes en su lectura de un mismo acontecimiento dependiendo de quien sea el que mide el tiempo, el observador de ese acontecimiento (que pueden ser varios) puede medir un tiempo que sea distinto al medido por otro observador. Sin embargo, ambos observadores llevarán razón y ambos tiempos serán, aunque distintos, exactos.

¿Cómo puede ser posible eso? ¿No es una contradicción?

Sí, puede ser posible y no es una contradicción.

Me explico:

Imaginemos un tren que viaja a 120 Km/h.

En uno de los vagones viaja un padre y su hijo. El niño, asomado por la ventanilla, en el momento de pasar frente a una estación en la que el Jefe observa el paso del tren comprobando la hora, el niño con toda su fuerza,

arroja una pequeña pelota de goma en el mismo sentido de la marcha del tren, y la velocidad alcanzada por la pelota es de 20 Km/h.

Ahora bien, encargamos medir la velocidad de la pelota (suponiendo que ambos tienen un aparato de medida adecuado), tanto al padre del niño que viaja con él en el tren, como al Jefe de Estación que observa el paso del mismo.

¿Qué medida nos dará cada uno?

Cada observador nos dará una medida distinta del mismo suceso y ambas medidas serán las correctas.

El padre del niño nos dirá que la velocidad de la pelota es de 20 Km/h, mientras que el Jefe de Estación, parado en el andén, nos dirá que la pelota va a una velocidad de 140 Km/h. Ambos aciertan, aplicando la relatividad hay que tener en cuenta que el padre del niño hace la medida de la velocidad de la pelota cuando él está montado en el tren que está en movimiento en el mismo sentido en que va la pelota, lo cual hace que sólo mida la velocidad de la pelota, 20 Km/h.

Sin embargo, el aparato de medir la velocidad que sostiene el Jefe de Estación, en reposo en el andén, mide la suma de las dos velocidades la del Tren 120 + 20 de la pelota, lo que resulta una velocidad real de 140 Km/h, a la velocidad de la pelota hay que sumar la velocidad del tren.

Este ejemplo es cotidiano y se coge la velocidad como protagonista de la demostración de lo que es la teoría de la relatividad especial. En el ejemplo del muón (que se podría extrapolar a una persona que viajara en una nave espacial a velocidades cercanas a la de la luz), el protagonista es el Tiempo, que como consecuencia de una alta velocidad se detiene para transcurrir más lento en función de la velocidad a la que se esté viajando, es el efecto predicho por la teoría de Einstein y demostrados experimentalmente. Los tiempos son relativos al movimiento de los observadores. El reloj viajero es más lento en un factor de $\sqrt{1 - v^2/c^2}$.

En otras ocasiones, comentando esto mismo, hice referencia al conocido, o más bien conocida *paradoja de los gemelos*. Uno, astronauta que parte para Alfa Centauro, y el otro, profesor que le despidie. Ambos tienen 38 años. La nave parte hacia la estrella vecina y hace el viaje de ida y vuelta a la velocidad de la luz, descansando un día para estudiar de cerca la estrella. Al regreso, el hermano gemelo del astronauta va a recibirlo y cuando éste desciende de la nave, tiene la edad de 46'6 años, mientras que él ya está pre-jubilado y con el cabello blanco, tiene mucha más edad.

Resulta exactamente lo mismo que en el experimento del muón, el tiempo del gemelo astronauta que viajó muy rápido, pasó mucho más lento que el tiempo del gemelo profesor que siguió en la Tierra a un ritmo muchísimo más lento. Así la ecuación es inversa:

$$\text{Movimiento rápido} = \text{Tiempo más lento}$$

$$\text{Miempo más rápido} = \text{Movimiento más lento}$$

Pero la ecuación no debe equivocarnos; el gemelo de la Tierra, el que ahora es más viejo, en realidad ha vivido mucho más que el otro, ha vivido toda una vida con todo lo que eso conlleva, mientras que el otro hermano, el viajero, sólo ha vivido un viaje; sí, algo largo (8'6 años luz), pero en dicho espacio de tiempo, al ser muy lento, sólo cabían las incidencias de un viaje en una nave espacial, mientras que el otro hermano ha comprimido el tiempo en cuanto a los muchos hechos que ha podido meter dentro, así que para él pasó mucho más rápido.

En realidad no es que el astronauta viviera más tiempo, sino que su tiempo pasaba mucho más lentamente porque él estaba corriendo más que su hermano, y corriendo tanto no da tiempo para hacer muchas cosas, sin embargo corriendo menos nos dará tiempo para todo.

¡Qué locura!

Sí, es algo complicado, más de lo que pueda parecer, y sin embargo muy real.

El astronauta vivió ese periodo de tiempo a cámara lenta, por eso su tiempo fue más largo o se tardó más tiempo para medirlo por el hecho de que transcurría lento. El fenómeno desapareció en el momento de tomar tierra, donde el tiempo era de nuevo el mismo para los dos hermanos.

Así que durante la vida de 800 años al que antes aludíamos, en realidad podríamos hacer exactamente las mismas cosas que en la vida de 80 años, sólo que más lentamente.

Así que después de todo esto llegamos a la conclusión del principio, la relatividad del movimiento es, por una parte, la clave para comprender la teoría de Einstein, y al mismo tiempo (repito) una fuente de confusión; hay que centrarse muy profundamente en el problema para llegar a verlo, de manera clara, en tu cabeza. A mí, al principio, no me entraba la idea. Después de un tiempo de ahondar en la relatividad especial, por fin se hizo la luz, y efectivamente el tiempo va más despacio para quien se mueva muy rápido.

En la vida cotidiana, donde las velocidades son pequeñas, las diferencias entre alguien que corre y otro que está parado, puede ser tan insignificante que, en realidad, es despreciable.

Otra curiosidad de la relatividad especial es que el objeto que se mueva a la velocidad de la luz se acorta a lo largo de la dirección del movimiento. Por ejemplo, las ecuaciones de la relatividad especial demuestran que un objeto que se mueva aproximadamente al 98 por ciento de la velocidad de la luz, será medido por un observador inmóvil como un 80% más corto que cuando estaba parado, es lo que se conoce como la “Contracción de Lorentz”, que también es totalmente cierta. Pero además, a estas velocidades* ocurre otra curiosidad: la masa del objeto aumenta considerablemente, ya que como el universo limita la velocidad que podemos alcanzar a la de la

* Ver pág. 317: ¿Por qué la materia no puede ir más rápida que la velocidad de la luz?

luz, cuando nos estamos acercando a ella, la energía que se traducía antes en velocidad, a partir de cierto punto se convierte en masa. No podemos olvidar que $E = mc^2$, nos dice que la masa es energía y la energía es masa, son dos aspectos de la misma cosa.

Einstein, en un principio, denominó a su teoría no como de la relatividad, la llamó teoría de la invariabilidad, para reflejar el carácter invariable de la velocidad de la luz. La obra de Einstein demostró que conceptos tales como espacio y tiempo, que anteriormente parecían estar separados y ser absolutos e inamovibles, en realidad están entrelazados y son relativos. Einstein demostró además que otras propiedades físicas del universo, sorprendentemente también están interrelacionadas. Arriba de esta misma página se reseña su famosa fórmula como uno de los ejemplos más importantes que afirma (y quedó más que demostrado) que E (energía) de un objeto y m (su masa) no están separados y se puede determinar la energía a través de la masa del objeto (multiplicando esta dos veces por la velocidad de la luz, o sea por c^2).

Volvamos a un muón que se desplaza a un 99'999 por ciento de la velocidad de la luz, y su masa se multiplica por 224; a un 99'999 por ciento de la velocidad de la luz se multiplica por un factor que es más de 70.000. Como la masa del muón aumenta sin límite a medida que su velocidad se aproxima a la de la luz, sería necesario un impulso dado con una cantidad infinita de energía para alcanzar o superar la barrera de la velocidad de la luz. Como una cantidad infinita de energía no existe, de nuevo aparece el límite que el universo impone a la velocidad, nada podrá superar la velocidad de la luz. Al menos en este universo que conocemos donde las constantes universales, como la masa del electrón, la constante de estructura fina, o la velocidad de la luz, son como son para que el universo sea como lo conocemos y para que nosotros podamos estar aquí.

Una mínima variación en alguna de estas constantes universales (ver mi libreta penúltima, anterior a la del 09/09/06), seguramente habría impedido que nosotros surgiéramos a la vida en el planeta Tierra.

De esta lectura podemos sacar la conclusión de que nuestra intuición se equivoca: la información que nos transmite se limita al movimiento habitual que es extremadamente lento en comparación con la velocidad de la luz, y estas velocidades tan pequeñas oscurecen el verdadero carácter del espacio y el tiempo que sí revela la relatividad especial en su auténtica naturaleza y demuestra que difieren radicalmente de cualquier concepción previa. Sin embargo, entenderlo no era fácil; nosotros no nos movemos a la velocidad de la luz, así que lo que percibe nuestros sentidos está adecuado a lo que ven. Einstein pronto se percató de esto y también se dio cuenta de que entre las numerosas repercusiones derivadas de la revelación de la relatividad especial, una era especialmente profunda: la afirmación de que nada podía sobrepasar la velocidad de la luz que, por otra parte, resultaba incompatible con la reverenciada teoría de la gravitación universal de Newton. Así la relatividad especial, mientras resolvía un conflicto, hacía surgir otro.

Después de una década de intenso trabajo y profundos y penosos estudios y, digámoslo, con la ayuda del tensor métrico de Riemann, Einstein resolvió el dilema mediante su teoría de la relatividad general. En esta teoría, Einstein una vez más, revolucionaba nuestro modo de comprender el espacio y el tiempo y demostró que éstos se distorsionan y se curvan para transmitir la fuerza de gravedad creada por la presencia de grandes masas como planetas o estrellas y galaxias.

Einstein ganó el premio Nobel de Física por su trabajo sobre el *efecto fotoeléctrico* que le inspiró el trabajo de Max Planck de 1.900, sobre la radiación de energía de cuerpo negro, emitida por paquetes discretos a los que llamó “cuantos”.

En realidad, le tendrían que haber concedido otro Nobel por su teoría de la relatividad especial, tal es su importancia.

Y, desde luego, otro tercer Nobel por su relatividad general; los tres trabajos son de tal profundidad e importancia y tuvieron tanta trascendencia para el mundo de la física y la cosmología que, podemos decir sin temor a equivocarnos, que los tres trabajos cambiaron el transcurso del mundo.

Dos verdades incompatibles

El mundo de la Física tiene planteado un gran problema y los físicos son muy conscientes de ello, conocen su existencia hace décadas. El problema es el siguiente:

Existen dos pilares fundamentales en los cuales se apoya toda la física moderna. Uno es la relatividad general de Albert Einstein, que nos proporciona el marco teórico para la comprensión del universo a una escala máxima: estrellas, galaxias, cúmulos (o clusters) de galaxias, y aún más allá, hasta la inmensa expansión del propio universo.

El otro pilar es la mecánica cuántica, que en un primer momento vislumbro Max Planck y posteriormente fue desarrollada por W. Heisenberg, Schrödinger, el mismo Einstein, Dirac, Niels Bohr y otros, que nos ofrece un marco teórico para comprender el universo en su escala mínima: moléculas, átomos, y así hasta las partículas subatómicas, como los electrones y quarks.

Durante años de investigación, los físicos han confirmado experimentalmente, con una exactitud casi inimaginable, la práctica totalidad de las predicciones que hacen las dos teorías. Sin embargo, estos mismos instrumentos teóricos nos llevan a una conclusión inquietante: tal como se formulan actualmente, la relatividad general y la mecánica cuántica no pueden ser ambas ciertas a la vez.

Nos encontramos con que las dos teorías en las que se basan los enormes avances realizados por la física durante el último siglo (avances que han explicado la expansión de los cielos y la estructura fundamental de la materia) son mutuamente incompatibles. Cuando se juntan ambas teorías, aunque la formulación propuesta parezca lógica, aquello explota; la respuesta es un sinsentido que nos arroja un sin fin de infinitos a la cara.

Así que si tú, lector, no has oído nunca previamente hablar de este feroz antagonismo, te puedes preguntar a qué está debido. No es tan difícil en-

contrar la respuesta. Salvo en algunos casos muy especiales, los físicos estudian cosas que son o bien pequeñas y ligeras (como los átomos y sus partes constituyentes), o cosas que son enormes y pesadas (como estrellas de neutrones y agujeros negros), pero no ambas al mismo tiempo. Esto significa que sólo necesitan utilizar la mecánica cuántica, o la relatividad general, y pueden minimizar el problema que se crea cuando las acercan demasiado; las dos teorías no pueden estar juntas. Durante más de medio siglo, este planteamiento no ha sido tan feliz como la ignorancia, pero ha estado muy cerca de serlo.

No obstante, el universo puede ser un caso extremo. En las profundidades centrales de un agujero negro se aplasta una descomunal masa hasta reducirse a un tamaño minúsculo. En el momento del Bing Bang, la totalidad del universo salió de la explosión de una bolita microscópica cuyo tamaño hace que un grano de arena parezca gigantesco. Estos contextos son diminutos y, sin embargo, tienen una masa increíblemente grande, por lo que necesitan basarse tanto en la mecánica cuántica como en la relatividad general.

Por ciertas razones, las fórmulas de la relatividad general y las de la mecánica cuántica, cuando se combinan, empiezan a agitarse, a traquetear y a tener escapes de vapor como el motor de un viejo automóvil. O dicho de manera menos figurativa, hay en la física preguntas muy bien planteadas que ocasionan esas respuestas sin sentido, a que me referí antes, a partir de la desafortunada amalgama de las ecuaciones de las dos teorías.

Aunque se deseé mantener el profundo interior de un agujero negro y el surgimiento inicial del universo envueltos en el misterio, no se puede evitar sentir que la hostilidad entre la mecánica cuántica y la relatividad general está clamando por un nivel más profundo de comprensión.

¿Puede ser creíble que para conocer el universo en su conjunto tengamos que dividirlo en dos y conocer cada parte por separado? Las cosas grandes una ley, las cosas pequeñas otra.

No creo que eso pueda ser así. Mi opinión es que aún no hemos encontrado la llave que abre la puerta de una teoría cuántica de la gravedad, es decir, una teoría que unifique de una vez por todas las dos teorías más importantes de la física: mecánica cuántica + relatividad general.

La teoría de supercuerdas ha venido a darme la razón. Los intensos trabajos de investigación llevada a cabo durante los últimos 20 años demuestran que puede ser posible la unificación de las dos teorías cuántica y relativista a través de nuevas y profundas matemáticas topológicas que han tomado la dirección de nuevos planteamientos más avanzados y modernos, que pueden explicar la materia en su nivel básico para resolver la tensión existente entre las dos teorías.

En esta nueva teoría de supercuerdas se trabaja en 10 ó en 26 dimensiones, se amplía el espacio ahora muy reducido y se consigue con ello, no sólo el hecho de que la mecánica cuántica y la relatividad general no se rechacen, sino que por el contrario, se necesitan la una a la otra para que esta nueva teoría tenga sentido. Según la teoría de supercuerdas, el matrimonio de las leyes de lo muy grande y las leyes de lo muy pequeño no sólo es feliz, sino inevitable.

Esto es sólo una parte de las buenas noticias, porque además, la teoría de las supercuerdas (abreviando teoría de cuerdas) hace que esta unión avance dando un paso de gigante. Durante 30 años, Einstein se dedicó por entero a buscar esta teoría de unificación de las dos teorías, no lo consiguió y murió en el empeño; la explicación de su fracaso reside en que en aquel tiempo, las matemáticas de la teoría de supercuerdas eran aún desconocidas. Sin embargo, hay una curiosa coincidencia en todo esto, me explico:

Cuando los físicos trabajan con las matemáticas de la nueva teoría de supercuerdas, Einstein, sin que nadie le llame, allí aparece y se hace presente por medio de las ecuaciones de campo de la relatividad general que, como por arte de magia, surgen de la nada y se hacen presentes en la nueva teoría que todo lo unifica y también todo lo explica; posee el poder demostrar que todos los sorprendentes sucesos que se producen en nuestro universo (desde la frenética danza de una partícula subatómica que se llama quark hasta el

majestuoso baile de las galaxias o de las estrellas binarias bailando un vals, la bola de fuego del Big Bang y los agujeros negros) todo está comprendido dentro de un gran principio físico en una ecuación magistral.

Esta nueva teoría requiere conceptos nuevos y matemáticas muy avanzados y nos exige cambiar nuestra manera actual de entender el espacio, el tiempo y la materia. Llevará cierto tiempo adaptarse a ella hasta instalarnos en un nivel en el que resulte cómodo su manejo y su entendimiento. No obstante, vista en su propio contexto, la teoría de cuerdas emerge como un producto impresionante pero natural, a partir de los descubrimientos revolucionarios que se han realizado en la física del último siglo. De hecho, gracias a esta nueva y magnífica teoría, veremos que el conflicto a que antes me refería existente entre la mecánica cuántica y la relatividad general no es realmente el primero, sino el tercero de una serie de conflictos decisivos con los que se tuvieron que enfrentar los científicos durante el siglo pasado, y que fueron resueltos como consecuencia de una revisión radical de nuestra manera de entender el universo.

El primero de estos conceptos conflictivos, que ya se había detectado nada menos que a finales del siglo XIX, está referido a las desconcertantes propiedades del movimiento de la luz.

Isaac Newton y sus leyes del movimiento nos decía que si alguien pudiera correr a una velocidad suficientemente rápida podría emparejarse con un rayo de luz que se esté emitiendo, y las leyes del electromagnetismo de Maxwell decían que esto era totalmente imposible. Einstein, en 1905, vino a solucionar el problema con su teoría de la relatividad especial y a partir de ahí le dio un vuelco completo a nuestro modo de entender el espacio y el tiempo que, según esta teoría, no se pueden considerar separadamente y como conceptos fijos e inamovibles para todos, sino que por el contrario, el espacio-tiempo era una estructura maleable cuya forma y modo de presentarse dependían del estado de movimiento del observador que lo esté midiendo.

El escenario creado por el desarrollo de la relatividad especial construyó inmediatamente el escenario para el segundo conflicto. Una de las con-

clusiones de Einstein es que ningún objeto (de hecho, ninguna influencia o perturbación de ninguna clase) puede viajar a una velocidad superior a la de la luz. Einstein amplió su teoría en 1.915 – relatividad general – y perfeccionó la teoría de la gravitación de Newton, ofreciendo un nuevo concepto de la gravedad que estaba producida por la presencia de grandes masas, tales como planetas o estrellas, que curvaban el espacio y distorsionaban el tiempo.

Tales distorsiones en la estructura del espacio y el tiempo transmiten la fuerza de la gravedad de un lugar a otro. La luna no se escapa y se mantiene ahí, a 400.000 Km de distancia de la Tierra, porque está influenciada por la fuerza de gravedad que ambos objetos crean y los mantiene unidos por esa cuerda invisible que tira de la una hacia la otra y viceversa. Igualmente ocurre con el Sol y la Tierra que, separados por 150 millones de kilómetros, están influidos por esa fuerza gravitatoria que hace girar a la Tierra (y a los demás planetas del Sistema Solar) alrededor del Sol.

Así las cosas, no podemos ya pensar que el espacio y el tiempo sean un telón de fondo inerte en el que se desarrollan los sucesos del universo, al contrario; según la relatividad especial y la relatividad general, son actores que desempeñan un papel íntimamente ligado al desarrollo de los sucesos.

El descubrimiento de la relatividad general, aunque resuelve un conflicto, nos lleva a otro. Durante tres décadas desde 1.900, en que Max Planck publicó su trabajo sobre la absorción o emisión de energía de manera discontinua y mediante paquetes discretos a los que él llamó *cuantos*, los físicos desarrollaron la mecánica cuántica en respuesta a varios problemas evidentes que se pusieron de manifiesto cuando los conceptos de la física del siglo XIX se aplicaron al mundo microscópico. Así que el tercer conflicto estaba servido, la incompatibilidad manifiesta entre relatividad general y mecánica cuántica.

La forma geométrica ligeramente curvada del espacio que aparece a partir de la relatividad general, es incompatible con el comportamiento microscópico irritante y frenético del universo que se deduce de la mecánica

cuántica, lo cual era sin duda alguna el problema central de la física moderna.

Las dos grandes teorías de la física, la relatividad general y la mecánica cuántica, infalibles y perfectas por separado, no funcionaban cuando tratábamos de unirlas, eran incompatibles.

Entonces llegó la nueva teoría que siguió a la de supersimetría y supergravedad que no dieron la talla. Sin embargo, la teoría de supercuerdas, según todos los indicios, es una candidata muy firme para que de una vez por todas queden unificadas la relatividad general de Einstein y la mecánica cuántica de Planck y otros.

La solución que ofrece la teoría de cuerdas data de mediados de la década de los ochenta. Además, la teoría de cuerdas se construye sobre la relatividad general y sobre la relatividad especial y a partir de la teoría de Kaluza–Klein* que vino a imponer el concepto de más dimensiones; además de las tres de espacio y una de tiempo cotidianas, otras dimensiones permanecen enrolladas como espacios arrugados que no se desarrollaron, como las tras que conocemos en el mundo ordinario, y quedaron retenidos en el límite de Planck. Son como estructuras plegadas del cosmos, dimensiones que existen y que por razones que no conocemos, no llegaron a desplegarse en el instante primero del Big Bang y permanecen ahí ocultas a nuestra vista.

La teoría de cuerdas, en realidad, es la historia del espacio y el tiempo desde Einstein en adelante. Físicos modernos y avanzados como el famoso “cuarteto de cuerdas” de Princeton, capitaneados por Gross, trabajaron en la teoría de cuerdas ya elaborada antes por otros y la perfeccionaron con la versión de la *cuerda heterótica*, muy bien elaborada y de amplios y nuevos conceptos.

La última versión y más avanzada de la teoría de supercuerdas, es la conocida como la teoría M de E. Witten (también de Princeton), que lleva la

* Teoría de Kaluza de 5 dimensiones, 4 de espacio y una de tiempo. Una de espacio está enrollada en el límite de Planck.

M de mágica dada su perfección de planteamientos que han llevado a esta teoría a unas alturas del conocimiento científico de la física y de las matemáticas que están al alcance de pocos el poder comprender plenamente.

La teoría de cuerdas profundiza mucho más en la materia y en las fuerzas fundamentales, llega mucho más allá en el conocimiento de las cosas y en ella están los átomos, los electrones, los protones y neutrones, los quarks... y las “cuerdas”.

En realidad, según esta nueva teoría, si pudiéramos observar con aparatos más perfeccionados de los que tenemos actualmente la verdadera estructura de la materia, veríamos que además de los pequeños quarks, existen otros minúsculos filamentos que como **cuerdas** vibran, oscilan y bailan como elásticos de goma infinitamente delgados.

En los tiempos de Einstein no se había descubierto aun la fuerza nuclear fuerte y la fuerza nuclear débil, pero él opinaba que la existencia de dos fuerzas distintas (la gravedad y el electromagnetismo) era profundamente preocupante. A Einstein le costaba admitir que la naturaleza se basara en un modelo tan extravagante. Esta opinión le llevó a ese viaje de treinta años en los que, infructuosamente, buscó una teoría unificada de campos demostrativa de que todo se basaba en un único principio.

Einstein quedó aislado en esta búsqueda quijotesca que lo apartó de la corriente principal y más viva de la física que, por aquel entonces, estaba más interesada en profundizar en el marco de la mecánica cuántica, surgida con fuerza en aquellos años.

En el comienzo de la década de los 40, Einstein escribía a un amigo: *“Me he convertido en un tipo viejo y solitario que es conocido principalmente por no usar calcetines y al que exhiben como una curiosidad en ocasiones especiales”*.

Lo que sucedía era que Einstein, sencillamente, como había hecho en otras ocasiones, se estaba adelantando con su visión de futuro a su época.

Más de un siglo después, su sueño de una teoría unificada se ha convertido en el Santo Grial de la física moderna. Los físicos-matemáticos más prestigiosos del mundo están convencidos de que en la teoría de cuerdas puede estar la respuesta al sueño de Einstein que él no pudo alcanzar porque, entre otras razones, en su tiempo no se conocían las matemáticas que son necesarias para plasmarla. Incluso ahora, a principios del siglo XXI en que la teoría está muy avanzada, son necesarias matemáticas que aún nadie es capaz de inventar para llegar al fondo de la esperada respuesta final.

¿Estará la respuesta escondida en las funciones modulares de los cuadernos perdidos de Ramanujan?

Ante todo estos planteamientos que tratan los cerebros más privilegiados del mundo para descubrir el misterio final del universo, la materia, el espacio-tiempo y las fuerzas fundamentales que interaccionan con las partículas fundamentales o elementales de las que todo está hecho, nos podríamos parar a pensar y preguntarnos:

¿Es posible que las maravillas de la vida y del universo sean meros reflejos de unas partículas microscópicas implicadas en una danza sin sentido, totalmente coreografiados por las leyes de la física?

¿Es realmente posible que los sentimientos de alegría, pena, aburrimiento, curiosidad, ansias de saber o de amar no sean más que unas reacciones químicas que tienen lugar en el cerebro, unas reacciones entre moléculas y átomos que, yendo a un nivel aún más microscópico, son reacciones entre algunas de las partículas que llamamos elementales y más profundamente aún, todo sea debido en su origen a unas infinitesimales cuerdas vibrantes?

Yo desde luego no tengo el talento necesario ni los conocimientos requeridos para contestar a estas preguntas de una manera clara y precisa y con todo lujo de detalles. Sin embargo, por lo poco que sé, pocas dudas me pueden acechar sobre una cosa para mí muy cierta.

Formamos parte del universo y estamos hechos por los materiales complejos que sólo se pueden formar en las estrellas. El polvo estelar de supernova que hizo posible nuestra existencia se formaría, seguramente, hace miles de millones de años en estrellas situadas a miles o millones de años luz de distancia.

Toda la materia conocida está formada por los quarks que forman protones y neutrones que forman los núcleos que al ser rodeados por los electrones, componen los átomos, que al unirse dan lugar a células, que juntas conforman la materia.

Así también estamos formados todos nosotros, que con esos materiales complejos y en unas condiciones muy especiales de un planeta Tierra primitivo, bombardeado por enormes tormentas, acribillado por rayos y partículas y radiaciones cósmicas como las ultravioletas y gamma, en los océanos y mares primigenios y en una enrarecida atmósfera, surgió la primera célula que fue capaz de multiplicarse para que miles de años y de millones de años después, tras una larga y penosa evolución, apareciéramos nosotros, unos seres capaces de pensar y de tener conciencia de su propia existencia, buscar en sus orígenes y mirar en su futuro, sentir unos sentimientos muy profundos que nos elevan a una categoría muy por encima de todas las demás cosas conocidas y, en este punto, tras toda esta larga reflexión, yo mismo me digo que sí, la ciencia nos demuestra que aunque nos parezca mentira, aunque lo clasifiquemos como “milagro”, todos nosotros, a pesar de estar dotados de esos sentimientos, estamos hecho de ese mismo ingrediente que llamamos materia formada por partículas diminutas que a partir de algo inanimado e inerte, dio lugar a lo que somos ahora.

¡Todo lo grande está formado de cosas pequeñas!

Algunos quieren encontrar las respuestas en la religión que como todos sabemos es cosa de fe. Creer en aquello que no podemos ver ni comprobar no es precisamente el camino de la ciencia que empieza por imaginar, después conjeturar, más tarde teorizar, se comprueba una y mil veces la teoría aceptada a medias y sólo cuando todo está amarrado y bien atado, todas esas

fases pasan a la categoría de una ley o norma que se utiliza para continuar investigando en la buena dirección.

Otros han sido partidarios de la teoría del caos y argumentan que a medida que el nivel de complejidad de un sistema aumenta, entran en juego nuevos tipos de leyes. Entender el comportamiento de un electrón o un quark es una cosa; utilizar este conocimiento para comprender el comportamiento de un tornado es otra muy distinta. La mayoría está de acuerdo con este aspecto. Sin embargo, las opiniones divergen con respecto a si los fenómenos diversos y a veces inesperados que pueden darse en sistemas más complejos que las partículas individuales son realmente representativos del funcionamiento de los nuevos principios de la física, o si los principios implicados son algo derivado y están basados, aunque sea de un modo terriblemente complicado, en los principios físicos que gobiernan el ingente número de componentes elementales del universo.

Casi todo el mundo está de acuerdo en que el hallazgo de la Gran Teoría Unificada (teoría del Todo), no significaría de modo alguno que la psicología, la biología, la geología, la química, y también la física, hubieran resuelto todos sus problemas.

El universo es un lugar tan maravilloso, rico y complejo que el descubrimiento de una teoría final, en el sentido en el que esta planteada la teoría de supercuerdas, no supondría de modo alguno el fin de la ciencia ni podríamos decir que ya lo sabemos todo y para todo tendremos respuestas. Más bien será, cuando llegue, todo lo contrario: el hallazgo de esa teoría de Todo (la explicación completa del universo en su nivel más microscópico, una teoría que no estaría basada en ninguna explicación más profunda) nos aportaría un fundamento mucho más firme sobre el que podríamos construir nuestra comprensión del mundo y, a través de estos nuevos conocimientos, estaríamos preparados para comenzar nuevas empresas de metas que, en este momento, nuestra ignorancia no nos dejan ni vislumbrar. La nueva teoría de Todo nos proporcionaría un pilar inmutable y coherente que nos daría la llave para seguir explorando un universo más comprensible y por lo tanto, más seguro, ya que el peligro siempre llega de lo imprevisto, de lo desconocido.

cido que surge sin aviso previo; cuando conocemos bien lo que puede ocurrir nos preparamos para evitar daños.

La búsqueda de esa teoría final que nos diga cómo es el universo, el tiempo y el espacio, la materia y los elementos que la conforman, las fuerzas fundamentales que interaccionan, las constantes universales y en definitiva, una formulación matemática o conjunto de ecuaciones de las que podamos obtener todas las respuestas, es una empresa nada fácil y sumamente complicada; la teoría de cuerdas es una estructura teórica tan profunda y complicada que incluso con los considerables progresos que ha realizado durante los últimos décadas, aún nos queda un largo camino antes de que podamos afirmar que hemos logrado dominarla completamente. Se podría dar el caso de que el matemático que encuentre las matemáticas necesarias para llegar al final del camino, aún no sepa ni multiplicar y esté en primaria en cualquier escuela del mundo civilizado.

Muchos de los grandes científicos del mundo (Einstein entre ellos), aportaron su trabajo y conocimientos en la búsqueda de esta teoría, no consiguieron su objetivo pero sí dejaron sus ideas para que otros continuaran la carrera hasta la meta final. Por lo tanto, hay que considerar que la teoría de cuerdas es un trabajo iniciado a partir de las ecuaciones de campo de la relatividad general de Einstein, de la mecánica cuántica de Planck, de las teorías gauge de campos, de la teoría de Kaluza–Klein, de las teorías de... hasta llegar al punto en el que ahora estamos.

La armoniosa combinación de la relatividad general y la mecánica cuántica es un éxito muy importante. Además, a diferencia de lo que sucedía con teorías anteriores, la teoría de cuerdas tiene la capacidad de responder a cuestiones primordiales que tienen relación con las fuerzas y los componentes fundamentales de la naturaleza.

Igualmente importante, aunque algo más difícil de expresar, es la notable elegancia tanto de las respuestas que propone la teoría de cuerdas, como del marco en que se generan dichas respuestas. Por ejemplo, en la teoría de cuerdas muchos aspectos de la naturaleza que podrían parecer detalles técnicos arbitrarios (como el número de partículas fundamentales distintas y sus

propiedades respectivas) surgen a partir de aspectos esenciales y tangibles de la geometría del universo. Si la teoría de cuerdas es correcta, la estructura microscópica de nuestro universo es un laberinto multidimensional ricamente entrelazado, dentro del cual las cuerdas del universo se retuerzen y vibran en un movimiento infinito, marcando el ritmo de las leyes del cosmos.

Lejos de ser unos detalles accidentales, las propiedades de los bloques básicos que construyen la naturaleza están profundamente entrelazadas con la estructura del espacio-tiempo.

Claro que, siendo todos los indicios muy buenos, para ser serios, no podemos decir aún que las predicciones sean definitivas y comprobables para estar seguros de que la teoría de cuerdas ha levantado realmente el velo de misterio que nos impedía ver las verdades más profundas del universo, sino que con propiedad se podría afirmar que se ha levantado uno de los picos de ese velo y nos permite vislumbrar algo de lo que nos podríamos encontrar.

La teoría de cuerdas, aunque en proceso de elaboración, ya ha contribuido con algunos logros importantes y ha resuelto algún que otro problema primordial como por ejemplo, uno relativo a los agujeros negros, asociado con la llamada entropía de Bekenstein–Hawking, que se había resistido pertinazmente durante más de veinticinco años a ser solucionada con medios más convencionales. Este éxito ha convencido a muchos de que la teoría de cuerdas está en el camino correcto para proporcionarnos la comprensión más profunda posible sobre la forma de funcionamiento del universo, que nos abriría las puertas para penetrar en espacios de increíble belleza y de logros y avances tecnológicos que ahora ni podemos imaginar.

Como he podido comentar en otras oportunidades, Edward Witten, uno de los pioneros y más destacados experto en la teoría de cuerdas, autor de la versión más avanzada y certera, conocida como teoría M, resume la situación diciendo que: *“la teoría de cuerdas es una parte de la física que surgió casualmente en el siglo XX, pero que en realidad era la física del siglo XXI”*.

Witten, un físico-matemático de mucho talento, máximo exponente y punta de lanza de la teoría de cuerdas, reconoce que el camino que está por recorrer es difícil y complicado. Habrá que desvelar conceptos que aún no sabemos que existen.

El hecho de que nuestro actual nivel de conocimiento nos haya permitido obtener nuevas perspectivas impactantes en relación con el funcionamiento del universo es ya en sí mismo muy revelador y nos indica que podemos estar en el buen camino revelador de la rica naturaleza de la teoría de cuerdas y de su largo alcance. Lo que la teoría nos promete obtener es un premio demasiado grande como para no insistir en la búsqueda de su conformación final.

El universo, la cosmología moderna que hoy tenemos, es debida a la teoría de Einstein de la relatividad general y las consecuencias obtenidas posteriormente por Alexandre Friedmann. El Big Bang, la expansión del universo, el universo plano y abierto o curvo y cerrado, la densidad crítica y el posible Big Crunch.

Un comienzo y un final que abarcará miles y miles de millones de años de sucesos universales a escalas cosmológicas que, claro está, nos afectará a nosotros, insignificantes mortales habitantes de un insignificante planeta, en un insignificante sistema solar creado por una insignificante y común estrella.

Pero... ¿somos en verdad tan insignificantes?

Los logros alcanzados hasta el momento parecen desmentir tal afirmación, el camino recorrido por la humanidad no ha sido nada fácil, los inconvenientes y dificultades vencidas, las luchas, la supervivencia, el aprendizaje por la experiencia primero y por el estudio después, el proceso de humanización (aún no finalizado), todo eso y más nos dice que a lo mejor, es posible, pudiera ser que finalmente, esta especie nuestra pudiera tener un papel importante en el conjunto del universo. De momento y por lo pronto ya es

un gran triunfo el que estemos buscando respuestas escondidas en lo más profundo de las entrañas del cosmos.

Tengo la sensación muy particular, una vez dentro de mi cabeza, un mensaje que no sé de dónde pero que llega a mi mente que me dice de manera persistente y clara que no conseguiremos descubrir plenamente esa ansiada teoría del todo, hasta tanto no consigamos dominar la energía de Planck que hoy por hoy, es inalcanzable y sólo un sueño.

En mecánica cuántica es corriente trabajar con la constante de Planck racionalizada, ($\hbar = h/2\pi = 1'054589 \times 10^{-34}$ Julios/segundo), con su ley de radiación ($I_v = 2hc^2v^3/[\exp(hv/KT)-1]$), con la longitud de Planck, ($L_p = \sqrt{(G\hbar/c^3)}$), con la masa de Planck denotada $m_p = \sqrt{(\hbar c/G)}$.

Todo lo anterior son herramientas de la mecánica cuántica que en su conjunto son conocidas como unidades de Planck, que como su mismo nombre indica son un conjunto de unidades, usado principalmente en teorías cuánticas de la gravedad, en que longitud, masa y tiempo son expresadas en múltiplos de la longitud, masa y tiempo de Planck, respectivamente. Esto es equivalente a fijar la constante gravitacional (G), como la velocidad de la luz (c), y la constante de Planck racionalizada (\hbar) iguales todas a la unidad. Todas las cantidades que tienen dimensiones de longitud, masa y tiempo se vuelven adimensionales en unidades de Planck. Debido a que en el contexto donde las unidades de Planck son usadas es normal emplear unidades gaussianas o unidades de Heaviside–Lorentz para las cantidades electromagnéticas, éstas también se vuelven adimensionales, lo que por otra parte ocurre con todas las unidades naturales. Un ejemplo de esta curiosidad de adimensionalidad, está presente en la constante de estructura fina ($2\pi e^2/hc$) de valor 137 (número adimensional) y cuyo símbolo es la letra griega α (alfa).

Estas unidades de Planck nos llevan a la cosmología del nacimiento del universo y nos proporciona un marco elegante, coherente y manejable mediante cálculos para conocer el universo remontándonos a los primeros momentos más breves posteriores a la explosión o Big Bang. El tiempo de Planck por ejemplo, expresado por $T_p = \sqrt{(G\hbar/c^5)}$, tiene un valor del orden

de 10^{-43} segundos, o lo que es lo mismo, el tiempo que pasó desde la explosión hasta el tiempo de Planck fue de:

0,000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.001 de 1 segundo. En la fórmula, G es la constante universal de Newton, \hbar es la constante de Planck racionalizada y c es la velocidad de la luz.

Es una unidad de tiempo infinitesimal, como lo es el límite de Planck que se refiere al espacio recorrido por un fotón (que viaja a la velocidad de la luz) durante una fracción de tiempo de ínfima duración y que es de 0,000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.001 de cm.

Hasta tal punto llegan los físicos en sus cálculos para tratar de adecuar los conocimientos a la realidad por medio del experimento.

Sin embargo, cuando hablamos de estas unidades tan pequeñas, no debemos engañarnos. Precisamente, para tratar de llegar hasta esos límites tan profundos se necesitan máquinas que desarrollan inmensas energías: los aceleradores de partículas, que como el Fermilab o el CERNE, han facilitado a los físicos experimentadores entrar en las entrañas de la materia y descubrir muchos de los secretos antes tan bien guardados.

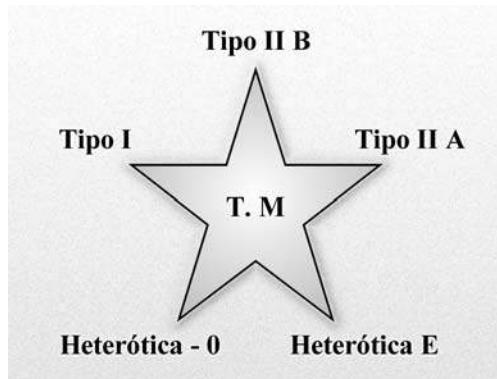
Desgraciadamente, aún no se han fabricado aceleradores tan potentes como para poder detectar la partícula de Higgs, esa partícula responsable de proporcionar masa a todas las demás partículas. Y, por supuesto, más lejos queda la posibilidad de que podamos construir un acelerador que pudiera alcanzar la energía de Planck, del orden de 10^{19} eV ($1 \text{ eV} = 10^{-19}$ julios) = $1'60210 \times 10^{-19}$. Hoy por hoy, ni nuestra tecnología ni todos los recursos que tenemos disponibles si empleáramos todo el presupuesto bruto de todos los países del globo unidos, ni así digo, podríamos alcanzar esta energía necesaria para comprobar experimentalmente la existencia de “cuerdas” vibrantes que confirmen la teoría de Todo.

Ante tal imposibilidad material, los físicos y matemáticos continúan por el camino de la teórica y de las comprobaciones indirectas que, aunque mucho más lenta, está dando muy buenos resultados.

La teoría de supercuerdas que pretende explicarlo todo es muy compleja y se han encontrado cinco versiones distintas.

Todas estas versiones: tipo I, tipo IIA, tipo IIB, heterótica 0 (32) y heterótica $E_8 \times E_8$, en realidad son partes de una sola teoría que las une a todas y que provisionalmente se ha dado en llamar teoría M.

Aunque todavía queda mucho trabajo por hacer, hay dos características esenciales de la teoría M que los físicos todavía no han descubierto. En primer lugar, la teoría M tiene once dimensiones (diez espaciales y una temporal). Más o menos del mismo modo que Kaluza descubrió que una dimensión espacial adicional permitía realizar una fusión inesperada de la relatividad general y el electromagnetismo (Einstein–Maxwell), los especialistas en teoría de cuerdas han constatado que una dimensión espacial adicional dentro de dicha teoría (la teoría de cuerdas normal tiene nueve dimensiones de espacio y una de tiempo), permite realizar una síntesis profundamente satisfactoria de las cinco versiones de esta teoría.



Los resultados de la segunda revolución de las supercuerdas han demostrado que las 5 teorías de cuerdas forman parte de un solo marco unificado, llamado Teoría M.

Además, esta dimensión espacial adicional no está tirada de los pelos, al contrario; los expertos en teoría de cuerdas que con 11 dimensiones todos los razonamientos anteriores son exactas y que así se pueden completar, demostrando que la dimensión número 11 había pasado desapercibido hasta ahora.

La segunda característica que se ha descubierto respecto a la teoría M es el hecho de que contiene cuerdas vibratorias, pero también incluye otros objetos: membranas vibratorias bidimensionales, burbujas tridimensionales que se ondulan (llamadas “tri-branas”) y además una gran cantidad de otros ingredientes diversos. Como sucede con la undécima dimensión, esta característica de la teoría M se pone de manifiesto cuando los cálculos se liberan de su dependencia de las aproximaciones utilizadas allá por la década de 1.990.

Aparte de estas y otras varias ideas a las que se ha llegado recientemente, gran parte de la verdadera naturaleza de la teoría M sigue siendo un misterio. En realidad, la teoría M de cuerdas es el principal reto que tienen planteado los físicos del siglo XXI, con Edward Witten a la cabeza de todos, abriendo la marcha de un profundo y complejo entramado de conocimientos que, según se cree, nos puede llevar al origen del universo mismo, explicando todos aquellos puntos oscuros que ahora no sabemos comprender y uniendo todas las fuerzas en una sola ecuación maravillosa que responda a todo lo que le podamos preguntar.

Resumiendo

Como en mis anteriores trabajos, en el presente he tratado de comentar aquellos temas que pueden ser de interés para el lector, procurando que los conceptos y la terminología empleada sea la más sencilla y comprensible para todos.

Se comentó sobre:

- El universo.
- La mecánica cuántica.
- La velocidad de la luz, límite de la velocidad del universo.
- La curvatura del espacio.
- La distorsión del tiempo.
- Relatividad especial y general.
- Unidades de Planck.
- Los tipos de universos posibles, según densidad crítica.
- La masa y la energía en $E = mc^2$.
- De cómo se puede parar el tiempo mediante la velocidad.
- Quarks, hadrones y leptones.
- La confinación de los quarks.
- Las fuerzas fundamentales.
- Mesones: partículas mediadoras en las interacciones.
- Estrellas: de neutrones y agujeros negros.
- Entropía.
- Galaxias. Grupo Local. Unidades de distancias cosmológicas.
- Teoría de supercuerdas y Teoría M.

Además de otros temas relacionadas con la física y la astronomía que he procurado exponer de una forma amena y sobre todo, interesante.

Se cierra este cuaderno con un comentario final relativo a la última y más avanzada de las distintas modalidades de la teoría de supercuerdas: la Teoría M.

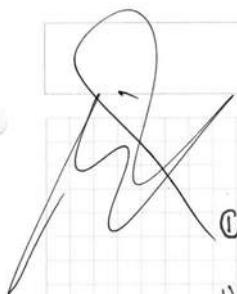
La teoría M, de once dimensiones, significa tantas cosas como queramos y tantas respuestas como preguntas podamos formular:

- ❖ Teoría del Misterio.
- ❖ Teoría Matriz.
- ❖ Teoría Mágica.
- ❖ Teoría Madre.
- ❖ Teoría de la Membrana que vibra.

Aquí dentro, en la teoría M, caben sin crear conflictos las teorías de Max Planck y de Einstein. Se explican los campos de Yang–Mills, están presentes las teorías gauge, el electromagnetismo de Maxwell, la luz de la relatividad especial, todas las fuerzas del universo, el Modelo Estándar con todas sus partículas y los quarks de Murria–Gell-Mann y, en definitiva, la teoría M ambiciona tener dentro y explicar todo el universo y lo que dentro de él sucede.

El Autor.

Huelva, 10 de Octubre de 2.007



La expansión del Universo La expansión de la mente



Cosmos, Constante gravitacional y Consciencia..-

Una parte de la ciencia estudia la estructura y la evolución del Universo: La cosmología.

La cosmología observational se ocupa de las propiedades físicas del Universo, como su composición física referida a la química, la velocidad de expansión y su densidad, además de la distribución de Galaxias y cúmulos de galaxias. La cosmología física intenta comprender estas propiedades aplicando las leyes conocidas de la física y de la astrophísica. La cosmología teórica construye modelos que dan una descripción matemática de las propiedades observadas del Universo basadas en esta comprensión física.

La cosmología también tiene aspectos filosóficos, o incluso teológicos, en el sentido de que trata de comprender por qué el Universo tiene las propiedades observadas.

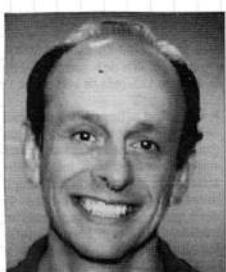
La cosmología teórica se basa en la teoría de la relatividad general, la teoría de Einstein de la gravedad. De todas las fuerzas de la naturaleza, la gravedad es la que tiene efectos más intensos a grandes escalas y domina el comportamiento del Universo en su conjunto.

El espacio-tiempo, la materia contenida en el Universo con la fuerza gravitatoria que genera y, nuestras mentes que tienen conocimientos de que todo ésto sucede.

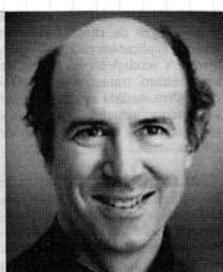


nuestro Universo, las constantes de la Naturaleza y las fuerzas fundamentales, algo que ya está más cerca gracias al trabajo de estos tres científicos estadounidenses.

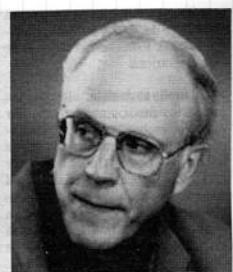
Hace más de treinta años que Gross, Politzer y Wilczek desvelaron el exiguo y fuerte arraigamiento de la interacción fuerte, una de las cuatro fuerzas fundamentales que rigen el Universo, y que actúa como un pegamento cósmico para mantener unida la materia. Su trabajo reveló como los quarks, las diminutas partículas que forman los nucleos de los átomos, interactúan entre sí para mantenerse unidos.



David Politzer



Frank Wilczek



David Gross

Las fuerzas que podemos sentir en la vida cotidiana, es decir, la Gravedad y el electromagnetismo, aumentan con la cercanía; así, cuanto más cerca está un clavo de un imán o una manzana del suelo, más se verán atraídos. Por el contrario, la interacción fuerte disminuye cuanto más cerca y juntas estén las partículas en el interior de los átomos.

LA EXPANSIÓN DEL UNIVERSO, LA EXPANSIÓN DE LA MENTE.

CAPÍTULO I

Cosmos, Constante gravitacional y Consciencia:

Una parte de la ciencia estudia la estructura y la evolución del universo: la cosmología.

La cosmología observational se ocupa de las propiedades físicas del universo, como su composición física referida a la química, la velocidad de expansión y su densidad, además de la distribución de galaxias y cúmulos de galaxias. La cosmología física intenta comprender estas propiedades aplicando las leyes conocidas de la física y de la astrofísica. La cosmología teórica construye modelos que dan una descripción matemática de las propiedades observadas del universo basadas en esta comprensión física.

La cosmología también tiene aspectos filosóficos, o incluso teológicos, en el sentido de que trata de comprender por qué el universo tiene las propiedades observadas.

La cosmología teórica se basa en la teoría de la relatividad general, la teoría de Einstein de la gravitación. De todas las fuerzas de la naturaleza, la gravedad es la que tiene efectos más intensos a grandes escalas y domina el comportamiento del universo en su conjunto.

El espacio-tiempo, la materia contenida en el universo con la fuerza gravitatoria que genera, y nuestras mentes que tienen conocimientos de que todo esto sucede.

De manera que nuestro consciente (sentimos, pensamos, queremos obrar con conocimiento de lo que hacemos), es el elemento racional de nuestra personalidad humana que controla y reprime los impulsos del inconsciente, para desarrollar la capacidad de adaptación al mundo exterior.

Al ser conscientes, entendemos y aplicamos nuestra razón natural para clasificar los conocimientos que adquirimos mediante la experiencia y el estudio que aplicamos a la realidad del mundo que nos rodea.

Claro que no todos podemos percibir la realidad de la misma manera; las posibilidades existentes de que el conocimiento de esa realidad responda exactamente a lo que ésta es en sí, no parece fácil.

Descartes, Leibniz, Locke, Berkeley, Hume (que influyó decisivamente en Kant), entre otros, construyeron una base que tomó fuerza en Kant, para quien el conocimiento arranca o nace de nuestras experiencias sensoriales, es decir, de los datos que nos suministra nuestros cinco sentidos, pero no todo en él procede de esos datos. Hay en nosotros dos fuentes o potencias distintas que nos capacitan para conocer y son la sensibilidad (los sentidos) y el entendimiento (inteligencia). Esta no puede elaborar ninguna idea sin los sentidos, pero éstos son inútiles sin el entendimiento.

A todo esto, para mí, el conocimiento está inducido por el interés. La falta y ausencia de interés aleja el conocimiento. El interés puede ser de distinta índole: científico, social, artístico, filosófico, etc. La gama es tan amplia que existen conocimientos de todas las posibles vertientes o direcciones, hasta tal punto es así que nunca nadie lo podrá saber todo sobre todo. Cada uno de nosotros puede elegir sobre los conocimientos que prefiere adquirir y la elección está adecuada a la conformación individual de la sensibilidad e inteligencia de cada cual. Allí, en alguna parte, está el germe del interés-curiosidad de cada cual.

También se da el caso de personas que prácticamente por cuestiones genéticas o de otra índole, carecen de cualquier interés por el conocimiento del mundo que les rodea, sus atributos sensoriales y de inteligencia funcionan a tan bajo rendimiento que sus comportamientos son casi-animales (en el sentido de la falta de racionalidad); son guiados por la costumbre y las necesidades primarias: comer, dormir...

El polo opuesto lo encontramos en múltiples ejemplos de la historia de la ciencia, donde personajes como Newton, Einstein, Riemann, Ramanujan y tantos otros (cada uno en su ámbito del conocimiento), dejaron la muestra al mundo de su genio superior.

Pero toda la realidad está encerrada en una enorme burbuja a la que llamamos universo y que encierra todos los misterios y secretos que nosotros, seres racionales y conscientes, perseguimos.

Todo el mundo sabe lo que es la conciencia; es lo que nos abandona cada noche cuando nos dormimos y reaparece a la mañana siguiente cuando nos despertamos. Esta engañosa simplicidad me recuerda lo que William James escribió a finales del siglo XIX sobre la atención: “*Todo el mundo sabe lo que es la atención; es la toma de posesión por la mente de una forma clara e intensa, de un hilo de pensamiento de entre varios simultáneamente posibles*”. Más de cien años más tarde somos muchos los que creamos que seguimos sin tener una comprensión de fondo ni de la atención, ni de la conciencia que, desde luego, no creo que se marche cuando dormimos; ella no nos deja nunca.

La falta de comprensión ciertamente no se debe a una falta de atención en los círculos filosóficos o científicos. Desde que René Descartes se ocupara del problema, pocos han sido los temas que hayan preocupado a los filósofos tan persistentemente como el enigma de la conciencia.

Para Descartes, como para James más de dos siglos después, ser consciente era sinónimo de “pensar”: el hilo de pensamiento de James no era otra cosa que una corriente de pensamiento. El *cogito ergo sum*, “pienso, luego existo”, que formuló Descartes como fundamento de su filosofía en *Meditaciones de prima philosophia*, era un reconocimiento explícito del papel central que representaba la conciencia con respecto a la ontología (qué es) y la epistemología (qué conocemos y cómo lo conocemos).

Claro que tomado a pie juntillas, “soy consciente, luego existo”, nos conduce a la creencia de que nada existe más allá o fuera de la propia conciencia y, por mi parte, no estoy de acuerdo. Existen muchísimas cosas y hechos que no están al alcance de mi conciencia. Unas veces por imposibilidad física y otras por imposibilidad intelectual, lo cierto es que son muchas las cuestiones y las cosas que están ahí y, sin embargo, se escapan a mi limitada conciencia.

Todo el entramado existente alrededor de la conciencia es de una complejidad enorme, de hecho, conocemos mejor el funcionamiento del universo que el de nuestros propios cerebros.

¿Cómo surge la conciencia como resultado de procesos neuronales particulares y de las interacciones entre el cerebro, el cuerpo y el mundo?

¿Cómo pueden explicar estos procesos neuronales las propiedades esenciales de la experiencia consciente?

Cada uno de los estados conscientes es unitario e indivisible, pero al mismo tiempo cada persona puede elegir entre un número ingente de estados conscientes distintos.

Muchos han sido los que han querido explicar lo que es la conciencia. En 1.940, el gran neurofisiólogo Charles Sherrington lo intentó y puso un ejemplo de lo que él pensaba sobre el problema de la conciencia. Unos pocos años más tarde también lo intentaron otros, y antes, el mismo Bertrand Russell hizo lo propio, y en todos los casos, con más o menos acierto, el resultado no fue satisfactorio por una sencilla razón: nadie sabe a ciencia cierta lo que en verdad es la conciencia y cuales son sus verdaderos mecanismos; de hecho, Russell expresó su escepticismo sobre la capacidad de los filósofos para alcanzar una respuesta:

“Suponemos que un proceso físico da comienzo en un objeto visible, viaja hasta el ojo donde se convierte en otro proceso físico en el nervio óptico y, finalmente, produce algún efecto en el cerebro al mismo tiempo que vemos el objeto donde se inició el proceso; pero este proceso de ver es algo “mental”, de naturaleza totalmente distinta a la de los procesos físicos que lo preceden y acompañan. Esta concepción es tan extraña que los metafísicos han inventado toda suerte de teorías con el fin de sustituirla con algo menos increíble”.

Está claro que en lo más profundo de esta conciencia que no conocemos, se encuentran todas las respuestas planteadas o requeridas mediante preguntas que nadie ha contestado.

Al comienzo mencionaba el cosmos y la gravedad junto con la conciencia y, en realidad, con más o menos acierto, lo que estaba tratando era hacer ver que todo ello es la misma cosa: universo-galaxia-mente. Nada es independiente en un sentido global, sino que son partes de un todo y están estrechamente relacionados.

Una galaxia es simplemente una parte pequeña del universo, nuestro planeta es una mínima fracción infinitesimal de esa galaxia, y nosotros mismos podríamos ser comparados (en relación a la inmensidad del cosmos) con una colonia de bacterias pensantes e inteligentes. Sin embargo, todo forma parte de lo mismo, y aunque pueda dar la sensación engañosa de una

cierta autonomía, en realidad todo está interconectado y el funcionamiento de una cosa incide directamente en las otras.

Pocas dudas pueden caber a estas alturas del hecho de que poder estar hablando de estas cuestiones, es un milagro en sí mismo.

Después de millones y millones de años de evolución, se formaron las conciencias primarias que surgieron en los animales con ciertas estructuras cerebrales de alta complejidad, que podían ser capaces de construir una escena mental, pero con capacidad semántica o simbólica muy limitada y careciendo de un verdadero lenguaje.

La conciencia de orden superior (que floreció en los humanos y presupone la coexistencia de una conciencia primaria) viene acompañada de un sentido de la propia identidad y de la capacidad explícita de construir en los estados de vigilia escenas pasadas y futuras. Como mínimo, requiere una capacidad semántica y, en su forma más desarrollada, una capacidad lingüística.

Los procesos neuronales que subyacen en nuestro cerebro son en realidad desconocidos, y aunque son muchos los estudios y experimentos que se están realizando, su complejidad es tal que de momento los avances son muy limitados. Estamos tratando de conocer la máquina más compleja y perfecta que existe en el universo.

Si eso es así, resultará que después de todo no somos tan insignificantes como en un principio podría parecer, y sólo se trata de tiempo. En su momento y evolucionadas, nuestras mentes tendrán un nivel de conciencia que estará más allá de las percepciones físicas tan limitadas. Para entonces sí estaremos totalmente integrados y formando parte, como un todo, del universo que ahora presentimos.

El carácter especial de la conciencia me hace adoptar una posición que me lleva a decidir que no es un objeto, sino un proceso, y que desde este

punto de vista puede considerarse un ente digno del estudio científico perfectamente legítimo.

La conciencia plantea un problema especial que no se encuentra en otros dominios de la ciencia. En la física y en la química se suelen explicar unas entidades determinadas en función de otras entidades y leyes. Podemos describir el agua con el lenguaje ordinario, pero podemos igualmente describir el agua, al menos en principio, en términos de átomos y de leyes de la mecánica cuántica. Lo que hacemos es conectar dos niveles de descripción de la misma entidad externa (uno común y otro científico de extraordinario poder explicativo y predictivo, ambos niveles de descripción), el agua líquida, o una disposición particular de átomos que se comportan de acuerdo con las leyes de la mecánica cuántica (se refiere a una entidad que está fuera de nosotros y que supuestamente existe independientemente de la existencia de un observador consciente).

En el caso de la conciencia, sin embargo, nos encontramos con una simetría. Lo que intentamos no es simplemente comprender de qué manera se puede explicar las conductas o las operaciones cognitivas de otro ser humano en términos del funcionamiento de su cerebro, por difícil que esto parezca. No queremos simplemente conectar una descripción de algo externo a nosotros con una descripción científica más sofisticada. Lo que realmente queremos hacer es conectar una descripción de algo externo a nosotros (el cerebro), con algo de nuestro interior: una experiencia, nuestra propia experiencia individual, que nos acontece en tanto que observadores conscientes. Intentamos meternos en el interior, o en la atinada ocurrencia del filósofo Tomas Negel, saber qué se siente al ser un murciélagos. Ya sabemos qué se siente al ser nosotros mismos, qué significa ser nosotros mismos, pero queremos explicar por qué somos conscientes, saber qué es ese “algo” que nos hace ser como somos, explicar, en fin, cómo se generan las cualidades subjetivas experienciales. En suma, deseamos explicar ese “Pienso, luego existo” que Descartes postuló como evidencia primera e indiscutible sobre la cual edificar toda la filosofía.

Ninguna descripción, por prolífica que sea, logrará nunca explicar claramente la experiencia subjetiva. Muchos filósofos han utilizado el ejemplo

del color para explicar este punto. Ninguna explicación científica de los mecanismos neuronales de la discriminación del color, aunque sea enteramente satisfactoria, bastaría para comprender cómo se siente el proceso de percepción de un color. Ninguna descripción, ninguna teoría, científica o de otro tipo, bastará nunca para que una persona daltónica consiga experimentar un color.

En un experimento mental filosófico, Mary, una neurocientífica del futuro daltónica, lo sabe todo acerca del sistema visual y el cerebro, y en particular la fisiología de la discriminación del color. Sin embargo, cuando por fin logra recuperar la visión del color, todo aquel conocimiento se revela totalmente insuficiente comparado con la auténtica experiencia del color, comparado con la sensación de percibir el color. John Locke vio claramente este problema hace mucho tiempo.

Pensemos por un momento que tenemos un amigo ciego al que contamos lo que estamos viendo un día soleado del mes de abril: el cielo despejado, limpio y celeste, el Sol allí arriba esplendoroso y cegador que nos envía su luz y su calor, los árboles y los arbustos llenos de flores de mil colores que son asediados por las abejas, el aroma y el rumor del río, cuyas aguas cantarinas no cesan de correr transparentes, los pajarillos de distintos plumajes que lanzan alegres trinos en sus vuelos por el ramaje que se mece movido por una brisa suave, todo esto lo contamos a nuestro amigo ciego que, si de pronto pudiera ver, comprobaría que la experiencia directa de sus sentidos ante tales maravillas nada tiene que ver con la pobreza de aquello que le contamos, por muy hermosas palabras que para hacer la descripción empleáramos.

La mente humana es tan compleja que no todos ante la misma cosa vemos lo mismo. Nos enseñan figuras y dibujos y nos piden que digamos (sin pensarla) la primera cosa que nos sugiere. De entre diez personas, sólo coinciden tres, los otros siete divergen en la apreciación de lo que el dibujo o la figura les sugiere.

Esto nos viene a demostrar la individualidad de pensamiento, el libre albedrío para decidir. Sin embargo, la misma prueba realizada en grupos de

conocimientos científicos similares y específicos: físicos, matemáticos, químicos, etc, hace que el número de coincidencias sea más elevado; más personas ven la misma respuesta al problema planteado. Esto nos sugiere que la mente está en un estado virgen que cuenta con todos los elementos necesarios para dar respuestas pero que necesita experiencias y aprendizaje para desarrollarse.

¿Debemos concluir entonces que una explicación científica satisfactoria de la conciencia queda para siempre fuera de nuestro alcance?

¿O es de alguna manera posible, romper esa barrera, tanto teórica como experimental, para resolver las paradojas de la conciencia?

La respuesta a estas y otras preguntas, en mi opinión, radica en reconocer nuestras limitaciones actuales en este campo del conocimiento complejo de la mente, y como en la física cuántica, existe un principio de incertidumbre que, al menos de momento (y creo que en muchos cientos de años), nos impide saberlo todo sobre los mecanismos de la conciencia, y aunque podremos ir contestando a preguntas parciales, alcanzar la plenitud del conocimiento total de la mente no será nada sencillo, entre otras razones está el serio inconveniente que suponemos nosotros mismos, ya que con nuestro quehacer podemos, en cualquier momento, provocar la propia destrucción.

Una cosa sí está clara: ninguna explicación científica de la mente podrá nunca sustituir al fenómeno real de lo que la propia mente pueda sentir.

¿Cómo se podría comparar la descripción de un gran amor con sentirlo, vivirlo física y sensorialmente hablando?

Hay cosas que no pueden ser sustituidas, por mucho que los analistas y especialistas de publicidad y marketing se empeñen; lo auténtico siempre será único. Si acaso, el que más se puede aproximar es el poeta.

Precisamente de ahí surge el dicho: “*nadie escarmienta por cabeza ajena*”. Para aprender necesitamos equivocarnos nosotros mismos, el error de otros no nos vale.

Nunca será lo mismo lo que nos han contado que lo que hemos vivido. Bien es verdad que existen parcelas del conocimiento que son puramente teóricas y se aprenden sin necesidad de práctica alguna.

Estoy totalmente convencido de que de alguna manera, nuestras mentes están conectadas con el cosmos del que formamos parte. Estamos aquí y nos parece de lo más natural, nunca nos paramos a pensar en cómo fue eso posible, en cómo surgió el milagro. A partir de la materia “inerte” evolucionada surgen entes pensantes y vivos, ¿cómo es posible tal maravilla? Hay que pensar (lo he referido en muchas ocasiones) que el material del que estamos hechos (nitrógeno, carbono, etc) se fabricó en las estrellas a partir del elemento más simple, el hidrógeno, que evolucionado a materiales más complejos llegaron hasta nuestro Sistema Solar primitivo en formación para constituirse en parte del planeta Tierra en el que, bajo ciertas condiciones atmosféricas, presencia de agua y de radiación cósmica, dio lugar al nacimiento de aquella primera célula capaz de reproducirse, que evolucionó hasta nosotros.

Estamos hechos de energía pura fabricada en las estrellas y nuestras mentes evolucionan formando parte de un universo en constante expansión del que, sin que nos demos cuenta, recibimos continuos mensajes que nos mantiene conectados a esa fuerza invisible que nos hace pensar para descubrir su fuente.

En algún momento breve he tenido la sensación de tener en mi mente la solución a un pensamiento continuado sobre un problema científico que me preocupa y quisiera conocer. La sensación de ese saber, de tener esa respuesta deseada, es fugaz, pasa con la misma rapidez que llegó. Me deja inquieto y decepcionado, estaba a mi alcance y no se dejó atrapar. Me ocurre con cierta frecuencia con distintos temas que me rondan por la cabeza. Sin embargo, esa luz fugaz del saber aparece y se va sin dejar rastro en mi men-

te que me permita, a partir de una simple huella, llegar al fondo de la cuestión origen del fenómeno.

La mente humana es una maravilla. Esas sensaciones que antes he mencionado y que en mí, llegan y se van sin dejar huellas, son las mismas que sintieron Galileo, Kepler, Newton, Planck o Einstein, lo único diferente es que en ellos la sensación no fue tan fugaz; se quedó el tiempo suficiente en sus mentes como para que pudieran digerir el mensaje y comunicar al mundo lo que les había transmitido. Así, a fogonazos de luz del saber, avanza la Humanidad.

Nadie ha podido explicar nunca como llegan esos fogonazos de luz del conocimiento a unas pocas mentes elegidas.

El cerebro se cuenta entre los objetos más complicados del universo y es sin duda una de las estructuras más notables que haya producido la evolución. Hace mucho tiempo, cuando aún no se conocía la neurociencia, se sabía ya que el cerebro es necesario para la percepción, los sentimientos y los pensamientos.

En tanto que es objeto y sistema, el cerebro humano es muy especial: su conectividad, su dinámica, su forma de funcionamiento, su relación con el cuerpo y con el mundo... no se parece a nada que la conciencia conozca. Su carácter único hace que el ofrecer una imagen del cerebro se convierta en un reto extraordinario. Aunque todavía estamos lejos de ofrecer una imagen completa del cerebro, sí podemos ofrecer retazos y datos parciales de algunos de sus complicados mecanismos. Sin embargo, carecemos de información para generar una teoría satisfactoria de la conciencia.

Estamos tratando de algo que pesa poco más de 1 Kg – aproximadamente – y que contiene unos cien mil millones de células nerviosas o neuronas, generando continuamente emociones, etc.

¡Increíble, grandioso! ¿Pero sabemos encausarlo? De momento: NO.

Pero debemos confiar en nosotros mismos, en ese cerebro que aún no conocemos y que en abril de 2.003, por ejemplo, nos llevó a completar con éxito la secuenciación de 3.000 millones de letras de ADN presentes en el genoma humano.

Precisamente, ese conocimiento, se puede ver como un manual de instrucciones reconvertible en el libro de medicina más potente imaginable. Parece que ahí está el futuro de la salud humana: la genética. El reto que tenemos por delante consiste en adoptar la forma correcta en que se deben leer los contenidos de todas esas páginas que contienen la secuenciación de las 3.000 letras de ADN, y comprender el modo de cómo funcionan juntas las distintas partes para encausar la salud y la enfermedad humanas.

La consecuencia más importante de todo esto es que se ha abierto la puerta a un alentador y enorme (aunque complejo) paisaje biológico nuevo. Su exploración necesitará de pensamientos creativos y nuevas ideas.

Hace 30 años todo esto era un sueño; nadie se atrevía a pensar siquiera con que este logro sería posible algún día, ¡secuenciar 3.000 millones de grafos de ADN!

Sin embargo aquí viene la contradicción o paradoja: el cerebro que aún no conocemos lo ha hecho posible.

La genómica es una auténtica promesa para nuestra salud pero necesitaremos algunos saltos cuánticos en la velocidad y la eficacia de la secuenciación del ADN.

Está claro sin embargo que dadas todas las dimensiones del ser humano, que incluyen aspectos tanto materiales como espirituales, será necesario mucho, mucho, mucho tiempo para llegar a conocer por completo todos los aspectos complejos encerrados en nuestro interior.

El adelanto que se producirá en las próximas décadas estará y será más visible en el aspecto biológico y la curación de enfermedades como el cán-

cer, y otras nefastas como el SIDA que asolan nuestro mundo. El conocimiento de la psique, de nuestra propia conciencia, será mucho más lento.

Hay que tener en cuenta que primero debemos tener un conocimiento completo de los primates. Tal conocimiento nos proporcionaría luz sobre lo que convierte en únicos a los seres humanos. Al decir únicos me refiero al hecho diferenciador de la conciencia y, desde luego, lo circunscribo al planeta Tierra, ya que referido a todo el universo seguro que no somos “tan únicos”.

Casi todas las enfermedades que nos aquejan están y tienen su origen en los genes. Otras dolencias están relacionadas con el entorno en el que vivimos, la forma de vida elegida por nosotros mismos (tabaco, alcohol, droga, etc), y una parte de los trastornos que padecemos (los más difíciles de curar), están situados en nuestras mentes, las más desconocidas.

Así que si el conocimiento sobre el genoma está en el buen camino y según todos los indicios, algún día podremos tener las respuestas que aún nos falta. El problema más serio está en ese gran desconocido que llamamos cerebro y que es el responsable de dirigir y ordenar todos y cada uno de los movimientos que se generan en el resto de nuestro cuerpo. Allí arriba está la central eléctrica que lo pone todo en marcha, ¿pero de qué mecanismos se vale? Precisamente esa es la explicación que nadie ha podido dar.

Pero todo evoluciona con el tiempo que transcurre, todo va cambiando (nuestros conocimientos también).

Hace unos veinte millones de años, durante el Mioceno, la Tierra vivió unas condiciones climáticas paradisíacas. Los casquetes polares, con un emplazamiento distinto del actual, apenas eran una pequeñas manchas de hielo; el nivel de los mares era mucho más elevado que en la actualidad, y la mayor parte de los lugares que ahora ocupan las ciudades y las playas en las que pasamos las vacaciones estaban cubiertos por los océanos. El agua del mar era como la que hoy podemos encontrar en los trópicos. El mundo de finales del Mioceno era, por lo tanto, un mundo muy diferente del nuestro:

con distintos olores, con extraños sonidos y ni siquiera el cielo de hace veinte millones de años era parecido al que hoy podemos contemplar en una noche cualquiera. Las constelaciones de estrellas eran de otras formas y mostraban configuraciones distintas de las que ahora están allá arriba. Muchas de las estrellas que hoy admiramos en las noches de cielo despejado aún no habían aparecido y otras que entonces brillaban ya no existen.

Pongo este ejemplo de algo que conozco para mostrar los cambios irreversibles que se producen a medida que avanza la línea del tiempo. Al igual que se produjeron en nuestro mundo, se producirán en nuestros conocimientos. Nuestro nivel de conciencia también, de manera irreversible, evoluciona. A medida que a nuestro cerebro llegan nuevos datos sobre cuestiones muy diversas, éste los va reciclando, ordenándolos, interrelacionándolos y finalmente clasificándolos de manera tal que los tiene dispuestos para conectarlos a nuevos datos y nuevas informaciones que, por distintos medios, naturales o artificiales, aparecen para sumarse a las que ya existen, y de esta forma hemos ido avanzando desde aquella materia “inerte” a la materia compleja y pensante que somos los seres vivos inteligentes.

Pero en el ejemplo que antes puse de hace veinte millones de años, nuestros antepasados más cercanos ni habían aparecido. Más tarde, interminables selvas húmedas estaban pobladas por una vegetación exuberante, por plantas y árboles gigantescos cuajados de una interminable variedad de especies vegetales que embriagaban el aire caliente y húmedo con mil aromas. Pululaban y bullían en ellas miles de insectos diferentes y las habitaban reptiles diversos, desde pequeñas lagartijas hasta gigantescas serpientes. Los dinosaurios habían desaparecido muchos millones de años antes, y en su lugar numerosas aves y mamíferos vegetarianos se alimentaban de los inagotables recursos que ofrecían los bosques. Una muchedumbre de depredadores prosperaba alimentándose de los herbívoros, bien alimentados y abundantes.

En aquellas selvas, los simios se encontraban en su paraíso. Las condiciones climatológicas eran las más adecuadas: siempre reinaba la misma temperatura cálida y la lluvia que con frecuencia caía, era también caliente. Apenas tenían enemigos peligrosos, ya que ante la menor amenaza, en dos

saltos estaban en refugio seguro entre las ramas de los árboles, hasta donde ningún depredador podía perseguirles. En este escenario en el que había poco riesgo, alimentos abundantes y las condiciones más favorables para la reproducción, surgieron nuestros antepasados.

Hace unos cinco millones de años, a comienzos del Pleistoceno, el período que siguió al Mioceno, en los bosques que entonces ocupaban África oriental, más concretamente en la zona correspondiente a lo que hoy es Kenia, Etiopía y Nigeria, habitaba una estirpe muy especial de monos hominoideos: los *Ardipithecus ramidus*. Éstos, como el resto de primates, estaban adaptados a vivir en zonas geográficas en las que no existían variaciones estacionales, porque los monos, en general, no pueden soportar largos períodos en los que no haya frutas, hojas verdes, tallos, brotes tiernos o insectos de los que alimentarse: por eso sólo viven en zonas tropicales, salvo muy contadas excepciones.

Los fósiles de quien hoy se considera uno de nuestros primeros antepasados, el *Ardipithecus ramidus*, han aparecido siempre junto a huesos de otros mamíferos cuya vida estaba ligada al bosque. Se puede suponer, por lo tanto, que habitaba un bosque que aún era espeso, con algunos claros y abundante en frutas y vegetales blandos, aunque el enfriamiento progresivo que se venía produciendo en esos últimos miles de años y las catastróficas modificaciones geológicas tuvieron que reducir la disponibilidad de los alimentos habituales de estos simios.

El *Ardipithecus ramidus* no abandonaba nunca sus selvas. Como los monos antropomorfos de hoy, debía tratarse de una especie muy poco tolerante a los cambios ambientales. Todo apunta a que se auto-confinaban en la búsqueda de la comodidad fresca y húmeda y la fácil subsistencia que les proporcionaba sus bosques y nunca traspasaban los límites: en la linde se encontraba, para él, el fin del mundo, la muerte.

Estos antepasados nuestros son, de entre todos los homínidos fósiles, los que más se parecen a los monos antropomorfos que viven en la actualidad. Su cerebro era como el de un chimpancé actual: de una capacidad de 400 cm³ aproximadamente. Sus condiciones físicas estaban totalmente adap-

tadas al medio, con piel cubierta de pelo fuerte y espeso, impermeable, adaptados al clima lluvioso y la humedad ambiental, en donde el sudor era totalmente ineficaz para refrigerar el cuerpo.

El equipo sensorial de estos antepasados nuestros debía de ser como el de todos los primates. Predominaba el sentido de la vista más que el del olfato: en el bosque, el hecho de ver bien es más importante que el de tener una gran capacidad olfativa. Una buena visión de los colores les permitía detectar las frutas multicolores en las umbrías bóvedas de la selva. El sentido del oído tampoco debía de estar muy desarrollado: contaban con orejas de pabellones pequeños que no tenían la posibilidad de modificar su orientación. En cambio, poseían un refinado sentido del gusto, ya que en su dieta tenían cabida muchos sabores diferentes; de ahí deriva el hecho de que cuando nos resfriamos y tenemos la nariz atascada los alimentos pierdan su sabor.

A pesar de su escasa capacidad cerebral, es posible que en ocasiones se sirviera de algún utensilio, como alguna rama para defenderse y de un palito para extraer insectos de sus escondites, y hasta utilizara piedras para partir semillas. El uso de estas herramientas no era premeditado, sino que acudían a él de manera instintiva en el momento que lo necesitaban y luego no conservaba el utensilio, sencillamente los abandonaban para buscar otro nuevo en la próxima ocasión.

Con el paso de los años fueron evolucionando y transformándose físicamente, perdiendo sus enormes colmillos, el pelo, la forma simiesca de desplazarse. El cambio climático introdujo una modificación ecológica y trajeron dificultades para encontrar alimentos, lo que hizo que los individuos de esa especie de simios estuvieran permanentemente amenazados de muerte. En consecuencia, las ventajas genéticas de adaptación al medio les trajeron variaciones como la ya mencionada reducción de los caninos, se convertían en algo decisivo para que llegaran a hacerse adultos con un óptimo desarrollo y que se reprodujeran más y con mayor eficacia.

La existencia dejó de ser idílica para estar rodeada de riesgos, que constantemente amenazaban sus vidas por los peligrosos depredadores que

acechaban desde el cielo, desde el suelo o desde las propias ramas de los árboles en los que el *Ardipithecus ramidus* pasaba la totalidad de su existencia.

Pasaron un par de millones de años. El planeta continuó evolucionando junto con sus pobladores y, según los indicios encontrados en las sabanas del este de África, allí vivieron unos homínidos que tenían el aspecto y el cerebro de un chimpancé de hoy. Caminaban sobre dos pies con soltura, aunque sus brazos largos sugieren que no despreciaban la vida arbórea; eran los *Australopithecus*. De una hembra de *Astrolopithecus aferensis* que se paseaba por la actual Etiopía hace tres millones de años poseemos un esqueleto completo: Lucy.

Sabemos que la selección natural sólo puede producirse si hay variación. La variación supone que los descendientes, si bien pueden tener muchos caracteres comunes con sus padres, nunca son idénticos a ellos. La selección natural actúa sobre estas variaciones favoreciendo unas y eliminando otras, según si proporcionan o no ventajas para la reproducción; las que sobreviven y se reproducen son las que están mejor dotadas y mejor se adaptan al entorno. Estas variaciones vienen dadas por mutación (inapreciable en su momento) y por recombinación de genes y mezclas enriquecedoras de la especie. Ambos procesos, en realidad se rigen exclusivamente por el azar, es decir, ocurren independientemente de que los resultados sean o no beneficiosos para los individuos, cuando se producen.

Los cambios ecológicos y climáticos progresivos, junto con la aparición casual de unas afortunadas mutaciones permitieron que unos simios como los antes mencionados *Ardipithecus ramidus* se transformaran a lo largo de miles de años en los *Australopithecus afarensis*. El segundo peldaño en la escalera de la evolución del hombre se había superado: la bipedestación. Esta ventaja evolutiva les permitió adaptarse a sus nuevas condiciones ambientales, no sólo proporcionándoles una mayor movilidad por el suelo, sino liberando sus manos para poder acarrear alimentos y consumirlos en un lugar seguro. Hay que tener en cuenta que al desplazarse erguidos, estos homínidos regulaban mejor su temperatura corporal en las sabanas ardientes porque exponían menos superficie corporal al sol abrasador. Tam-

bién podían percibir con mayor antelación el peligro. Por supuesto, estos cambios positivos también incidieron en el despetar de sus sentidos.

Correr para salvarse desarrolló sus pulmones y el corazón, los peligros y la necesidad agudizó su ingenio y su mente se fue desarrollando; apareció la extrañeza por lo desconocido, lo que mucho más tarde sería curiosidad.

El tiempo siguió transcurriendo miles de años, los siglos se amontonaban unos encima de otros, cientos de miles de años hasta llegar al año 1.500.000 antes de nuestra era, y seguiremos en África.

Al iniciar la época denominada Pleistoceno, hace un millón ochocientos mil años, el mundo entró en un periodo aún más frío que los anteriores en el que comenzaban a sucederse una serie de periodos glaciales, separados por fases interglaciares más o menos largas. Cerca de los polos de la Tierra, los periodos glaciales ocasionaron la acumulación de espesas capas de hielo a lo largo de los miles de años en que persistió el frío más intenso; luego, en los miles de años siguientes que coincidieron con una fase más calida, los hielos remitieron algo, aunque no desaparecieron por completo.

En las latitudes más bajas, como en el este africano, la mayor aridez del clima favoreció que prosperara un tipo de vegetación hasta entonces desconocido, más propio de las zonas desérticas. También se incrementaron las sabanas de pastos, casi desprovistas de árboles, semejantes a las praderas, las estepas o las pampas actuales.

A lo largo del millón y medio de años transcurridos desde que Lucy se paseaba por África habían surgido numerosas especies de homínidos, algunas de las cuales prosperaron durante cientos de miles de años y luego desaparecieron.

Por aquellos tiempos habitaba la zona del este de África el primer representante del género Homo:

El Homo habilis, un antecesor mucho más próximo a nosotros que cualquiera de las anteriores especies, con una capacidad craneal de entre 600 y 800 cm³ y que ya era capaz de fabricar utensilios de piedra, aunque muy toscos. Es conveniente tener en cuenta que la aparición de una nueva especie no tiene por qué coincidir necesariamente con la extinción de la precedente. En realidad, muchas de estas especies llegaron a convivir durante miles de años.

Las peripecias de estos personajes por sobrevivir llenarían varios miles de libros como este y, desde luego, no es ese el motivo de lo que aquí queremos explicar, más centrado en hacer un repaso desde los orígenes de nuestros comienzos hasta nuestros días y ver que la evolución del conocimiento es imparable; desde las ramas de los árboles y los gruñidos, hemos llegado hasta la mecánica cuántica y la relatividad general que, mediante sofisticadas matemáticas nos explican el mundo en el que vivimos, el universo al que pertenecemos y las fuerzas que todo lo rigen para crear la materia.

Pero continuemos. En dos millones de años de evolución se dobló el volumen cerebral, desde los 450 cm³ del Australopithecus aferensis hace cuatro millones de años hasta los 900 cm³ del Homo ergaster. Es un misterio cómo se llegó a desarrollar nuestro cerebro con una capacidad de 1.300 cm³ y una complejidad estructural tan sorprendente como se comentaba en las primeras páginas de este trabajo.

Pero también resulta un misterio cómo fue posible que nuestro cerebro evolucionara a la velocidad a la que lo hizo: en apenas tres millones de años el volumen cerebral pasó de 450 a 1.300 cm³. Esto representa un crecimiento de casi 30 mm³ por siglo de evolución. Si consideremos una duración media de treinta años para cada generación, han pasado unas cien mil generaciones desde Lucy hasta nosotros, lo que supone un crecimiento medio de 9 mm³ de encéfalo por cada generación.

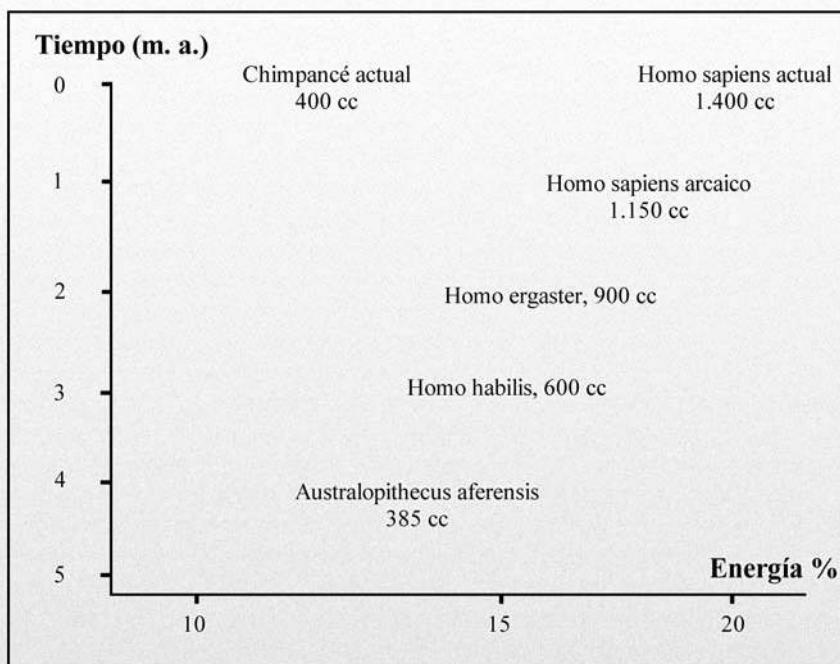
El aumento del volumen del cerebro es una especialización como la de cualquier otro órgano, y la selección natural favoreció el crecimiento encefálico porque proporcionó ventajas de supervivencias y reproducción en el nicho ecológico de los homínidos. Tradicionalmente, a la hora de abordar la

cuestión de la evolución del cerebro se plantean grandes cuestiones: ¿Para qué necesitaron nuestros antecesores un cerebro grande? ¿Por qué la evolución desarrolló una estructura que permite sembrar una huerta, componer una sinfonía, escribir una poesía o inventar un tensor métrico que nos permita operar con dimensiones más altas curvas del espacio?

Estas y otras muchas preguntas nunca tienen una respuesta científica convincente. Eso sí, sabemos que nuestro cerebro es un lujo evolutivo, la herramienta más delicada, compleja y precisa jamás creada en la biología.

El cerebro es un órgano que consume mucha energía y posee una elevada actividad metabólica. El cerebro humano tiene una actividad metabólica varias veces mayor de lo esperado para un primate de nuestro mismo peso corporal: consume entre un veinte y un veinticinco por 100 del gasto energético en reposo (metabolismo basal), en comparación con el ocho a diez por 100 de consumo energético para los primates. Además, el cerebro es exquisito y muy caprichoso en cuanto al combustible que utiliza para producir energía; no le sirve cualquier cosa. En situaciones normales el cerebro sólo consume glucosa y utiliza 100 gr de este azúcar cada día, el cual procede de los hidratos de carbono ingeridos con los alimentos vegetales. Sólo en casos de extrema necesidad, por ejemplo cuando llevamos varios días sin comer hidratos de carbono, el cerebro recurre a su combustible alternativo, un sucedáneo que son los cuerpos cetónicos que proceden de las grasas.

A causa de estas peculiaridades metabólicas del tejido cerebral, su funcionamiento entraña un importante consumo de recursos y gasta una notable cantidad de combustible metabólico. Estos valores aumentan si consideramos el precio del desarrollo del cerebro; el cerebro de un recién nacido representa el doce por 100 del peso corporal y consume alrededor del sesenta por 100 de la energía del lactante. Una gran parte de la leche que mama un niño se utiliza para mantener y desarrollar su cerebro.



El gráfico nos muestra cómo el aumento del tamaño y complejidad del cerebro a lo largo de la evolución se acompañó de un incremento del gasto energético.

Está claro que el cerebro necesita energía. Sin embargo, no quiere decir que cuanto más comamos más crecerá y más inteligentes seremos. El cerebro crece porque se ejercita, es el órgano pensante de nuestro ser, allí se elaboran todas las ideas y se fabrican todas las sensaciones, y su mecanismo se pone en marcha para buscar soluciones a problemas que se nos plantean, para estudiar y comprender, asimilar nuevos conceptos, emitir teorías y plantear cuestiones complejas sobre múltiples problemas que el ser humano maneja en los distintos ámbitos del saber científico y técnico, o simplemente de conocimientos especializados de la actividad cotidiana. Todo esto hace funcionar al cerebro, a veces al límite de sus posibilidades, exigiéndole más de

lo que es capaz de dar y exprimiendo su energía hasta producir agotamiento mental.

Esta actividad, sobre todo en las ramas de las matemáticas, la física y la química (está comprobado), es lo que hace crecer más a nuestro cerebro, que en el ejercicio de tales actividades consumen de manera selectiva la energía necesaria para tal cometido de una máxima exigencia intelectual que requiere manejar conceptos de una complejidad máxima que no todos los cerebros están capacitados para asimilar, ya que se necesita una larga y cuidada preparación durante años y, sobre todo, que el cerebro esté capacitado para asimilarla.

Así que el cerebro crece porque lo hacemos trabajar y lo educamos, no porque nos atraquemos de comer. Hay animales que consumen enormes cantidades de alimentos y tienen cerebros raquílicos.

El deseo de saber, eso sí que agranda el cerebro.

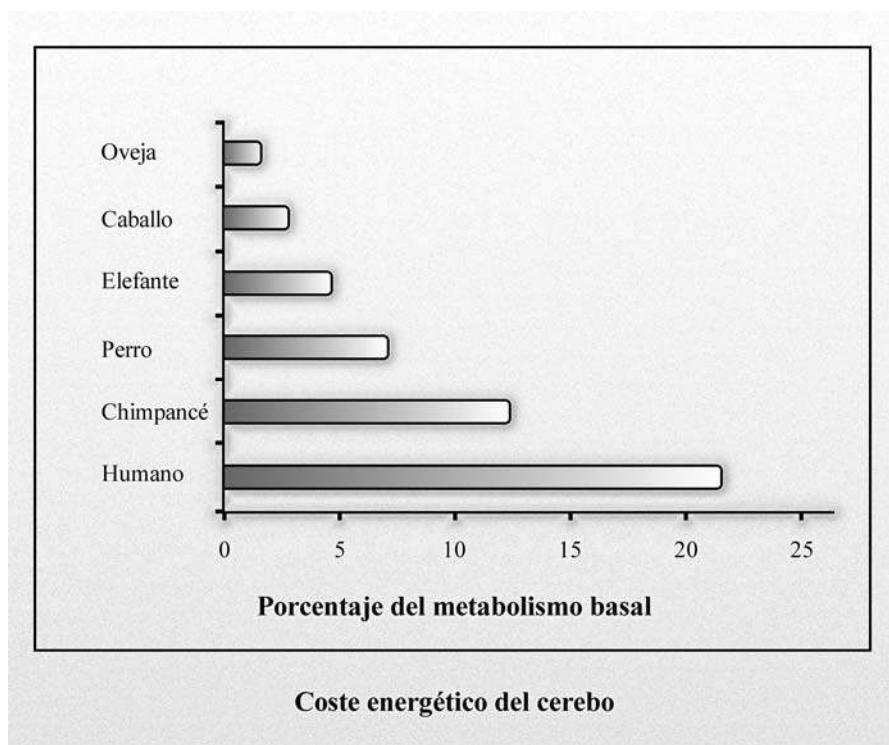
En 1.891, Sir Arthur Keit enunció que en los primates existe una relación inversa entre el tamaño del cerebro y el del intestino: “*Un primate no puede permitirse tener a la vez un sistema digestivo grande y un cerebro también grande*”.

En 1.995, L. Aiello y P. Wheeler, completaron este principio formulando la llamada “*Hipótesis del órgano costoso*”. En ella se establece que, dado que el cerebro es uno de los órganos más costosos desde el punto de vista metabólico, un aumento del volumen cerebral sólo sería posible a cambio de reducir el tamaño y la actividad de otro órgano con similar consumo de energía. ¿Pero cuál es este órgano? El otro sistema que consume tanta energía como el cerebro es el aparato digestivo. El intestino puede reducirse a lo largo de la evolución porque su tamaño, en una determinada especie, depende de la calidad de la alimentación que esa especie ingiera. Una alimentación de alta calidad es la que se digiere con facilidad y libera mayor cantidad de nutrientes y energía por unidad de trabajo digestivo invertido.

La alimentación a base de plantas es de más baja calidad que la dieta a base de carne, por eso una forma de aumentar la calidad dietética de una alimentación es incrementar la cantidad de comida de procedencia animal (huevos, carne, insectos, pescados, reptiles, etc).

Cuando se comparan las proporciones de volumen de cerebro y de aparato digestivo en humanos y en chimpancés en términos energéticos se obtiene un resultado concluyente: la energía ahorrada por la reducción del tamaño del intestino en humanos es aproximadamente del mismo orden que el coste energético adicional de su mayor cerebro.

Así, según estas teorías, la expansión cerebral que se produjo durante la evolución desde nuestros antecesores hasta el hombre sólo fue energéticamente posible mediante una reducción paralela del tamaño del aparato digestivo.



La evolución pudo haber optado por otras soluciones, por ejemplo la de incrementar la cantidad total de energía en forma de alimento, permitiendo así la existencia de energía necesaria para un gran cerebro y un gran aparato digestivo, lo cual sería al menos chocante, ya que lo racional es que tengamos que alimentarnos para vivir y no que vivamos para alimentarnos.

Los ladrillos del cerebro: Es evidente que el estímulo para la expansión evolutiva del cerebro obedeció a diversas necesidades de adaptación como puede ser el incremento de la complejidad social de los grupos de homínidos y de sus relaciones interpersonales, así como la necesidad de pensar para buscar soluciones a problemas surgidos por la implantación de sociedades más modernas cada vez. Estas y otras muchas razones fueron las claves para que la selección natural incrementara ese prodigioso universo que es el cerebro humano.

Claro que para levantar cualquier edificio, además de un estímulo para hacerlo se necesitan los ladrillos específicos con las que construirlo y la energía con la que mantenerlo funcionando.

La evolución rápida del cerebro no sólo requirió alimentos de una elevada densidad energética y abundantes proteínas, vitaminas y minerales; el crecimiento del cerebro necesitó de otro elemento fundamental:

Un aporte adecuado de ácidos grasos poliinsaturados de larga cadena, que son componentes fundamentales de las membranas de las neuronas, las células que hacen funcionar nuestro cerebro.

Nuestro organismo, como ya he señalado, es incapaz de sintetizar en el hígado suficiente cantidad de estos ácidos grasos; tiene que conseguirlos mediante la alimentación. Estos ácidos grasos son abundantes en los animales y en especial en los alimentos de origen acuático (peces, moluscos, crustáceos). Por ello, algunos especialistas consideran que la evolución del cerebro no pudo ocurrir en cualquier parte del mundo y, por lo tanto, requirió un entorno donde existiera una abundancia de estos ácidos grasos en la dieta: un entorno acuático.

El cerebro humano contiene 600 gramos de estos lípidos tan especiales imprescindibles para su función. Entre estos lípidos destacan los ácidos grasos araquidónico (AA, 20:4 W-6) y docosahexaenoico (DHA, 22:6 W-3); entre los dos constituyen el noventa por 100 de todos los ácidos grasos poliinsaturados de larga cadena en el cerebro humano y en el resto de los mamíferos.

Una buena provisión de estos ácidos grasos es tan importante que cualquier deficiencia dentro del útero o durante la infancia puede producir fallos en el desarrollo cerebral.

El entorno geográfico del este de África donde evolucionaron nuestros ancestros proporcionó una fuente única nutricional, abundante de estos ácidos grasos esenciales para el desarrollo cerebral. Esta es otra de las circunstancias extraordinarias que favoreció nuestra evolución.

Las evidencias fósiles indican que el género *Homo* surgió en un entorno ecológico único, como es el formado por los numerosos lagos que llenan las depresiones del valle del Rift, el cual, en conjunto y desde un punto de vista geológico, es considerado un “protoocéano”. El área geográfica formada por el mar Rojo, el golfo de Adén y los grandes lagos del Rift forman lo que en geología se conoce como “océano fallido”. Son grandes lagos algunos de una gran profundidad (el lago Malawi tiene 1.500 metros y el lago Tanganika 600 m) y de una enorme extensión (el lago Victoria, de casi 70.000 Km², es el mayor lago tropical del mundo). Se llenaban, como hacen hoy, del agua de los numerosos ríos que desembocan en ellos; por eso sus niveles varían según las condiciones climatológicas regionales y estacionales.

Muchos de estos lagos son alcalinos debido al intenso volcanismo de la zona. Son abundantes en peces, moluscos y crustáceos que tienen proporciones de lípidos poliinsaturados de larga cadena muy similares a los que componen el cerebro humano. Este entorno, en el que la especie *Homo* evolucionó durante al menos dos millones de años, proporcionó a nuestros ancestros una excelente fuente de proteínas de elevada calidad biológica y de

ácidos grasos poliinsaturados de larga cadena, una combinación ideal para hacer crecer el cerebro.

Esta es otra de las razones en las que se apoyan algunos para sugerir que nuestros antecesores se adaptaron durante algunos cientos de miles de años a un entorno litoral, posiblemente una vida lacustre, en el “océano fallido” de los grandes lagos africanos, y que nuestra abundante capa de grasa subcutánea es la prueba de esta circunstancia de nuestra evolución.

La realidad es que este entorno lacustre proporcionó abundantes alimentos procedentes del agua, ricos en proteínas de buena calidad y en ácidos grasos poliinsaturados. Estos alimentos completaban la carroña incierta o la caza casi imposible. Durante cientos de miles de años evolucionaron los homínidos en este entorno entre la sabana ardiente y las extensiones interminables de aguas someras por las que vagaban los clanes de nuestros antepasados chapoteando a lo largo de kilómetros en busca de alimento. Este entorno único no sólo garantizó los nutrientes necesarios para desarrollar el cerebro, sino que aceleró numerosos cambios evolutivos que confluirían en el *Homo sapiens*.

Nuestra especie es muy homogénea en sus características: somos muy similares a pesar de lo que pudiera parecer a causa de las diferencias del color en la piel o en los rasgos faciales de las diferentes poblaciones. Tanto los datos de la genética como los de la paleantropología muestran que los seres humanos, como especie, procedemos de un grupo pequeño de antepasados que vivían en África hace unos cuatrocientos mil años.

Hemos logrado determinar con precisión nuestros orígenes como especie mediante precisos análisis genéticos; por ejemplo, los estudios llevados a cabo sobre los genes de las mitocondrias pertenecientes a individuos de todas las poblaciones del mundo y de todas las razas.

Estudiando el ADN mitocondrial de miles de personas se ha llegado a formular la llamada “*Teoría de la Eva Negra*”, según la cual todos nosotros, los *Homo sapiens*, procedemos de una hembra que vivió en algún lugar de

África hace ahora unos trescientos mil años. Otros estudios se han realizado mediante el análisis del polimorfismo del cromosoma Y.

Pero tanto unos estudios como otros han dado el resultado similar. Los estudios del material genético del cromosoma Y confirman que la humanidad tuvo un antepasado varón que vivió en África hace unos doscientos mil años; sería la “*Teoría del Adán Negro*”. Estudios del gen de la hemoglobina ratifican que todas las poblaciones humanas modernas derivan de una población ancestral africana de hace unos doscientos mil años compuesta por unos seiscientos individuos.

Los hallazgos paleoantropológicos ratifican el origen único y africano de nuestra especie. Se han encontrado en diversa regiones de África algunos fósiles, de características humanas modernas, con una antigüedad de entre trescientos mil y cien mil años; estos incluyen: el cráneo de Kabwe (en Zambia), de 1.285 c.c.; el fósil KNM-ER-3834 del lago Turkana, en Kenia, de casi litro y medio; los fósiles encontrados en los yacimientos de Border Cave y Klassies River Mouth, de África del sur; y los esqueletos y cráneos encontrados en los enterramientos de la Cueva de Qafzeh y del abrigo de Skhul, ambos en Israel y datados en unos cien mil años.

En 1.968 se descubrieron en Dordoña el cráneo y el esqueleto de uno de nuestros antepasados, al que se denominó Hombre de Cro-Magnon. Hoy sabemos que hace unos cuarenta mil años aparecieron en Europa unos inmigrantes de origen africano, que eran los primeros representantes de la especie *Homo sapiens sapiens* que alcanzaban estos territorios. Llegaron con unas armas terribles e innovadoras, conocían el modo de dominar el fuego y poseían una compleja organización social; y por lo que se refiere a las otras especies de homínidos que habitaban por aquel entonces Europa, concretamente los *Homo neandertales*, al parecer, los eliminaron por completo.

Los cromañones poseían las características de los pobladores de las regiones próximas al ecuador: poco macizos, muy altos y de brazos y piernas largas; sus huesos eran muy livianos por aumento del canal medular, dentro de la diáfisis. Los huesos que formaban las paredes del cráneo eran más finos que los de sus predecesores. Habían sufrido una reducción de la masa

muscular. El desarrollo de armas que podían matar a distancia con eficacia y sin requerir gran esfuerzo, como los propulsores, las hondas y más tarde el arco y las flechas, hicieron innecesaria una excesiva robustez. En general eran muy parecidos a nosotros y hasta tal punto es así que si cogiéramos a uno de estos individuos, lo lleváramos a la peluquería, le pusieramos un buen traje y lo sacáramos de paseo, se confundiría con el resto de la gente sin llamar a atención.

Llegados a este punto, no merece la pena relatar aquí las costumbres y forma de vida de esas poblaciones que en tantos y tantos escritos hemos podido leer y conocemos perfectamente. El objeto de todo esto era esbozar un perfil de lo que fuimos, de manera que dejemos ante nosotros la evolución por la que hemos pasado hasta llegar aquí, y a partir de ahora pensar en la evolución que nos queda hasta convertirnos en los seres del futuro que, seguramente, regirán en el universo.

En todo esto que estamos tratando, tenemos que luchar con dos problemas enormes:

1. Nuestra ignorancia
2. La existencia o no existencia de Dios

Está claro que el punto uno se va resolviendo poco a poco, a medida que transcurren los siglos y vamos avanzando en los conocimientos del mundo y del universo que nos acoge. También, algo más despacio, conocemos de nosotros mismos, de las sensaciones que percibimos y de las fuerzas internas que nos empujan a ciertos comportamientos, no pocas veces inexplicables. ¿Cómo podríamos explicar el comportamiento de un enamorado? Para bien o para mal, los sentimientos son los que nos mueven.

Richard Dawkins, biólogo y evolucionista británico, ha publicado un libro que ha titulado “*El espejismo de Dios*”, en el que pretende demostrar científicamente que el Sumo Creador es una pura ficción de la mente humana y refuta de manera sistemática los argumentos teológicos clásicos de San

Anselmo, San Agustín y Santo Tomás, exponiendo en contra la tesis más sencilla y coherente para explicar el surgir de alas en los pájaros, aletas en los peces y la misma vista, dejando las creencias religiosas o viejos sentimientos y creencias tribales nacidas desde la ignorancia y el miedo a lo desconocido.

¡Pobre Sr. Dawkins! no sabe en el lío que se ha metido.

Científicamente considerado, la presencia de un Dios invisible que todo lo puede y creador del universo es dura. Sin embargo... ¿qué podemos saber nosotros? Mejor sería dejar la respuesta en el aire, ni afirmar, ni negar. El tema es muy delicado.

Mucho he reflexionado sobre el tema y para mí, sólo para mí, tengo una respuesta.

Pero el que es práctico, como Pascal por ejemplo, planteó el mismo dilema en términos de apuesta y concluyó que era menos arriesgado confiar en Dios que en su inexistencia porque el ser humano no tiene nada que perder si hay un ente superior.

Es una manera como otra cualquiera de ver las cosas, he leído tantas versiones sobre la existencia de Dios que ya nada me sorprende. Algunos continúan buscando las pruebas y sigo desde lejos las noticias que se publican a tal respecto, claro que la noción de Dios, como cualquier otro material psíquico, tal vez pueda probarse algún día que está muy cerca, posiblemente contenida en nuestra herencia genética, es decir, que podría tratarse de un producto más de nuestra mente pensante que obtiene recursos sin límites para cada ocasión, sacando tan prodigiosos hallazgos que vienen a dar una esperanza divina a una humanidad atormentada y sin horizonte de futuro.

Hace años leí un libro, el autor se llamaba Dean Hamer, que hace mucho creyó descubrir un gen que llamó VMATZ, que sería la sede cerebral de la espiritualidad y, en consecuencia, el responsable de las ideas humanas de una deidad absoluta necesaria para el mantenimiento de la vía psíquica, e

incluso, para la conservación de la especie a través de este espíritu superior que nos hace amar a nuestros hijos que son la prueba suprema de la existencia de Dios.

Desde el comienzo mismo de este trabajo en el que se habla de cosmología y se pasa rápidamente al universo de los sentidos y de la conciencia, hemos realizado un amplio recorrido por lo sensorial y hemos retrocedido para hacer un esbozo del largo camino recorrido por los humanos, hasta llegar al nivel de entendimiento que hoy posee.

Hemos especulado con lo que entendemos por conciencia y lo que significa el SER, la privacidad de pensamientos individuales y la unidad y coherencia de la experiencia consciente en cada individuo, la enorme riqueza y variedad que la infinita complejidad del cerebro humano concede a cada individuo para ver de manera particular y única cualquier cuestión planteada, de manera tal que cada respuesta a la pregunta planteada pueda resultar original y distinta a los demás.

Nuestro cerebro es mucho más que una fría computadora y puede dar respuestas a problemas no previstos, repentinamente soluciones adecuadas a las necesidades. El poder de los sensores naturales que posee el cerebro humano es enorme y su capacidad impensable. Las experiencias conscientes de nuestra especie están profundamente adoptadas por los genes y las neuronas “recuerdan” cuando reciclan los datos en los procesos del pensamiento. Es la evolución.

Nuestro cerebro ha evolucionado y aprendido a través de las experiencias vividas por sus portadores y transmitidas por los sentidos. El entorno, la naturaleza, la forma de vida, los alimentos, las distintas sociedades, los elementos climáticos, los peligros..., todo ello ha contribuido a que nuestras mentes avancen.

Hay un plano superior de la mente que sobrepasa lo estrictamente material, es un nivel más alto, inmaterial, que se sale del cuerpo, que no está limitado por las condiciones físicas, que está en otro universo que vemos só-

lo en nuestras mentes y que no es posible tocar. Allí residen los pensamientos, se forjan los sentimientos, conviven las ideas y nace lo mejor y lamentablemente, lo peor de nosotros.

Hace mucho tiempo, siendo yo mucho más joven, pasé por una fase de recogimiento espiritual en la que mi principal preocupación era comprender lo que significaba el SER, la conciencia, el alma, el espíritu..., eran conceptos todos ellos que escapaban a mi entendimiento.

No podría decir cuántos autores leí buscando respuestas. Los qualia en términos de un espacio neuronal de referencia de N dimensiones debiera ayudarnos a entender que el significado o quale del rojo al azul se establece solamente en un marco de un contexto neuronal más amplio que el definido por la actividad de las neuronas con respuesta selectiva al rojo o al azul, hay otro ingrediente crucial – el tiempo – para dar vida a todas las sensaciones que llegan al cerebro y, desde luego, tendríamos que solicitar un esfuerzo a nuestra imaginación para intentar describir de qué modo la descarga de unas neuronas en tiempo real puede especificar un punto entre miles de millones de otros puntos en el espacio neuronal N-dimensional.

Está claro que yo no estoy capacitado para dar estas explicaciones que escapan a mi entendimiento y me limito a expresar mi parecer sobre lo poco que conozco y sobre mis propias experiencias.

¿Quién no ha tenido alguna vez la sensación de que sabe la respuesta, de que todo está ahí, en su mente, escondido y a punto de salir a la superficie?

Bueno, a mí me pasa continuamente. Siento que de un momento a otro mi mente me daría respuestas a preguntas que no han sido contestadas. El tiempo inexorable pasa y las respuestas no llegan. ¡Qué impotencia!

Imagino que de vez en cuando, en algunas mentes, saltan esas respuestas (Newton, Planck, Einstein, etc) y son ofrecidas al mundo para que puedan continuar avanzando (así lo digo en la primera parte de este libro).

Los aspectos inconscientes de la actividad mental, como las rutinas motoras y cognitivas, así como los recuerdos, intenciones y expectativas inconscientes, las preocupaciones y los estados de ánimos, desempeñan un papel fundamental a la hora de conformar y dirigir nuestras experiencias conscientes. Todo está siempre estrechamente relacionado, nada ocurre en nosotros que no esté unido a lo que pasa en nuestro entorno, somos una parte de un todo que se llama universo y aún cuando somos autónomos en el pensamiento y en la manera de obrar, existen condicionantes exteriores que inciden de una u otra manera en nosotros, en lo que somos.

Sin la fuerza de gravedad, nuestras mentes serían diferentes (o no serían). Estamos estrechamente conectados a las fuerzas que rigen el cosmos y, precisamente, somos como somos porque las fuerzas fundamentales de la naturaleza son como son y hacen posible la vida y la existencia de seres pensantes y evolucionados que son capaces de tener conciencia de SER, de hacer preguntas tales como ¿de dónde venimos? o ¿hacia dónde vamos?

La qualia y la discriminación, correlatos neuronales de la percepción del color, ¿un grupo neuronal, un quale?, los qualia y el núcleo dinámico, los qualia en el tiempo neuronal, el desarrollo de los qualia: referencia al propio yo, lo consciente y lo inconsciente, los puertos de entrada y de salida, los bucles largos y rutinas cognitivas, aprendizaje por el estudio y la experiencia, rupturas talamocorticales: posibilidades de núcleos escindidos, la observación, el lenguaje, el pensamiento, los mensajes exteriores, la unificación de datos y la selección lógica de respuestas y por fin: el significado último de las cosas (las preguntas de la filosofía), la metafísica.

Sí, por todas estas fases del estudio y del pensamiento he tenido que pasar para llegar a una simple conclusión:

“Somos la imagen de Dios*”. No, no exagero, dentro de esa imagen de frágil físico y de escasa capacidad para poder dar respuesta a ciertas preguntas, en realidad se esconden cualidades y potenciales que no sabemos ni po-

* Sólo en el sentido de algo grande y sublime, creador y poseedor de pensamientos.

demos medir. En un futuro muy lejano, seguramente nuestro cerebro se convertirá en energía pura, luz cegadora.

Dentro de nuestro ser están todas las respuestas y sólo necesitamos tiempo para encontrarlas. Nuestra mente es la energía del universo. Aún no sabemos utilizarla y pasarán, posiblemente, millones de años hasta que estemos preparados para saber lo que en realidad es la conciencia.

Mientras eso llega, algunos curiosos como yo, con más voluntad que conocimientos, tratan de especular con ideas y conceptos que nos puedan dar alguna luz sobre tan complicado problema.

Nuestra mente es una maravilla de la naturaleza, algo tan grande que a pesar de los muchos avances y conocimientos alcanzados, no podemos explicar... aún.

Está claro que como me ha comentado mi amigo José Manuel Mora esta misma mañana, la materia tiene memoria y es precisamente esa memoria, la que hace posible el avance de nuestros conocimientos a través de la mente que, sin duda, está directamente conectada con el resto del universo y las fuerzas que lo gobiernan, que son las que hacen posible su funcionamiento tal como acontece.

Pero nada es tan sencillo ni podemos hablar de lo sensorial sin tener en cuenta el plano más simple y cotidiano que está referido a la materia, a nuestro cuerpo.

Entender las claves que explican el devenir de la vida sobre este planeta, con la idea en el horizonte de aspiraciones intelectuales a que nos aboca la conciencia del SER, no resulta fácil. La complejidad de la empresa exige tener en cuenta múltiples factores que no siempre estamos preparados para comprender.

Lynn Margulis comenzó a explorar los caminos de la genética a partir de un libro escrito en el siglo XIX por Edmund B. Webs. En ese texto en-

contró reflexiones sobre la herencia citoplasmática y datos sobre las bacterias, entonces no muy consideradas en el estudio del origen de la vida.

La doctora Margulis, profesora del Departamento de Geociencias de la Universidad de Massachusetts (Estados Unidos) relacionó el papel de las bacterias con la microbiología, una ciencia surgida de la medicina, de la salud pública y del procedimiento seguido para procesar los alimentos. De ahí saltó al estudio del tema que ocupa su curso magistral: Contribución de los microbios a la evolución.

Merece por su interés, que sepamos lo que ella dijo y lo que piensa sobre este interesante asunto.

Ella centraba el curso en la enorme importancia que tenían los microbios para nosotros, no siempre bien valorados. Los microbios pueden ser definidos como organismos que no podemos ver a simple vista, y la cultura popular dice que tan sólo sirven de agentes para canalizar enfermedades, pero esa apreciación conlleva un error muy serio. Por ejemplo, el 10% del peso del cuerpo humano en seco está compuesto por microbios, sin los cuales no podemos vivir ni siquiera un día. Ellos asumen tareas tan importantes como la de generar el oxígeno del aire que precisamos para respirar. Además, tienen un papel fundamental en la evolución de la vida: todos los seres vivos considerados simples – animales, plantas, hongos, etc – están hechos de microbios en combinación simbiótica con otros organismos. Se trata de una historia que se aleja en el pasado hasta 3.500 millones de años en el curso de la vida sobre la superficie de nuestro planeta: La Tierra.

Los conceptos que maneja y esgrime la doctora en genética están encuadrados en una visión totalmente contradictoria con la religión y otros muchos conceptos culturales.

Preguntada la doctora Margulis si la mala imagen de los microbios nacía de un estudio deficiente de la microbiología, o si simplemente surgía a partir de tópicos sin fundamentos. Su contestación fue:

“La asociación de esos pequeños organismos con aspectos negativos se explica por el origen de su estudio científico, que siempre estuvo relacionado con descubrimientos ligados a la investigación en torno a enfermedades. Junto a esta idea, lo cierto es que pensamos en formas ideales que corresponden al esquema platónico de hace casi 30 siglos, cuando en realidad no existen tales ideas sino organismos que interaccionan con el medio ambiente en el que se encuentran. Esta colaboración recibe el nombre de ecología. De hecho, el concepto de independencia no tiene sentido en este campo: al margen de los microbios moriríamos inmediatamente.”

Aquel día, como casi todos los días de mi vida, aprendí cosas nuevas y muy interesantes que me confirmaron que nuestras vidas podrían ser cualquier cosa, menos simples. Es tal el nivel de complejidad implicado que, precisamente por eso, no somos capaces de explicarla al completo, sólo vamos dominando parcelas limitadas que algún día, al ser unidas, nos darán las respuesta.

Como ya apuntaba al principio de esta parte del libro, cada ser humano es una consecuencia, cambiante en el tiempo, de la interacción entre una dotación genética única y una serie de experiencias, también única, en el mundo. Y es por ello que el hombre no viene predeterminado al mundo. Y es de esta manera además que en alguna medida, el hombre puede soñar en una libertad que le permite hacerse a sí mismo. A ello, que no es nuevo, hay que añadir hoy otra dimensión de trascendencia no imaginable.

Somos frágiles, estamos marcados por genes que nos pueden traer enfermedades complejas de todo tipo que ponen en peligro nuestras vidas. Ciento que el ser humano puede nacer con genes mutados, y de hecho es el caso, que predisponen a padecer enfermedades. Pero esto no es suficiente, en absoluto, para que haya aparición clínica de estas enfermedades que llamamos complejas y que son las más como las poligénicas como la esquizofrenia, el alzheimer o el parkinson, una arteriosclerosis, hipertensión, algún tipo de diabetes o de cáncer y junto a todas estas, una larga lista de enfermedades.

Sin embargo, podemos tener el gen y éste quedar dormido para siempre, si no lo despertamos. Para que tal cosa ocurra es necesario que esos genes mutados, en su acción e interacción entre ellos y con otros genes, interactúen a su vez con el medio ambiente que rodea al individuo y sus estilos de vida y haga que la enfermedad se exprese. De ello, y como corolario, se deduce una idea realmente revolucionaria, y esta es que el ser humano podría vivir sin enfermedades, al menos sin las más importantes que nos acechan, si conociésemos esos determinantes ambientales, decisarios y al que se ha puesto el nombre de “ambioma”.

El concepto de ambioma (Dr. López Rejas) se ha definido como “*el conjunto de elementos no genéticos, cambiantes, que rodean el individuo y que junto con el genoma y proteoma conforman el desarrollo y construcción del ser humano o puede determinar la aparición de enfermedad*”.

¡Es el gran desconocido de la ciencia de hoy!

Por si acaso, alejémonos del tendido de alta tensión.

Pero sí, sin duda alguna, el ambioma, es el elemento determinante, como ya sospechamos, de que aparezcan enfermedades como la leucemia y otras.

Se han realizado muchos estudios y aunque no tenemos los conocimientos para asegurarlo, todos apuntan en la misma dirección: el medio ambiente que nos rodea (ambioma), es determinante en la aparición de ciertos trastornos. Las pruebas más frecuentes están relacionadas con urbanizaciones y centros escolares situados en zonas de tendidos eléctricos de potente voltaje. Otras, como la emanación de gases de centros industriales y sus desechos contaminados, también están entre las causas más frecuentes de trastornos físicos. Claro que las grandes empresas niegan cualquier incidencia.

No podemos cerrar los ojos a esta realidad; esta nueva área de conocimientos, el ambioma, nos llevará a darnos cuenta que tiene ingredientes que influyen, y a veces poderosamente, en el individuo y en su desarrollo a lo

largo de su vida, hasta tal punto que se cree pueda ser el factor determinante para acortarla en el tiempo.

La acción poderosa y nociva que una radiación continuada puede inferir en nuestros frágiles organismos, son incalculables y no siempre dichas radiaciones pueden ser medidas con claridad; no todas las radiaciones gritan su presencia como en el caso de la fisión nuclear:

Es posible comenzar un trabajo con una idea preconcebida y que dicho trabajo tome sus propios caminos que, en realidad, vienen a converger siempre en ese punto central que era la idea original, ya que todo está conexionado de alguna manera misteriosa.

Empezamos hablando de la mente, de las sensaciones y de la conciencia, del ente sensible y complejo que guardamos en la caja fuerte-pensante que todos llevamos sobre los hombros y estamos tocando temas relacionados que de alguna manera, inciden en el avance de esa prodigiosa máquina del entendimiento, y de las ideas y sensaciones.

Podríamos poner aquí miles de ejemplos de ideas brillantes salidas de mentes humanas, sin embargo, me viene a la memoria un titular: “Los descubridores del pegamento que une la materia ganan el Nobel de Física” (decía un periódico allá por el último trimestre de 2.004).

La noticia se refería a David Gross, David Politzer y Frank Wilczek, los descubridores del funcionamiento de la fuerza que cohesionan a los quarks, las partículas más elementales.

Cualquiera que haya leído sobre temas de ciencia de la materia, sabe que desde los tiempos de la antigua Grecia hasta el de Einstein, el gran sueño de todos los sabios que han estudiado la naturaleza ha sido una descripción precisa y completa de nuestro universo, las constantes de la naturaleza y las fuerzas fundamentales, algo que ya está más cerca gracias al trabajo de estos tres científicos estadounidenses.

Hace más de treinta años que Gross, Politzer y Wilczek desvelaron el enigmático funcionamiento de la llamada interacción fuerte, una de las cuatro fuerzas fundamentales que rigen el universo y que actúa como un pegamento cósmico para mantener unida la materia. Su trabajo reveló cómo los quarks, las diminutas partículas que forman los nucleones de los átomos, interactúan entre sí para mantenerse unidos.



David Gross



Frank Wilczek



David Politzer

Las fuerzas que podemos sentir en la vida cotidiana, es decir, la gravedad y el electromagnetismo, aumentan con la cercanía: así, cuando más cerca está un clavo de un imán o una manzana del suelo, más se verán atraídos.

Por el contrario, la interacción fuerte disminuye cuanto más cerca y juntas están las partículas en el interior de los átomos, aumentando cuando las partículas se alejan las unas de las otras.

El descubrimiento de esta extraña propiedad, llamada libertad asintótica, supuso toda una revolución teórica en los años 70 (se publicó en 1.973), pero ya plenamente respaldada por los experimentos en los aceleradores de partículas, aconsejó, a la Academia, conceder 30 años más tarde, el Premio Nobel de Física a sus autores.

“Ha sido un gran alivio. He estado pensando en ello durante mucho tiempo – comentó al enterarse de la noticia Frank Wilczek.”

“No estaba claro que fuera un adelanto en aquel momento. La teoría que propusimos era descabellada en muchos aspectos y tuvimos que dar muchas explicaciones – reconoció el investigador.”

Tanto Wilczek como Politzer eran aún aspirantes a doctores en 1.973, cuando publicaron su descubrimiento en Physical Review Letters. Junto a su informe, la misma revista incluyó el trabajo de David Gross, que unido al de los dos estudiantes ha dado lugar a la celebrada teoría de la Cromodinámica Cuántica (QCD).

Siguiendo una arraigada costumbre de la física de partículas, los investigadores emplearon nombres comunes y desenfadados para señalar sus nuevos descubrimientos y llamaron “colores” a las intrincadas propiedades de los quarks.

Por ello, su teoría es conocida en la actualidad por el nombre de Cromodinámica (*cromo* significa “color” en griego), a pesar de que no tienen nada que ver con lo que entendemos y llamamos color en nuestra vida cotidiana, sino con el modo en que los componentes del núcleo atómico permanecen unidos. En este sentido, resulta mucho más intuitiva aunque no menos divertida, la denominación de las partículas que hacen posible la interacción fuerte, llamadas gluones (*glue* es “pegamento” en inglés).

Al igual que en la teoría electromagnética, las partículas pueden tener carga positiva o negativa, los componentes más diminutos del núcleo atómico pueden ser rojos, verdes o azules.

Además, de manera análoga a como las cargas opuestas se atraen en el mundo de la electricidad y el magnetismo, también los quarks de distinto color se agrupan en tripletes para formar protones y neutrones del núcleo atómico.

Pero estas no son las únicas similitudes, ni siquiera las más profundas que existen entre las distintas fuerzas que rigen el universo. De hecho, los

científicos esperan que en última instancia todas las interacciones conocidas sean en realidad la manifestación variada de una sola fuerza que rige y goberna todo el cosmos.

Según la Academia Sueca, el trabajo premiado a estos tres físicos, “constituye un paso importante dentro del esfuerzo para alcanzar la descripción unificada de todas las fuerzas de la naturaleza”. Lo que llamamos teoría del todo.

Según Frank Wilczek, que ahora pertenece al Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), su descubrimiento “reivindica la idea de que es posible comprender la naturaleza racionalmente”. El físico también recordó que “fue una labor arraigada en el trabajo experimental, más que en la intuición”, y agradeció “a Estados Unidos por un sistema de enseñanza pública que tantos beneficios me ha dado”.

Sabemos que los quarks (hasta el momento) son las partículas más elementales del núcleo atómico donde forman protones y neutrones. La interacción fuerte entre los quarks que forman el protón es tan intensa que los mantiene permanentemente confinados en su interior, en una región $R \approx hc/\Lambda \approx 10^{-13}$ cm, y allí la fuerza crece con la distancia; si los quarks tratan de separarse la fuerza aumenta (confinamiento de los quarks), si los quarks están juntos los unos a los otros la fuerza decrece (libertad asintótica de los quarks). Nadie ha sido capaz de arrancar un quark libre fuera del protón.

Con aceleradores de partículas a muy altas energías es posible investigar el comportamiento de los quarks a distancias mucho más pequeñas que el tamaño del protón.

Así, el trabajo acreedor al Nobel demostró que la fuerza nuclear fuerte actúa como un muelle de acero; si lo estiramos (los quarks se separan) la fuerza aumenta, si lo dejamos en reposo en su estado natural, los anillos juntos (los quarks unidos), la fuerza es pequeña.

Así que la cromodinámica cuántica (QCD) describe rigurosamente la interacción fuerte entre los quarks y en el desarrollo de esta teoría, como se ha dicho, jugaron un papel fundamental los tres ganadores del Nobel de Física de 2.004, cuyas fotos y nombres hemos puesto antes.

Trabajos y estudios realizados en el acelerador LEP del CER durante la década de los 90 han hecho posible medir con mucha precisión la intensidad de la interacción fuerte en las desintegraciones de las partículas Z y t, es decir, a energías de 91 y 1'8 GeV los resultados obtenidos están en perfecto acuerdo con las predicciones de QCD, proporcionando una verificación muy significativa de libertad asintótica.

Mini Big Bang a 100 metros bajo tierra

Habiendo mencionado el CER (Centro Europeo de Investigación Nuclear) me parece muy oportuno recordar aquí que está a punto de finalizar la construcción del LHC (el Gran Colisionador de Hadrones, el acelerador de partículas más grande del mundo).

Simular el nacimiento del universo no resulta nada sencillo. Primero hay que excavar un túnel subterráneo de 100 m de profundidad, en cuyo interior se debe construir un anillo metálico de 27 kilómetros enfriado por imanes superconductores cuya función es mantener una temperatura bastante fresca, nada menos que 271 grados bajo cero.

A continuación hay que añadir a la ecuación dos puñados de protones lanzados al vacío de este tubo subterráneo en direcciones opuestas, y a una velocidad inimaginable que prácticamente debe rozar la velocidad de c la velocidad de la luz en el vacío. Es sólo entonces cuando las múltiples colisiones de partículas que se produzcan en el interior del anillo producirán condiciones que existían inmediatamente después del Big Bang, ese descomunal estallido cósmico que dio el pistoletazo de salida para el surgimiento

de nuestro mundo y de la vida inteligente a partir de esta materia inerte creada y evolucionada después en las estrellas.

En el corazón de la cordillera del Jura, justo en la frontera entre Francia y Suiza, el Centro Europeo de Investigaciones Nucleares (CERN), está ultimando la construcción de esta maravilla que cuando se finalice de instalar todos los componentes de esta faraónica obra científica (cuyo coste está ya en 40.000 millones de euros y se ha tardado 15 años en construirse), unos 10.000 investigadores de 500 instituciones académicas y empresas esperan descubrir nuevas claves sobre la naturaleza de la materia y los ladrillos fundamentales de las que se compone el universo.

¿Podremos encontrar por fin, en 2.008, cuando funcione este Gran Acelerador de Hadrones, esa esperada y soñada partícula a la que algunos han llegado a llamar la “Partícula Divina”, conocida por partícula de Higgs y que se tiene por el bosón que proporciona las masas a todas las demás?

Este acelerador tan largamente esperado comenzará a funcionar en 2.008 y las partículas que se inyecten en su interior colisionaran aproximadamente seiscientos millones de veces por segundo, desencadenando la mayor cantidad de energía jamás observada en las condiciones de un laboratorio, aunque aún estará muy alejada de la energía necesaria para comprobar la existencia de las cuerdas vibrantes. Pero eso sí, nos dejará ver otras partículas nuevas hasta ahora esquivas, pertenecientes al grupo más elemental de los componentes de la materia.

El LHC producirá tantos datos que necesitarán una pila de CD de 20 Km de altura para almacenar tanta información generada por los experimentos y una legión de físicos para estudiar resultados. Será fascinante.

El trabajo que se lleva a cabo en el CERN constituye una contribución muy importante al conocimiento de la humanidad para comprender el mundo que nos rodea.

La pregunta clave, ¿de qué se compone la materia de nuestro universo? y ¿cómo llegó a convertirse en lo que es?

Es increíble el logro de conocimiento y tecnología que el hombre tiene conquistado a principios del siglo XXI. Este mismo artilugio al que llaman acelerador LHC es la mejor prueba de ello, por ejemplo, los sistemas criogénicos que deben mantener ese inimaginable frío de 271 grados bajo cero o los campos electromagnéticos que deben asegurar que la aceleración de los haces de partículas las recorran los 27 Km del anillo subterráneo a un 99'99% de la velocidad de la luz.

Si todo sale como está previsto y se cumplen todas las expectativas de los científicos, se calcula que cada segundo un protón dará 11.245 vueltas al anillo del LHC. Teniendo en cuenta que cada haz de estas partículas tendrá una duración de 10 horas, se estima que recorrerá un total de 10.000 millones de kilómetros (suficiente para llegar a Neptuno y volver).

La energía requerida por el haz de protones al viajar por el acelerador es el equivalente a un coche viajando a 1.600 Km/h por el carril rápido de una autopista imposible, o la cantidad de energía almacenada en los imanes superconductores que mantendrán la temperatura a -271° sería suficiente para derretir 50 toneladas de cobre.

El LHC está dividido en 8 sectores de 3'3 Km cada uno, y de momento sólo se ha logrado el enfriamiento de uno de los sectores a la temperatura necesaria para llevar a cabo las colisiones que simularán, en miniatura, las condiciones del Big Bang.

El Bosón de Higgs, el tesoro más buscado, será el premio. Una partícula que predice el modelo teórico actual de la física, pero para el que hasta ahora no existe evidencia alguna. Se supone que este “ladrillo” fundamental del cosmos (cuyo nombre proviene del físico escocés que propuso su existencia en 1.964, Peter Higgs) es crucial para comprender cómo la materia adquiere su masa.

John Ellis, uno de los investigadores del CERN, ha dicho: “*si no encontramos la partícula de Higgs, esto supondría que todos los que nos dedicamos a la física teórica llevamos 35 años diciendo tonterías*”.

Espero que no sea así y que la dichosa partícula aparezca. Herman Ten Kate, otro físico del CERN, se atreve a predecir que la partícula de Higgs aparecerá antes de ocho meses a partir del comienzo de la búsqueda en los primeros meses de 2.008.

Creo que me he extendido demasiado en el ejemplo; cuando me introduzco en temas de física se me va el santo al cielo, pero estamos tratando sobre nosotros y la manera en que evolucionamos para adquirir los conocimientos y sensaciones que tenemos.

Pocas historias atraen más a los humanos que la de sus orígenes, la de cuál fue el camino que nos llevó a ser lo que somos, incluyendo claro, con quiénes estamos emparentados y cómo y cuándo nos separamos de tales ancestros. Un ejemplo de ello es el de mi amigo Ángel Lema, profesor de física jubilado que para tener una misión que lo mantenga ocupado está elaborando un árbol genealógico de su familia.

De todo eso hemos estado tratando en las páginas de este libro; hemos realizado un viaje a través de las brumas del tiempo para explorar acontecimientos pasados relacionados con nuestra evolución.

¿Qué es lo que nos apartó tan decisivamente de todas las otras especies con las que compartimos el planeta? ¿En qué momento de nuestra historia evolutiva aparecieron las diferencias que nos separaron de las demás criaturas? ¿La denominada “mente” (o mundo mental) es algo específico de los humanos o se trata de un rasgo general de la psicología animal? ¿Por qué surgió el lenguaje? ¿Qué es eso que llamamos cultura y que muchos consideran el sello de la Humanidad? ¿Somos la única especie que puede presumir de ella? Y quizás la pregunta más crucial de todas: ¿por qué estas diferencias nos escogieron a nosotros y no a otras especies?

Son preguntas que a veces no sabemos contestar y sin embargo sabemos que alma-mente y cuerpo conforman un conjunto armonioso que hacen de nosotros seres únicos en el universo.

Tenemos unos sensores que nos permiten sentir emociones como la tristeza, la ternura, el amor o la alegría. Nos elevamos y somos mejores a través de la música o la lectura de unos versos. Igualmente podemos llegar al misticismo del pensamiento divino, o incluso profundizar en los conceptos filosóficos de las cosas hasta rozar la metafísica.

La música es el lenguaje de las emociones, pero ¿qué es el amor? ¿Quién no ha sentido alguna vez ese nudo en el estómago y perdido las ganas de comer? ¿Quién no ha sentido alguna vez ese sufrimiento profundo de estar alejado del ser amado y el inmenso gozo de estar junto a ella/él?

Al igual que todo lo grande está hecho de cosas pequeñas, lo que entendemos por felicidad esta compuesto de efímeros momentos en los que ocurren cosas sencillas, que la mayoría de las veces ni sabemos apreciar.

Lo que llamamos inteligencia está dentro de todos nosotros, unos tienen más cantidad de ese ingrediente y otros tenemos menos. Aparece con el lenguaje, pero ya desde la cuna el niño muestra una actividad sensorial y motriz extraordinaria que a partir del primer año presenta todos los caracteres de comprensión inteligente. Con la ayuda de su entorno, el niño va realizando las adaptaciones sensoriales elementales construidas por reflejos.

Más tarde aparecerán los numerosos estadios de las adaptaciones intencionales de libre inclinación que acabarán conduciendo al individuo a desarrollar una personalidad única, con el poder de inventar mediante la deducción o combinación mental de los hechos que ve y conoce por el mundo real y que puede dar lugar a crear situaciones y mundos de fantasía; es la creación de la mente. Con las vivencias del entorno, lo que se enseña y lo que aprende por el estudio, se forma una personalidad más o menos elevada según factores de índole diversa que nunca son los mismos, en cada caso se dan circunstancias muy individualizadas.

Todos quedamos marcados para el resto de nuestras vidas en relación a lo que de niño nos han enseñado, nos han querido y el entorno familiar en el que nos tocó vivir, son cosas que se graban a fuego en la mente limpia del niño, que de esta manera comienza su andadura en la vida condicionado por una u otra situación que le hace ser alegre y abierto o taciturno, solitario y esquivo, con una fuerte vida interior en la que, para suplir las carencias y afectos, se crea su propio mundo mental y privado.

La mente humana es un bien “divino”, no se trata de una cosa más, es algo muy especial y tan complejo y poderoso que ni nosotros mismos, sus poseedores, tenemos una idea clara de dónde puede estar el límite.

La mente guarda nuestra capacidad intelectual; tiene los pensamientos dormidos que afloran cuando los necesitamos, es la que guía nuestras actitudes y comportamientos, la voluntad y todos los procesos psíquicos conscientes o inconscientes, es la fuente creadora o destructora y, en definitiva, es lo que conocemos por ALMA.

Todas las cosas son, pero no de la misma manera. Hay esencia y sustancia que conviven para conformar al sujeto que ES. “Somos” parte del universo y estamos en el tiempo/espacio para desarrollar una misión que ni nosotros mismos conocemos. Vamos imparables hacia ella y actuamos por instinto. Nos dieron las armas necesarias para ello: inteligencia, instinto y curiosidad. Estos tres elementos nos transportan de manera imparable hacia el futuro inexorable que nos está reservado.

El conjunto de nuestras mentes tiene un poder infinito que, de momento, está disperso; las ideas se pierden y cuando nacen no se desarrollan por falta de medios y de apoyos. Es una energía inútil que, invisible, está vagando por el espacio sin ser aprovechada.

Estoy totalmente seguro de que nuestros cerebros ven el mundo que les rodea bajo su propia perspectiva, es decir, lo filtra y en buena medida lo crea. El cerebro no es pasivo, sino que todo lo que percibe lo transmite “a su manera”, desde su propia percepción, desde su propia realidad, desde su

propio mundo físico de todos los sucesos y experiencias que tiene registrados, para conformar un entorno y un mundo de las propias ideas.

Si pudiéramos “ver” lo que ve un perro, nos quedaríamos asombrados del mundo tan diferente al nuestro que percibe su cerebro con sus propias ideas y percepciones físicas y psíquicas.

Nosotros, los humanos, somos algo especial y nuestros cerebros no están en proporción con el peso de nuestros cuerpos si nos comparamos con el resto de los animales. Tanto es así que si el cuerpo del ser humano siguiera las proporciones con respecto al cerebro que se dan como media en los mamíferos, nuestros cuerpos deberían pesar casi diez toneladas (aproximadamente lo que pesa un rinoceronte).

Nuestro cerebro es potente y tiene capacidades para “crear” su propio mundo; así pensamos que el mundo que vemos, oímos y tocamos es el mundo “real”, sin embargo, estaría mejor decir que es un mundo real humano. Otros lo ven, lo oyen y lo perciben de manera diferente a la nuestra, así que en nuestro propio mundo, para ellos, la realidad y el mundo es diferente, la que conforme sus cerebros.

No podemos ni comunicarnos con seres que comparten con nosotros el mismo planeta. Estos seres, de diversas morfologías y diferentes entornos en sus formas de vida tienen un desarrollo cerebral distinto y, a veces, ni sabemos qué es lo que tienen (caso de las plantas y vegetales en general).

Pensemos que si eso es así en nuestro propio mundo, ¿cómo podríamos contactar con seres pertenecientes a mundos situados en galaxias alejadas miles de millones de kilómetros de la nuestra?

Ni siquiera podríamos comunicarnos con ellos cuyos lenguajes abstractos y matemáticos estarían conformados de manera muy diferente mediante una organización distinta de sus cerebros, que harían imposible un entendimiento, ya que ellos y nosotros tendríamos percepciones muy diferentes del universo; cada uno lo vería en función de las reglas de los respectivos cere-

bros que, por lógica, serían diametralmente opuestos. No se descarta la posibilidad de civilizaciones que, basadas en el carbono como la nuestra, esté conformada por seres similares o parecidos a nosotros.

Dicen que los números y las matemáticas es el lenguaje universal, seguramente sería así..., sin embargo nosotros tenemos 1, 2, 3, 4, 5... etc y ellos podrían tener grafos que para nosotros resultarían totalmente incomprendibles; además, sus formas operativas y sus reglas podrían llegar a las mismas conclusiones que nuestra geometría, funciones modulares, álgebras, etc, aunque por distintos caminos. ¿Cuánto tiempo nos llevaría aprender los unos de los otros? ¿Y el lenguaje? La verdad es que cerebros tan dispares en su construcción física verían y estarían en universos diferentes, no imaginables en su construcción física, química, organizativa y funcional. ¡Qué complicado es todo!

Así las cosas, el sueño de comunicarnos con otros seres vivos e inteligentes situados en otro lugar de nuestra galaxia o en otras galaxias lejanas, es eso, un sueño. No hemos sido capaces ni de comunicarnos con los seres vecinos que comparten con nosotros el planeta Tierra. Claro que estarán ahí, en algunos planetas lejanos sustentados por estrellas similares a la nuestra. Sin embargo, dependiendo de la masa y la atmósfera de esos planetas, así serán sus conformaciones físicas.

Se deduce que, como el niño pequeño que nos hace gestos y al que miramos sin entender, nuestra civilización es muy joven, está en el tiempo del balbuceo, tiene que aprender aún muchas cosas y, a nivel cósmico, eso lleva tiempo. Lo que sí es seguro es que ningún vecino cercano está por los alrededores, ya que de ser así, nuestra actual tecnología lo habría detectado. También podría ocurrir que tengamos cerca una civilización más atrasada en la que no se emiten señales que podamos escuchar, pero el estudio de los planetas situados en un radio de diez años luz no parecen idóneos para que ello sea así.

Pero el tiempo está ahí, siempre ha estado ahí, no se irá, y contando con ello podemos tener la esperanza de que creceremos, nos haremos mayores, nuestros cerebros evolucionarán y aprenderán a construir naves que nos

llevarán muy lejos. Sin duda encontraremos a otros seres, y aprenderemos un lenguaje cósmico y universal que dentro de muchos eones nos permitirá esa comunicación que hoy, a muchos, les parece imposible, claro que son personas de nuestra especie con escasa visión de futuro, cortos de entendidas y, sobre todo, carentes de ilusión y fantasía.

Los hay que, cortos de mira, son incapaces de visualizar nuestro destino. No tienen una idea clara de lo que es nuestra mente, de lo que puede llegar a conseguir cuando evolucione lo necesario. En la escala del tiempo cósmico, en realidad, somos unos bebés. ¿Qué seremos capaces de hacer cuando seamos mayores? Cuando comentando sobre estos temas algunos expresan su pensamiento de la imposibilidad de ir a otros mundos habitados, no puedo evitar el recuerdo de aquel presidente de una prestigiosa Sociedad Científica de Londres, que en una conferencia multitudinaria dijo: “Ningún aparato más pesado que el aire podrá volar nunca”. Poco después remontó el vuelo el primer avión.

He dicho muchas veces que nuestro origen está en las estrellas, el único sitio donde se podía fabricar el material del que estamos hechos, y también me he cansado de decir que nuestro destino está en las estrellas; algún día, tendremos que dejar nuestro querido planeta Tierra para buscar acomodo en otros mundos más o menos lejanos.

En 1.957, el astrónomo alemán Wilhelm Gliese publicó un catálogo de estrellas cercanas al Sol. La número 581 de su lista era un astro insignificante situado a unos 20 años luz, con sólo un tercio de la masa solar y la centésima parte de su luminosidad. Una enana roja más, probablemente el tipo de estrella más común en el universo.

Medio siglo después, Gliese 581 ha saltado a la fama. En 2.005, un equipo capitaneado por los veteranos cazadores de planetas: Michel Mayor y Didier Queloz, descubrió casi pegado a la estrella un planeta (Gliese 581b) de unas 15 masas terrestres.

Recientemente, el mismo grupo ha refinado sus observaciones que han revelado la presencia de dos compañeros del anterior: a 10 millones de kilómetros de la estrella orbita Gliese 581c, de sólo unas 5 veces la masa terrestre; y a 37^M kilómetros, Gliese, que pesa como 8 Tierras. Ambos son netamente mayores que nuestro planeta y menores que los gigantes de hielo (Urano y Neptuno, 14 y 17 masas terrestres). En los últimos años, este tipo de planetas inexistentes en el Sistema Solar se han venido denominando supertierras.

Nuestro planeta, como sabéis, circula a la respetable distancia de 150 millones de kilómetros del Sol, 1 Unidad Astronómica, lo que permite apreciar lo cerca que están los nuevos planetas de la estrella madre. Los tres serían bolas de fuego si orbitasen en torno a una estrella como la nuestra, pero las enanas rojas son hogueras suaves: sus descubridores han aventurado que Gliese 581c podría mantener agradables temperaturas, entre -3 y +40° C. Y la ecuación: Posibilidad de agua líquida en un planeta = a vida.

¿Existe atmósfera? Los cazadores son, naturalmente, más cautos. La temperatura dependerá del tipo (o tipos) de superficie del planeta y de la abundancia y composición de sus nubes. Los oscuros bosques y mares de la Tierra absorben hasta el 90% de la radiación solar, mientras que el hielo refleja el 80%. Pero sobre todo es la composición de la atmósfera de un planeta, su riqueza en gases de invernadero, la que rige, mucho más que la estrella, su clima. Así que, a falta de estos datos, este rango de temperatura es sólo una especulación razonable. En lo referente al agua y a la atmósfera, dadas las dimensiones de esos planetas parece un cálculo razonable y razonado.

Todo esto, el comentario, sólo es una muestra pequeña de la inquietud que tenemos en buscar sustitutos a la Tierra. En nuestro subconsciente sabemos que algún día necesitaremos nueva casa.

Sin embargo, en este punto crucial de la exploración planetaria, el descubrimiento de supertierras en sistemas planetarios sin jovianos nos lleva a un panorama nuevo y vertiginoso: quizás los mundos súper jupiterianos sean los elefantes del zoo planetario, que podría estar poblado sobre todo por

animales más pequeños en números enormes. Podrían existir incontables planetas-insectos.

Esos enormes planetas tienen una enorme fuerza gravitatoria, y seres como nosotros seríamos literalmente aplastados contra la superficie; allí sólo pueden existir seres de peso ínfimo a los que la gravedad no les afecte apenas.

A 27 de abril han contabilizados 229 planetas fuera del Sistema Solar. No tenemos amplios datos sobre ellos, pero sí podemos decir que ahí fuera existen cientos de miles de planetas que, al ser de distintas características, unos tendrán agua y atmósfera y las dimensiones idóneas para albergar la vida, ¿inteligente?, esa es otra historia que requeriría algunos cientos de miles de páginas para tratar en profundidad. Sin embargo, pensemos:

Sólo en nuestra galaxia existen 100.000 millones de estrellas. El universo está poblado por cientos de miles de millones de galaxias cuyo promedio es también de 100 mil millones de estrellas cada una.

En cada galaxia existen miles de millones de soles con sus planetas, lo que supone una cantidad enorme de mundos.

¿Podemos pensar que de entre cientos y cientos de miles de millones de planetas, sólo la Tierra alberga la vida inteligente? Parece algo pretencioso, ¿no os parece?

El universo está lleno de vida que se aparece en mil formas diferentes, unas inteligentes y otras vegetativas, de distintas morfologías e incluso distintas en sus componentes básicos que, a diferencia de la nuestra basada en el carbono, aquellas podrán tener un origen vital en el silicio o vaya usted a saber de qué componentes podrían estar formadas y si han dado origen a civilizaciones inteligentes que ni podemos imaginar.

No tenemos que asombrarnos de nada; nosotros mismos, de seguro, asombraríamos a una raza inteligente que nos pudiera observar y viera que

la patente nº 6.754.472 ha sido concedida a Microsoft y ampara los mecanismos o procedimientos para “transmitir datos y energía utilizando el cuerpo humano”. Se trata, según aparece, de aprovechar la conductividad de la piel para conectar una serie de dispositivos electrónicos por todo el cuerpo.

Me viene a la mente una escena futurista en la cual una raza avanzada conecta un dispositivo metálico en la sien de un humano y, en una pantalla, aparecen las imágenes de sus recuerdos. Sí, puede parecer exageraciones, pero a mí particularmente me parecen escenas cotidianas de cualquier día del siglo XXIII.

Es increíble lo que puede desarrollar la mente humana, y sus logros no parece que puedan tener barreras. En cada época aparece un científico que mejora los descubrimientos de sus antecesores; así ocurrió con Newton y Einstein, por ejemplo.

En el año 1.927, en un congreso de física celebrado en Como (Lago de Italia, provincia de Como, en Lombardía, al pie de los Alpes, atravesado por el río Adda y rodeado por colinas cubiertas de bosques que lo hacen muy pintoresco), Niels Bohr habló por primera vez del “Principio de complementariedad”, una idea que tuvo fortuna científica y fortuna literaria. Esta mezcla suele poner de los nervios a los científicos, que consideran escandaloso, y con razón, que se usen conceptos científicos fuera de su contexto. Todos hemos visto aplicar las ideas de relatividad, caos, fractales, indeterminación, singularidad (que no tienen sentido fuera de su expresión matemática) para hablar de todo lo divino y lo humano.

Aquel congreso quedó inscrito en los anales de la historia de la física. Asistieron Born, Compton, Fermi, Heisenberg, Lorentz, Millikan, Pauli, Planck, Sommerfeld, es decir, lo más reluciente del ingenio humano en la física del momento, a excepción de Einstein que, por motivos personales, no asistió.

En su enunciado Bohr dijo que quería resolver las diferencias insalvables que había entre la descripción clásica de los fenómenos físicos y la des-

cripción cuántica. La diferencia fundamental (dicho en plan coloquial) era que la física clásica creía en la realidad de los fenómenos, mientras que la cuántica pensaba que el estado del sistema depende del observador.

Puso como ejemplo la naturaleza de la luz.

¿Es una onda o una partícula?

Para explicar los fenómenos de interferencia hay que considerarla onda, pero para explicar la interacción entre radiación y materia conviene considerarla corpúsculo. Born propuso su “Principio de complementariedad”. El fenómeno depende del sistema de observación y, en último término, la realidad no sería más que el resultado de todos los sistemas posibles de observación.

Muchos años después, Richard Feynman, con su contundencia habitual dijo: “*La dualidad de la luz es el único misterio de la física*”. Bueno, añadió otra cosa: “*La teoría cuántica está simplemente más allá de cualquier explicación*”.

A partir del congreso de Como, todos los físicos (menos Einstein) se hicieron kantianos. Recordad que Kant había separado la “cosa en sí” de las cosas tal y como aparecen en nuestro conocimiento, es decir, de los fenómenos. Nosotros sólo podemos conocer los fenómenos, nunca las cosas tal como son en realidad. Esto ha suscitado muchas disputas entre los físicos, que no saben si la realidad sometida al Principio de complementariedad es la última realidad o hay otra más real por debajo, escondida allí donde no podemos verla. Es interesante seguir el proceso de invención de ese principio, porque demuestra una vez más que un científico no llega a una teoría por un procedimiento racional, sino por una especie de golpe de intuición que salta en su cerebro y le sugiere la solución.

¿Saltará en mi cabeza, por fin, el secreto de las fluctuaciones de vacío en esa dichosa quinta dimensión, donde está escondida la materia oscura que nos envía gravitones a nuestra dimensión para hacerse sentir?

Jerome Bruner, un avisado psicólogo del pasado siglo, contó una conversación que había mantenido con Bohr acerca de la complementariedad del pensamiento y la emoción. El físico le confesó que su principio se le había ocurrido meditando sobre si debía castigar o no a su hijo que había hecho una trastada. “*Me di cuenta de que no se puede juzgar al mismo tiempo a la luz del amor y a la luz de la justicia*”. En fin, había caído en el mismo problema en que se habían enfrascado los teólogos medievales al preguntarse si Dios podía ser a la vez justiciero y misericordioso.

Todo esto viene a cuento porque acabo de leer un artículo del profesor Marina, que nos cuenta sobre un tal Shahriar S. Afshar y sus experimentos en el *Institute for Radiation Induce Studies* (Boston). Este señor cree haber encontrado, o mejor, dice haber demostrado que Bohr estaba equivocado. Dicho más técnicamente, se puede seguir el rastro de un fotón sin alterar el patrón de interferencias. Considera que la realidad tiene propiedades definidas y evaluables.

Pero da un paso más. Entre el fotón y la onda, escoge la onda. Más aún, piensa que si el resultado de sus experimentos se repite usando otras partículas, es la mecánica cuántica entera la que está en dificultades. Y ya en el disparadero, obtiene una última consecuencia. Si el fotón no existe, habría que retirarle a Einstein el Premio Nobel que ganó en 1.921.

Desde luego algunos no se paran en barra a la hora de ganar notoriedad, y además siempre encuentran una cohorte de acólitos que están dispuestos a seguirles. Llama la atención el editorial que ha publicado *New Scientist* reconociendo que los experimentos de Afshar tienen que ser corroborados, sin embargo, aplaude fervorosamente su intento. “*La ortodoxia cuántica ha sido aceptada durante demasiado tiempo sin cuestionar su autoridad. Afshar – continúa – sigue el mejor camino de la tradición científica: explorar los misterios, no oscurecerlos*”.

Es increíble la cancha que le dan al tal Afshar; me gustaría saber qué dicen los físicos al respecto.

¿Tendremos que cantar el réquiem por el fotón?

“*Sería un auténtico coñazo, yo estoy encariñado con él*”. Así se expresaba más o menos el profesor Marina en su interesante comentario.

Está claro que es la condición humana; siempre estaremos dispuestos para hacerles la puñeta a los otros. ¡Mira que pretender quitarle a Einstein el Nobel! ¡Sí, el que le dieron por el efecto fotoeléctrico!

Hay veces en las que está bien tomarse las cosas desde el punto de vista más distendido y coloquial, no siempre podemos estar tan serios.

La ironía es otro de los aspectos inteligentes de nuestra mente, es una vía de escape para evitar tensiones innecesarias.

Son tantas las pruebas y los exámenes que ha pasado con éxito la mecánica cuántica que lo de ese tal Afshar me parece una broma. El *cuanto* de energía de Planck como punto de partida desarrolló un sistema de teoría cuántica que se utilizó para explicar las propiedades de los átomos y moléculas, donde ese “cuanto” era el punto de partida. Se incorporó el principio de indeterminación de Heisenberg y la longitud de onda de De Broglie para establecer la dualidad onda–corpúsculo, en la cual está basada la ecuación de Schrödinger y su función de onda. Esta forma de mecánica cuántica se llama mecánica ondulatoria. Un formalismo alternativo pero equivalente es la mecánica matricial, basada en operadores matemáticos.

Sabiendo todo esto y conociendo algo de las bases sobre las que opera la mecánica cuántica, la pretensión de ese tal Afshar me parece una idiotez y algo ridícula, además de osada e impertinente. ¿No sabe que en boquita cerrada no entran moscas? Que demuestre primero y hable después.

Así que, la ecuación de Einstein $E_m = hf - \phi$, donde la energía cinética máxima está dada precisamente por esta ecuación, según el tal Afshar es una mentira. ¡Que tío!

Creo haberle dedicado más tiempo del necesario a este comentario, así que pasaremos a otra cosa.

El fotón, neutrino, electrón, protón, neutrón, muón, tau, kaón, sigma, omega, W y Z, gluón, quarks, gravitón, etc, son nombres muy familiares y cada uno de ellos nos trae una imagen o un recuerdo a nuestras mentes que los asocia a aquello de lo que forma parte.

El fotón es el cuanto de luz, radiación electromagnética de una longitud de onda comprendida entre 380 y 780 nm, que produce percepción visual. Se define como el producto de visibilidad por el poder radiante, siendo este último la intensidad de propagación de la energía luminosa.

El fotón, como partícula con masa en reposo nula que recorre el espacio vacío a 299.792.458 metros por segundo, puede ser considerado como una unidad de energía igual a hf , donde h es la constante de Planck y f es la frecuencia de la radiación en hertzios. Son necesarios para explicar el fenómeno fotoeléctrico y otros fenómenos que requieren que la luz tenga carácter de partícula.

De la luz podríamos estar hablando horas y horas, de sus propiedades en fotónica, fotoquímica, fotosfera y otros muchos ámbitos del saber humano con la luz relacionados, como por ejemplo, la claridad luminosa que irradian los cuerpos en combustión, ignición o incandescencia.

Newton nos descubrió que la luz del Sol o luz blanca era el producto de la mezcla de todos los componentes coloreados; hizo pasar un rayo de luz por un prisma y la habitación donde hacía el experimento, sus paredes, se llenaron de luciérnagas luminosas de muchos colores. El arco iris estaba allí, del rojo al violeta, descompuestos en mariposas luminosas.

Aunque el tema de la luz me fascina, no quiero repetirme, y hace poco en uno de mis últimos trabajos traté ampliamente el tema. El estado natural (último) de la materia no será sólido, líquido, gaseoso, plasma o materia oscura, el estado final de la materia cuando pase por todas las fases y trascien-

da a un estado superior de conexión total con el universo, será la LUZ. Ahí, dentro de los rayos luminosos, estarán grabados todos los recuerdos, toda la conciencia de la Humanidad que, para entonces, será otra cosa y sonreirá al ver que un día muy lejano discutían de tiempo, de materia, de...

Si hablamos de neutrinos, estaremos hablando de leptones.

El electrón es la partícula principal de la familia y está presente en todos los átomos en agrupamientos llamados capas electrónicas alrededor del núcleo. Tiene masa en reposo (m_e) de numeración $9'1093897(54)\times10^{-31}$ Kg y una carga negativa de $1'602\ 17733(49)\times10^{-19}$ culombios. La antipartícula es el positrón que, en realidad, es copia exacta de todos sus parámetros, a excepción de la carga que es positiva.

La familia de leptones esta formada por: electrón (e^-), muón (μ), y la partícula tau (τ); neutrino electrónico (ν), neutrino muónico (ν_μ), y neutrino tauónico (ν_τ).

Si el electrón se considerara como una carga puntual, su autoenergía es infinita y surgen dificultades de la ecuación de Lorente–Dirac. Es posible dar al electrón un tamaño no nulo con un radio r_0 , llamado el radio clásico del electrón, dado por $r_0 = e^2 \left(mc^2 \right) = 2,82 \times 10^{-13}$ cm, en donde e y m son la carga y la masa del electrón y c la velocidad de la luz.

El electrón es muy importante en nuestras vidas, es un componente insustituible de la materia y los átomos que son posibles gracias a sus capas electrónicas alrededor de los núcleos positivos que se ven, de esta forma equilibrados por la energía igual, negativa, de los electrones.

Los protones, como los neutrones, son de la familia de los hadrones. El protón es una partícula (no elemental) que tiene carga positiva igual en magnitud a la del electrón y posee una masa de $1'672614 \times 10^{-27}$ Kg, que es 1.836'12 veces la del electrón. El protón aparece en los núcleos atómicos, por eso, junto al neutrón, también son conocidos como nucleones.

La familia de los hadrones es la clase de partícula subatómica que interactúan fuertemente, e incluye protones, neutrones y piones. Los hadrones son o bien bariones, que se desintegran en protones y que se cree están formados por tres quarks, o mesones, que se desintegran en leptones o fotones o en pares de protones y que se cree que están formados por un quark y un antiquark.

La materia bariónica es la que forman planetas, estrellas y galaxias, y la podemos ver por todas partes. Nosotros mismos estamos hechos de barios. La otra materia, esa que no podemos ver y que nuestra ignorancia nos ha llevado a llamar oscura, esa, de momento no sabemos lo que es.

Las partículas conocidas como bosones: fotón, gluón, gravitón, partícula W^+ , W^- y Z^0 , son las que median en el transporte de las fuerzas fundamentales de la naturaleza.

El fotón (sí, ese que según Shahriar S. Afshar, no existe), transporta el electromagnetismo, la luz. El gluón (sí, el de la libertad asintótica de David Politzer, Frank Wilczek y David Gross), transporta la fuerza nuclear fuerte que se desarrolla en el núcleo del átomo. El gravitón (sí, ese que aún no hemos localizado), nos trae y nos lleva la gravitación universal, haciendo posible que nuestros pies estén bien asentados sobre la superficie del planeta; y por último, las partículas W y Z, responsables de la radiación natural y espontánea de algunos elementos como el uranio.

Este pequeño repaso a modo de recordatorio es algo inevitable si hablamos de materia. Las partículas se nos cuelan y, como si tuvieran vida propia (que la tienen), nos obligan a hablar de ellas, lo que por otra parte no está mal.

Como la única verdad del universo es que todo es lo mismo, la materia ni se fabrica ni se destruye, sino que en cada momento cada cosa ocupa su lugar exacto por la evolución, la entropía y el paso del tiempo, resulta que al final, se hable de lo que se hable, aunque sea de la conciencia y del ser, venimos a parar al mismo sitio: el universo, la materia, la luz, el tiempo...

Parece mentira cómo a veces, cuando estoy inmerso en mis más profundos pensamientos y tengo una conexión directa con algo que intuyo superior, lo veo todo más claro, todo es más fácil. A ver si en uno de estos momentos puedo enganchar esas fluctuaciones de vacío en la 5^a dimensión. Me parece que debe estar cerca, ronda mi cabeza, me induce ideas nebulosas y se va corriendo rápidamente. A ver si finalmente me pasa a mí como le pasó a un amigo al que su padre le decía: “Felipe, la inteligencia te persigue, corre detrás de ti, pero tú eres mucho más rápido.”

¡Ya veremos en qué desemboca todo esto!

Decíamos al principio que somos conscientes y aplicamos nuestra razón natural para clasificar los conocimientos adquiridos mediante la experiencia y el estudio para aplicarlos a la realidad del mundo que nos rodea.

También hemos dicho que el mundo que nos rodea es el que nos facilita nuestra parte sensorial, la mente, y que este mundo, siendo el mismo, puede ser muy diferente para otros seres cuya conformación sensorial sea diferente a la nuestra. Parece que realmente es así, lo que es para nosotros, para otros no lo será, y tenemos que tener en cuenta esta importante variable a la hora de plantearnos ciertos problemas que, de seguro, tendremos que afrontar en el futuro. Hay diferentes maneras de resolver el mismo problema, sólo tenemos que tratar de entenderlos.

Como la información fluye a mi mente a velocidad de vértigo, a veces, como ahora me ha pasado, estoy hablando de una cosa y me paso a otra distinta.

Estaba comentando el cometido de las partículas y me pasé a otros asuntos sin haber comentado datos de interés:

- En 1.897, J. Thomson descubrió el electrón.
- En 1.911, Rutherford descubrió el núcleo atómico y el protón.
- En 1.932, Chadwick descubrió el neutrón.

Así quedó sentado que el modelo atómico estaba completo basado en un núcleo consistente en protones y neutrones rodeados en su órbita, de un número suficiente de electrones que equilibraba la carga nuclear y lo hacía estable.

Pero este modelo no era suficiente para explicar la gran estabilidad del núcleo, que claramente no podía mantenerse unido por una interacción electromagnética, pues el neutrón no tiene carga eléctrica.

En 1.935, Yukawa sugirió que la fuerza de intercambio que lo mantenía junto estaba mediada por partículas de vida corta, llamadas mesones, que saltaban de un protón a un neutrón y hacia atrás de nuevo. Este concepto dio lugar al descubrimiento de las interacciones fuertes y de las interacciones débiles, dando un total de cuatro interacciones fundamentales.

También dio lugar al descubrimiento de unas 200 partículas fundamentales de vida corta. Como antes comentaba, en la clasificación actual existen dos clases principales de partículas: leptones, que interaccionan con el electromagnetismo y con la fuerza nuclear débil y que no tienen estructura interna aparente, y los hadrones (nucleones, piones, etc), que interaccionan con la fuerza nuclear fuerte y tienen estructura interna.

Fue el modelo de Murray Gell-Mann, introducido en 1.964, el que fijó la estructura interna de los hadrones que estarían formados por minúsculas partículas elementales a las que llamó quarks. Este modelo divide a los hadrones en bariones (que se desintegran en protones) y mesones (que se desintegran en leptones y fotones). Ya decía antes que los bariones están formados por tres quarks y los mesones por dos quarks (quark y antiquark)

En la teoría quark, por tanto, las únicas partículas realmente elementales son los leptones y los quarks.

La familia quarks está compuesta por seis miembros que se denominan up (*u*), down (*d*), charmed (*c*), strange (*s*), top (*t*) y, bottom (*b*). El protón,

siendo un barión, está constituido por tres quarks, uud (dos quarks up y un quark down), y el neutrón por udd (un quark up y dos down).

Para que los quarks estén confinados en el núcleo dentro de los nucleones, es necesario que actúe una fuerza, la nuclear fuerte, que entre los quarks se puede entender por el intercambio de ocho partículas sin carga y sin masa en reposo, llamadas gluones (porque mantienen como pegados a los quarks juntos). Aunque los gluones, como los fotones que realizan una función similar entre los leptones, no tienen carga eléctrica, sí tienen una carga de color. Cada gluón transporta un color y un anticolor. En una interacción un quark puede cambiar su color, pero todos los cambios de color deben estar acompañados por la emisión de un gluón que, de inmediato, es absorbido por otro quark que automáticamente cambia de color para compensar el cambio original.

El universo de los quarks puede resultar muy complejo para los no especialistas y como no quiero resultar pesado, lo dejaré aquí sin explicar el mecanismo y el significado de los sabores y colores de los quarks que, por otra parte, es tema para los expertos.

Esta teoría de los quarks completamente elaborada está ahora bien establecida por evidencias experimentales, pero como ni los quarks ni los gluones han sido identificados nunca en experimentos, la teoría no se puede decir que haya sido directamente verificada. Los quarks individuales pueden tener la curiosa propiedad de ser mucho más masivos que los hadrones que usualmente forman (debido a la enorme energía potencial que tendrían cuando se separan), y algunos teóricos creen que es, en consecuencia, imposible desde un punto de vista fundamental que existan aislados. Sin embargo, algunos experimentales han anunciado resultados consistentes con la presencia de cargas fraccionarias, que tendrían los quarks no ligados y en estado libre.

En las páginas anteriores se habla del LHC, ese nuevo acelerador de partículas que tantas esperanzas ha suscitado. Puede que él tenga la respuesta sobre los gluones y los quarks, además de otras muchas (partícula de Higgs).

Mirad cómo es nuestra naturaleza. Resulta que aún no hemos podido identificar a los quarks, y sin embargo hemos continuado el camino con teorías más avanzadas que van mucho más allá de los quarks; ahora hemos puesto los ojos y la mente sobre diminutas cuerdas vibrantes, filamentos cien mil veces más pequeños que los quarks y que serían los componentes más elementales de la materia.

Sobre eso tengo algo que decir: si finalmente resulta que dichos diminutos artilugios están ahí, tampoco serán los componentes finales, pero el avance será muy significativo. La teoría de supercuerdas, ahora refundida por E. Witten en la teoría M, nos dará muchas respuestas.

Es curioso cómo se desarrollan los acontecimientos y qué caminos misteriosos escogen para salir a la luz. Como ocurre con menos frecuencia de la que podríamos desear, hoy mismo, 12 de julio de 2.007, me ha visitado (visita relámpago), mi amigo José Manuel Mora que, una vez despachados los asuntos oficiales, nos sumergimos a comentar cosas de nuestro mundo interior, sobre el poder de lo sensorial, la física y sus secretos mejor guardados y sobre las secretas conexiones cósmicas que, según él (estoy de acuerdo), tiene una especie de sistema de seguridad para hacer posible que en el momento oportuno algo importante salga a la luz.

Ese algo cósmico superior, dice José Manuel, toca con su varita mágica al científico de turno que es iluminado y el encargado de publicar al mundo el nuevo acontecimiento. Pero como un seguro, a veces hace que distintos científicos sean elegidos para hallar el mismo descubrimiento en distintos lugares y sin tener conocimiento el uno del trabajo del otro, resulta que ambos llegan al mismo resultado.

Esto ha ocurrido muchas veces en la historia de la ciencia. ¿Habrá algún guardián encargado de que dicha información salga a la luz y no se pierda, y procura ese doble resorte?

¡No seré yo quien lo niegue!

También comentamos sobre la memoria de la materia. Todo el universo es materia que en cada momento ocupa el lugar y el estadio que le ha tocado vivir. Nosotros, materia también, pensamos y tenemos memoria. ¿Qué clase de materia fuimos antes? ¿De dónde hemos venido? ¿Qué traímos grabados en nuestros componentes? ¿Qué recuerdos dormidos traemos al nacer? ¿Acaso no tiene memoria una montaña? ¿Y un río? ¿Y un desierto?

Sí, creo que sí, espero que sí. La materia tiene memoria, lo único que ocurre es que nosotros somos demasiado jóvenes para saber extraerla, es algo que excede a nuestras capacidades actuales.

Nuestra imaginación no tiene límites. Más de una vez he estado en situaciones especiales, alejado de todos, en la cumbre de una montaña. A mis pies, y dominado por mi vista, lejanos llanos, ríos brillantes, aves rapaces surcando los cielos y bosques verdes y llenos de vida cuyas ramas son medidas rumorosas por la brisa suave. Los aromas silvestres y los trinos de los pajarillos acompañan a los sentidos. Son momentos especiales. El horizonte lejano que se une al intenso azul-celeste del cielo, todo ese conjunto de ruidos, colores y perfumados olores, todo ello, te llevan a otro lejano mundo y sin moverte de este has viajado muy lejos y, en cualquier instante de ese momento mágico, sientes que estas conectado con algo superior. Lo cotidiano y mundano del día a día, los pequeños problemas, las mezquindades del mundo de los humanos, el egoísmo de tantos, la ignorancia de muchos, todo en fin, es mejor comprendido; sabes que es preciso pasar por esa fase para poder alcanzar otras superiores, es inevitable.

Cuando aquel momento mágico termina te sientes mejor, con más fuerzas para continuar luchando contra toda la mediocridad y adversidad que te rodea y, sobre todo, sabes un poco más sobre la verdad del mundo, del universo, de la materia que, desde luego, SÍ HABLA. A veces nos habla demasiado fuerte, pero insistirnos en no querer escuchar.

¿Qué está cansada de decirnos la Tierra? ¿Qué aviso nos da?

¡Pues nada! A pesar de sus gritos de socorro, nosotros insistimos en nuestra ignorancia interesada en continuar fastidiándola.

¡¡Veremos en qué acaba todo esto!!

Espero que GAIA no se cabree con nosotros.

¡Ah!, pero eso sí, la materia nos habla y tiene sus recuerdos, sólo tenemos que aprender a escucharla y a saber leer lo que en ella está escrito. Algunos lo hacen.

No hemos llegado aún al nivel que perseguimos, el aviso de que estaremos muy cerca de conseguirlo estará situado en la fecha en que consigamos desvelar completamente la teoría M. Cuando ese velo sea corrido, veremos asombrados el origen del universo y de la materia, de las fuerzas fundamentales y de las constantes que son el equilibrio del mundo. Allí, reunidas en normal armonía, veremos convivir la mecánica cuántica y la gravedad, no habrá infinitos y la coherencia y la razón será la moneda que circule.

Entonces, nuestros sentidos habrán evolucionado junto a nuestra inteligencia y seremos capaces de visualizar en nuestras mentes (ahora se resisten) otras dimensiones más altas que ahora no podemos ni imaginarlas como holografías, y que sin embargo, de manera real están presentes en nuestro mundo.

¿Cómo es posible que una fuerza gravitatoria esté incidiendo realmente en la marcha de las galaxias y que no seamos capaces de ver la enorme masa que la genera?

¿Dónde está escondida esa ingente cantidad de materia que no se ve y, sin embargo, su fuerza y energía trasciende hasta nuestro mundo?

¡Tenemos que aprender tantas cosas!

De muchas de las cosas que nos quedan por aprender, no sabemos ni hacer una simple pregunta. El motivo: no sabemos ni que tales cosas puedan existir

Tenemos la materia prima: los sentidos y la conciencia, sólo nos falta experiencia en los primeros y evolución en la segunda, y con el tiempo suficiente llegaremos al punto deseado de “VER” cosas que ahora, aunque están aquí, no podemos ni sabemos “VER”. El tiempo, para una sola generación es corto, insuficiente en el conjunto de la empresa. Sin embargo, tal y como está constituida nuestra civilización en la que unos dejan el fruto de sus logros a los siguientes (si no metemos la pata) podríamos tener tiempo suficiente.

Imaginad que nos encontramos por el campo con un ejemplar de *Ardipithecus ramidus* o un *Australopithecus aferensis* y le preguntamos por el área de una circunferencia cuyo radio mide 85 metros.

Pues algo parecido ocurre si paramos al primer ejemplar humano que encontramos por la calle y le preguntamos por las matemáticas topológicas de la teoría M, nos miraría asombrado y pensaría que estamos locos.

Muchas veces, basados en principios físicos, pensamos y formulamos teorías en nuestras mentes, y dichas teorías o pensamientos están incompletos, les falta un eslabón importante para completarlas.

En otra parte, otra mente pensante tiene el eslabón que nos falta para completar con éxito la teoría. Algunas buenas ideas se pierden por esa falta de comunicación, y dos personas que han tenido las dos mitades de un todo no han podido unirlos para ofrecer tal logro al mundo.

Todos conocemos la historia de Einstein y su teoría de la gravedad (conocida por relatividad general). Tenía y formuló el principio, pero al no conocer a Riemann le faltaba el lenguaje matemático necesario para expresarlo. Así, frustrado, pasó tres largos años, de 1.912 a 1.915, en una búsqueda desesperada de un formalismo matemático suficientemente potente para

expresar su principio, y hasta que su amigo Grossman (al que pidió ayuda) no le envió una copia de la conferencia que había dado Riemann, no pudo, con enorme asombro, descubrir que en aquellos papeles estaba escrito algo llamado tensor métrico que habiendo sido ignorado por los físicos durante 60 años resolvía todos sus problemas que, por cierto, había sido resuelto hacía muchos años por Riemann, Ricci, y Levi-Civita... El logro de Riemann era el más grande.

Esto es un ejemplo de lo necesario que es para el avance de nuestros conocimientos el estar bien comunicados y que se de difusión a cualquier avance que será necesario para complementar otros descubrimientos.

Sin la teoría del cuanto de acción de Planck, la radiación de cuerpo negro, Einstein no podría haber realizado su trabajo sobre el efecto fotoeléctrico que más tarde posibilitó la construcción de láseres y máseres. Tampoco Heisenberg, Dirac, Schrödinger y otros muchos, podrían haber desarrollado la teoría cuántica sin aquella idea primera de Planck.

Tenemos la obligación de exponer nuestras ideas que, pareciendo muchas veces incompletas, pueden ser el punto de partida para el desarrollo de grandes teorías y descubrimientos. Muchas veces se me ocurren ideas que por pudor no me atrevo a escribir. Cuando las medito, a mí mismo me parecen descabelladas y, sin embargo, no me extrañaría que esté equivocado en tal clasificación. Hasta podrían ser ciertas.

Incluso Fedor Dostoievski, en *Los Hermanos Karamazov*, hizo que su protagonista Iván Karamazov especulara sobre la existencia de dimensiones más altas y geometrías no euclidianas durante una discusión sobre la existencia de Dios.

Desde siempre la imaginación humana ha especulado con otras dimensiones y universos paralelos (Alicia en el País de las maravillas). ¿Será acaso una especie de mensajes que nos llegan como recuerdos de la materia?

Imaginación:

“Se trataba de Andrómeda, hija de Cefeo, rey etíope de Yope, y de Casiopea. Ésta se había jactado de que la belleza de su hija superaba a la de todas las Nereidas juntas. Ofendidas por este insulto, las ninfas marinas se quejaron a Poseidón, su protector, quien como castigo envió un diluvio y al monstruo marino que asolaría el reino de Yope.

Desesperado, el rey consultó el oráculo de Amón, que declaró que el monstruo no desaparecería hasta que la princesa Andrómeda no fuese sacrificada. Con el corazón partido, el rey siguió las indicaciones del oráculo y abandonó a su hija encadenada a una roca voladiza.

Las aguas comenzaron a subir y a bullir, mientras el monstruo, que estaba cubierto de espumas, emergía lentamente.

Todos desde la distancia estaban mirando la escena, pendientes del monstruo. Nadie se fijó de qué manera apareció aquel joven de pies alados que, lanzándose al cuello de la bestia blandiendo una cimitarra (como ya hiciera con Medusa), de un solo golpe decapitó al monstruo.

Cuando Perseo liberó a Andrómeda de sus cadenas, sus miradas se encontraron y nació el amor entre sus almas.”

Historias así jalonan la antigüedad, y nos muestra la rica imaginación que poseemos los humanos, capaces de inventar mundos y situaciones que pueden ser recreados en nuestros pensamientos, los unos terribles y los otros de una inmensa belleza.

Es precisamente esa imaginación sin límite la que hace posible que recreemos esos nuevos mundos que, aunque no son reales en el nuestro, no

quiere decir que no existan en algún otro lugar del universo, que ¡es tan grande! Es casi tan grande como nuestro poder para imaginar.

Imaginación:

“Humel, con paso cansino, agotado, vio por fin a lo lejos las luces mortecinas del poblado. Su cansancio no era suficiente para ensombrecer la alegría que embargaba su corazón.

Había partido de Abera, su región, hacia ya treinta noches. El camino hasta Adrais, la que ahora tenía delante, era largo y muy peligroso, sin embargo el premio valía la pena.

A todos los confines del reino había llegado la proclama del rey Yuno; el que pasara las pruebas se casaría con su hija, la bella Hilema... Él, Humel el Guerrero, estaba allí para intentarlo”.

De esta manera podría continuar durante mil folios y contar una bella historia de personajes que irían viviendo situaciones conforme quisiera mi imaginación. Historia que podría situar en cualquier época y en cualquier parte del mundo, y nos contaría cualquier historia que en ese momento nos apeteciera. Tenemos a nuestra disposición un enorme tesoro que, muchas veces, no sabemos aprovechar.

Bueno, lo que trato de decir con tanta palabrería es que estamos en posesión de una herramienta de enorme poder, el cerebro. ¿Qué se nos puede resistir? Creo que con tiempo por delante, nada.

Ahora encontraremos la partícula de Higgs que nos dará información para poder abrir muchas puertas cerradas, será una llave maestra. Seguramente, también con el LHC, aparecerán los esquivos quarks y también los gluones, daremos un paso enorme en el conocimiento de la materia y del universo.

Después continuaremos teniendo nuevas ideas y conocimientos, con la dichosa teoría M que aún nos queda muy lejos. Para verificarla necesitaríamos disponer de la energía de Planck.

Pensemos en la masa de una partícula cuya longitud de onda Compton es igual a la longitud de Planck. Está dada por $m_p = \sqrt{\hbar c/G}$, donde \hbar es la constante de Planck racionalizada, c es la velocidad de la luz y G es la constante gravitacional. La descripción de una partícula elemental de esta masa, o partículas que interaccionan con energías por partícula equivalente a ella (a través de $E = mc^2$), requiere una teoría cuántica de la gravedad. Como la masa de Planck es del orden de 10^{-8} Kg (equivalente a una energía de 10^{19} GeV) y, por ejemplo, la masa del protón es del orden de 10^{-27} Kg y las mayores energías alcanzables en los aceleradores de partículas actuales (antes del LHC) son del orden de 10^3 GeV, los efectos de gravitación cuántica no aparecen en los laboratorios de física de partículas. Sin embargo, en el universo primitivo las partículas tenían energías del orden de la masa de Planck, de acuerdo con la teoría del Big Bang, y es por tanto necesaria una teoría cuántica de la gravedad que es, precisamente, lo que nos promete la teoría M:

Mecánica Cuántica y Relatividad General, juntas.

Ese nuevo universo de dimensiones más altas donde todo tiene cabida cualquier interacción incorporando supersimetría y en la que los objetos básicos son objetos unidimensionales (supercuerdas).

Se piensa que las supercuerdas tienen una escala de longitud de unos 10^{-35} m y, como distancias muy cortas están asociadas a energías muy altas, que como dije antes son del orden de 10^{19} GeV, está muy por encima de la energía que se podría conseguir hoy.

Las cuerdas asociadas con los bosones sólo son consistentes como teorías cuánticas en un espacio–tiempo de 26 dimensiones; aquellas asociadas con fermiones sólo lo son en un espacio–tiempo de 10 dimensiones. Se piensa que las cuatro dimensiones microscópicas surgen por un mecanismo

de Kaluza–Klein, estando las restantes dimensiones “enrolladas” para ser muy pequeñas en la longitud de Planck.

Una de las características más atractivas de la teoría de supercuerdas es que dan lugar a partículas de espín 2, que son identificadas con los gravitones. Por tanto, una teoría de supercuerdas automáticamente contiene una teoría cuántica de la interacción gravitacional. Se piensa que las supercuerdas están libres de infinitos que no pueden ser eliminados por renormalización, que plagan todos los intentos de construir una teoría cuántica de campos que incorpore la gravedad. Hay algunas evidencias de que la teoría de supercuerdas está libre de esos infinitos indeseables, pero no hay prueba definitiva.

Aunque carecemos de pruebas evidentes de supercuerdas, algunas características de las supercuerdas son compatibles con los hechos experimentales observados en las partículas elementales, como la posibilidad de que las partículas nos respeten paridad, lo que en efecto ocurre en las interacciones débiles.

Aunque nuestras posibilidades energéticas y técnicas hoy en día son nulas para obtener los 10^{19} GeV que serían necesarios para verificar las supercuerdas, no tenemos que descartar que se pueda avanzar por indicios y datos experimentales indirectos que vayan cubriendo pequeñas parcelas de ese total que será la teoría M.

Mientras tanto, E. Witten continúa pensando, y su privilegiado cerebro matemático desarrolla cientos de ecuaciones mientras parece que mira fijamente al paisaje.

Parece que esa rama de la geometría que se ocupa de las propiedades de los objetos geométricos que permanecen inalterados bajo deformaciones continuas, como el doblado, estirado, etc, son técnicas matemáticas que emplean la topología y son de gran importancia en las teorías modernas de las interacciones fundamentales.

A ver qué matemáticas podemos tener en las próximos 30 años, cuando tengamos la fusión para producir energía barata, y entonces, seguramente, Witten o cualquier otro nuevo genio nos daría una agradable sorpresa.

El título del presente apartado, referido a la expansión del universo y de la mente no tiene más conexión que la que en sí mismo se lee. El universo se expansiona continuamente, nuestra mente también.

En el tratado filosófico de Aristóteles, a los que los comentaristas llamaron Filosofía primera y también Teología, aparecen referencias a la Metafísica como la ciencia del ser, y trata de indagar las primeras causas y principios de las cosas, la naturaleza íntima y el destino de los seres.

La metafísica, desde Wolf, se ha dividido en autología o doctrina del ser, y metafísica especial, que se subdivide en cosmología, que trata de la naturaleza, causa y origen del mundo; psicología racional, que hace el mismo estudio en relación al alma humana, y teología natural o teodicea, cuyo objeto es la demostración de la existencia de Dios, la naturaleza divina y sus relaciones con el mundo. Ha sido combatida por los empíricos, naturalistas y agnósticos. En especial Kant y los sistemas positivistas modernos son los que tuvieron más empeño en negar su posibilidad y su carácter científico. Las escuelas kantianas han sustituido la metafísica por la teoría del conocimiento, las positivistas, por la filosofía general o de las ciencias.

Es interesante; profundicemos algo más. (*Ta meta ta physika*) Obra de Aristóteles, dada a conocer por su discípulo Andrónico de Rodas h. 70 a. de C. Su autor se centra en el estudio del ser en tanto ser, es decir, del ser en un sentido eminentemente, forma sin materia o acto puro. Aborda la metafísica a partir de una crítica de los sistemas precedentes, en especial el de Platón.

Aristóteles abordó el saber empírico, techné y ciencia, la metafísica en particular, el método para estudiar metafísica, análisis de ciertos axiomas como el principio de no-contradicción, claves y conceptos de metafísica, la sustancia y el movimiento, de lo uno y lo múltiple, del primer motor inmóvil (la divinidad) y sobre las ideas.

Fue el primer filósofo que escribió un tratado sistemático de metafísica y definió el objeto de esta disciplina. Andrónico, como antes decía, se topó con unos manuscritos del maestro, situados más allá de los libros de la física (*Ta meta ta physika*), de ahí el nombre: *metafísica*. No es de extrañar, por lo tanto, que esta palabra que connota un tipo de conocimiento transfísico, haya sido utilizada por numerosas doctrinas ocultistas de toda índole.

El término tuvo excelente acogida y fue utilizado en adelante para denominar a aquella parte de la filosofía que versa sobre el ser (*to ón*).

Ousía: la sustancia, la esencia.

El problema de definir el objeto y el método de la metafísica surge de la dificultad inherente al problema del ser (*to ón*), cuya multiplicidad de sentidos (todas las cosas son, pero no de la misma manera) se deduce de un análisis de las oraciones copulativas, en las que un predicado se atribuye a un sujeto de dos maneras radicalmente distintas entre sí: afirmando aquellas características que definen esencialmente al sujeto (esencia, sustancia, que es algo) o a una cualidad o característica inherente al sujeto y en ningún modo definitoria de su esencia (accidentes).

Estas maneras de decirse el ser se corresponden, según el estagirita, con las diez categorías de formas de ligarse un predicado a un sujeto: esencia o sustancia, cantidad, cualidad, relación, lugar, tiempo, situación, posesión, acción y pasión.

En cuanto al método de conocimiento utilizado por la metafísica, este no es experimental (a posteriori) o empírico, sino que se basa en deducciones anticipadas, es decir, independiente de la experiencia.

Aristóteles, ¿qué duda nos puede caber?, fue un pilar de la filosofía y el pensamiento que ha llegado a nuestros días con múltiples variantes de la evolución lógica de los tiempos.

“*Todas las cosas son, pero no de la misma manera.*”

La frase tiene guasa. En tan simple expresión está encerrada la verdad del universo. Nosotros hablamos de “ser” y queremos referirnos a lo que piensa y siente, a lo que tiene conciencia.

En la frase, a las cosas (la materia), se le concede la categoría de ser. Si lo pensamos detenida y profundamente, es así. Todo en cada momento ocupa su lugar en el tiempo que le ha tocado vivir. La ley de la conservación de la masa es muy significativa. ¿Dónde estaba la materia que conforma mi ser hace 3.000 millones de años? Posiblemente estaba a miles de millones de grados de temperatura en el núcleo de una estrella situada a 9.500 años luz de nuestro (ahora) Sistema Solar.

Pero esa materia era, y a su manera tenía su propia conciencia, en aquel momento y en aquel lugar, le tocó ser aquella cosa. Todo ES.

La metafísica es lo que trasciende, lo superior, el ser supremo, el universo de lo sensorial, tener el conocimiento sin saberlo.

Cuando se rebasan los límites de la razón, las ideas entran en el mundo de lo ilusorio, sin embargo, dónde está ese límite.

El cuerpo y el alma: heterogéneos e incluso incompatibles entre sí. El mundo material, el cuerpo humano es una máquina que se comporta siguiendo las estrictas leyes del mecanismo.

La mente, sin embargo, no puede ser reducida a lo puramente mecánico, rigiéndose por otros principios absolutamente diferentes, divergentes, superiores.

Por lo tanto, dependiendo de si lo que existe se concibe como una entidad material o una entidad puramente espiritual, la metafísica genera dos concepciones radicalmente distintas: el materialismo (Demócrito, Epicuro, Hobbes, Marx y Engels, etc) y el idealismo (Platón, Berkeley, Hegel, etc). Concepciones que se reflejan no sólo en el ámbito estrictamente filosófico,

sino en la propia ciencia que, como sabemos, no está al margen de presupuestos metafísicos.

Muchas veces, como el balbuceo de un niño, hablamos de cosas que no entendemos, es simplemente una maraña de ideas que nos ronda por la cabeza y nosotros, osados como siempre, decimos lo que se nos ocurre sobre ellas, y lo sorprendente es que a veces hasta acertamos.

Lo actual, y pese a las críticas que ha recibido esta disciplina a lo largo del pasado siglo, la metafísica no ha desaparecido de la investigación filosófica que denuncia, precisamente, el “olvido del ser” que, a favor del “ente”, había caracterizado a la metafísica tradicional.

El proyecto siempre está abierto y también inconcluso, y sitúa al SER humano en el centro de la reflexión metafísica.

Todas las reflexiones y pensamientos sobre este tema son buenos y, mucho o poco, ayudan a seguir avanzando en la dirección correcta y con un solo proyecto: llegar a conocernos, porque... ¿quiénes somos? ¿Por qué precisamente nosotros? ¿Por qué ahora?

Sí, me gustaría poder responder a tales preguntas, sin embargo, mi limitación e ignorancia es... metafísica.

Me gustaría saber cómo me he metido en éste embrollo de la metafísica, campo que no es el mío y del que puedo hablar de oídas, pero, como dije antes, ¡somos tan osados!

Esa sustancia espiritual e inmortal que es capaz de entender, de sufrir y querer, de sentir y de informar al cuerpo humano del que se vale para ir y venir, ese espíritu digo, tiene mucha guasa, y su capacidad aún dormida, juega con los conceptos y trata de desvelar lo que subyace dentro de ella, y al decir ella me refiero al *alma*, y al decir *alma* me refiero a nuestro cerebro, nuestro saber, nuestros sensores.

Desde niño fui un tipo curioso, todo me interesaba. Es posible, no lo sé, que parte importante de mi comportamiento sea debido a que cuando tenía dos años quedé impedido de mi pierna izquierda, y aquello que me restaba posibilidades físicas me empujó a refugiarme más tarde en la lectura y en el yo interior. He tenido una vida interior muy potente que, estoy seguro, fortaleció mis sentidos y mi mente.

Una manera de competir con los demás (para no ser menos), era la de saber más, era una forma de imponer mi criterio sobre el de los otros que, de alguna manera, se sometían a ese mayor saber.

Recuerdo aquellas noches de verano, en que todos los niños de mi calle y de las limítrofes, sentados en la acera, a mí alrededor, me oían contar historias de Argantonio, aquel rey de Tartessos, y les hablaba del mito de Gerión o del décimo trabajo de Hércules, localizado en nuestra zona que era para los griegos el fin de occidente. Les hablaba de leyendas y mitos relativos al Jardín de los Hespérides o del undécimo trabajo de Hércules, el de Atlas, Prometeo y los Titanes, así como de la leyenda de la Atlántida.

Es curioso cómo puedo ver nítidamente en mi mente sus caras de asombro a medida que mi voz les relataba aquellas historias.

Hace un par de meses me encontré con Matías Álvarez, uno de aquellos niños que escuchaban embelesados mis historias. Es Ingeniero Industrial superior que ejerce fuera de Huelva, por donde se deja caer cuando puede para visitar a su hermana.

Después de los abrazos y saludos (hacía más de 20 años que nos separamos), me recordaba:

“A mis hijos les he referido muchas veces las historias que tú nos contabas a los niños del barrio.” Nunca he olvidado al monarca Argantonio, y todas aquellas tradiciones de carácter histórico recogidas por Estesícoro (raíces argénteas del río Tartessos), Anacreonte (longevidad de su monarca Argantonio), Hecateo (habla de una tal Helibyrge, ciudad de Tartessos),

Herodoto (Tartessos como imperio de gran riqueza más allá de las Columnas de Hércules, así como de relaciones con los focenses), Eforo, Aristófanes, Estrabón (Tartessos como ciudad, río, región y centro de concentración de metales) y Avieno, que ofrece la más abundante información de índole geográfica. La ciudad llamada Tartessos esta identificada por aquí, cerca de lo que hoy es Huelva.

Aquellos recuerdos de cuando éramos niños fueron algo estimulante y sobre todo, comprobé que aquellas interminables charlas, sentados en el suelo en el calor de las noches de verano, con el botijo cerca, al parecer no habían caído en el vacío, algunos las recordaban.

Por aquella época, mi voracidad lectora era inmensa. Creía firmemente que Tartessos estaba en Huelva y que el Jardín de las Hespérides estaba situado en lo que hoy conocemos como Isla Saltés. Esa fue la conclusión a la que llegué después de leer todo lo que encontré sobre el tema. Hasta las insinuaciones de Homero, sitúan Tartessos en Hueva. ¿Sabéis que en el centro de la Isla Saltées existen unas ruinas de un templo de Artemisa?

De nuevo me he desviado para contaros una batallita de mi juventud, perdonad, seguiré con temas más interesantes para el lector. ¡Ah!, también les contaba otras historias inventadas sobre la marcha en la que ellos eran los personajes. Esas les gustaban más que las de verdad, ya que, por mi parte, procuraba que todos, en uno u otro momento, fueran héroes en alguna de las muchas empresas difíciles que introducía en esas historias ¡Qué cosas! ¡Qué gente! ¡Qué tiempo!

De alguna manera les hacía olvidar el hambre que tenían procurando llevarlos a mi mundo particular de ficción.

En aquella época, ¡lastima!, no tenía los conocimientos necesarios para haberles hablado de física y astronomía, seguro que les habría gustado y habrían aprendido algunas cosas. Pero a esa edad, todos preferían la aventura y el misterio, yo también. Era la juventud.

Erguido en el punto más alto de la isla canaria de La Palma, por encima del mar de nubes y envuelto en la cristalina atmósfera que proporcionan los vientos alisios, el Gran Telescopio de Canarias (GTC) está a punto de ver su primera luz el próximo 13 de julio. El observatorio, que será una de las más importantes instalaciones científicas españolas, recibirá así su bautizo astronómico y podrá mirar al cielo por primera vez, pese a que no se espera que funcione a pleno rendimiento hasta dentro de un año.

Su construcción por segmentos, inspirada en los también gigantes telescopios de Hawái, conocidos por Keck, facilita su manejo y traslado por carretera. Está hecho de un material llamado Zerodur (vitrocerámica) y han sido construidas por una compañía alemana.

Gracias a la calidad de imagen extraordinariamente alta, los astrónomos podrán estudiar otros sistemas planetarios lejanos. Schott ha fabricado 42 espejos hexagonales (36 más 6 de repuesto) realizados en cristal cerámico aluminizado.

¡SUERTE!

Alguien de la R.S.E.F., que aunque no entiendo el por qué le gusta leer mis libretas, me comenta:

“Lo que encuentro ameno y divertido es el enfoque que das a las cuestiones que estás tratando y la manera tan original que tienes de contarlos.”

“También me resulta curioso el ver cómo tratas temas dispares entre sí, y cómo lo planteas de manera que, en realidad, no parecen tan dispares y dan la sensación de estar conectados del alguna manera.”

Esto me dice mi amigo en su última carta, en la que me felicita por *Los misterios de la Tierra*. Yo, sinceramente, agradezco a mis lectores (en realidad un grupo de amigos parciales en sus diagnósticos sobre mis trabajos), el

hecho de que, al menos por amistad, resalten lo que escribo, de alguna manera me incentivan para seguir.

En realidad, el expresar en un papel en blanco los pensamientos que fluyen en mi cabeza, es una necesidad, me sirve como ejercicio de relajación y, de camino, repaso y estoy aprendiendo cosas nuevas.

Reconozco que soy inquieto, en una consulta médica, cuando me marcho, es fácil que deje llenas, las hojas con huecos en blanco, de las revistas, con múltiples ecuaciones de física y comentarios de mecánica cuántica o relatividad general. El que llegue detrás de mí y eche un vistazo a lo escrito, no me extraña que se sorprenda.

Pero la mayoría de las veces tengo ideas que me gustaría comentar con otras personas que entiendan estas inquietudes del SER, del universo, de la materia o del espacio–tiempo y sin embargo, no encuentro ninguna a mi lado, así que he terminado acostumbrándome a una charla conmigo mismo con el bolígrafo y el papel a mano, así al menos, no se pierde todo lo que pasa por mi cabeza.

El conocimiento es tener noción de saber, es inteligencia para adquirirlo.

El problema filosófico de las cuestiones relacionadas con el conocimiento, es decir, la forma del conocimiento de la realidad, las posibilidades existentes de que ese conocimiento responda exactamente a lo que ésta es en sí, etc, no constituyó una preocupación fundamental para los filósofos hasta la llegada de Kant que, en el siglo XVIII, suscitó en gran escala estas dificultades. Con anterioridad a Kant, el problema se reducía al sujeto que conoce y objeto conocido, se fijaban fundamentalmente en el segundo de ellas, y la filosofía moderna, por el contrario, está centrada en el sujeto cognosciente.

La inquietud por este problema comienza con Descartes, Leibniz, Locke, Berkeley, Hume que influyó decisivamente en Kant en quien el proble-

ma a esta cuestión, como ya he comentado antes, en alguna parte de este mismo trabajo, la cuestión se formuló así: todo conocimiento arranca o nace de nuestras experiencias sensoriales, es decir, los datos que nos suministran nuestros cinco sentidos, pero no todo en él procede de estos datos. Dicho de otra manera, hay en nosotros dos fuentes o potencias distintas que nos capacitan para conocer, y son la sensibilidad (los sentidos) y el entendimiento o inteligencia. Ésta no puede elaborar ninguna idea sin los sentidos, pero también éstos son inútiles sin la ayuda del entendimiento. Es como un conjunto simétrico, algo perfectamente acoplado para formar un todo.

Me viene a la memoria en este punto la explicación que me dio una vez mi hija María, cuando por curiosidad le pregunté: ¿Qué es el contrapunto?

“Es la concordancia armónica de dos o más voces cada una con su línea melódica, de cuya superposición resulta la armonía de la obra musical.

Se aplica además el arte de conducir las voces con cierta independencia, sin incurrir en falta contra las reglas de la armonía. El contrapunto severo se atiene estrictamente a ellas, mientras que el libre admite cierta soltura, siempre que no incorra en desarmonía y cacofonía. En el doble las voces pueden ser intercambiadas. Los métodos empleados son la imitación de un motivo, el canon y la fuga, y estos últimos son complicados entre lanzamientos del motivo de la melodía.

La palabra contrapunto la utilizó por primera vez Philippe de Vitro, teórico del siglo XIV.

*El contrapunto es la técnica compositiva por la cual, sobre una melodía dada, se construye un conjunto de una o varias contramelodías o **contrapuntos**, consiguiendo que, finalmente todo sea un conjunto armonioso.”*

Mi hija María estudia música desde los 8 años; ahora ha cumplido 22 el doce de junio de 2.007. Es pianista profesional y estudia 2º de clave (música antigua) y 2º de Pedagogía en el Real Conservatorio Superior de Música de Madrid, y recientemente (aunque continúa sus estudios) ha obtenido una plaza en el Mº de Cultura, concretamente en la Compañía Nacional de Teatro Clásico, donde toca el clave. Es algo provisional, pero ella está muy animada por lo que supone para su reconocimiento profesional.

Aunque lo mío es la física y otras ramas del conocimiento, de vez en cuando recurro a María para preguntarle algunas cuestiones bajo el punto de vista musical que, no en pocas ocasiones, coincide con temas científicos.

La respuesta que me dio sobre el contrapunto es aplicable a un sin fin de cuestiones y problemas científicos y cotidianos: buscar la armonía en la diferencia.

Podríamos aplicar el arte de combinar los sonidos de las voces humanas o los instrumentos, o de unos y otros a la vez para causar un efecto estético, a nuestra vida social y sobre todo a la política, procurando que unos y otros, voces discordantes y pensamientos distintos, guiados por una regla de ética y moral, pudieran reflejar un comportamiento estético.

La música enaltece al ser humano, nos eleva y nos hace mejores. Una música que nos llega y es capaz de despertar nuestros sentimientos, nos puede transportar muy lejos, allí donde encontraremos el amor y la felicidad que, en este mundo nuestro, está escondida.

El término procede del griego *mousiké* a través de la adaptación latina *música*. En el mundo griego se designaban con este nombre todas las ramas del arte que eran presididas por las Musas. Pitágoras fue el teórico musical más importante de la antigüedad.

Formuló el concepto de armonía y a partir de sus análisis sobre la naturaleza del sonido se creó el cálculo pitagórico de intervalos y las escalas

modales, cuya importancia fue decisiva en el desarrollo de la música medieval.

Los principios teóricos de los griegos se transmitieron a la música litúrgica cristiana a través de autores como San Agustín, Boecio y Casiodoro. Durante los primeros siglos del cristianismo, la música se circunscribió al ámbito religioso, concretamente al canto litúrgico, cuyo fundamento está constituido por la síntesis entre el sistema modal griego y ciertas influencias de la tradición judía.

Como veo que esto se me va de las manos y puedo terminar este trabajo escribiendo una historia de la música, mejor lo dejo y me dedico a lo que en realidad me debo: el pensamiento, el saber, la inteligencia, la mente, el universo de lo sensorial, etc, etc, etc.

En realidad, para mí, comentar el contrapunto es como comentar la simetría (conjunto de invariancias de un sistema), en el contrapunto y en la simetría se trata de que todo encaje y de que reine la armonía y la estética. Todo es física, la música también.

¿Qué podríamos hacer sin las matemáticas, la física y la química?

Me parece que nada.

Todo existe y puede ser explicado a partir de esas tres disciplinas, absolutamente todo. Empezando por nosotros mismos que, si lo pensamos detenida y profundamente, veremos que somos números (el pensamiento, la complejidad, lo que llamamos alma que, en realidad, es un conglomerado de infinitos circuitos eléctricos e impulsos sensoriales-números que nos permiten ser), somos física (la materia de la que está formado nuestro cuerpo y nuestro cerebro), y somos química (los componentes y flujos que discurren por nosotros y nos permiten desarrollar las funciones físicas y psíquicas que nos hace ser lo que somos).

Por eso decimos que algunas de las simetrías son directamente físicas. Algunos ejemplos son las reflexiones y las rotaciones en las moléculas y las translaciones en las redes cristalinas. Existen simetrías más generales y abstractas como la invariancia CPT y las simetrías asociadas a las teorías gauge.

En física de partículas, un ejemplo de simetría rota sería el modelo de Weinberg–Salam (teoría electrodébil), teoría cuántica de campos relativistas con simetría rota.

Como la mente humana es imparable, cuando coge algo ya no lo suelta. Así, con la simetría, al parecerle poco, se pasó a la supersimetría que es la simetría que puede ser aplicada a las partículas elementales con el fin de transformar un bosón en un fermión y viceversa.

En las teorías supersimétricas más simples cada bosón tiene un compañero fermiónico y cada fermión tiene un compañero bosónico. Los compañeros bosónicos de los fermiones tienen nombres formados añadiendo “*s*” al principio del nombre del fermión, por ejemplo, *selectrón*, *squak* y *sleptón*. Los compañeros fermiónicos de los bosones tienen nombres formados reemplazando el “*on*” del final del nombre del bosón por “*ino*” o añadiendo “*ino*”, por ejemplo, *gluino*, *fotino*, *wino* y *zino*.

Los infinitos que causan problemas en las teorías cuánticas de campos relativistas (renormalización) son menos severos en las teorías supersimétricas, porque las contribuciones a los infinitos de los bosones y los fermiones se pueden cancelar unos a otros.

Si la supersimetría es realmente una simetría de la naturaleza, debe ser una simetría rota, aunque por el momento no hay evidencias concluyentes que muestren a qué energía debe romperse. Aunque no tenemos ninguna evidencia experimental para esta teoría, sí se piensa que puede ser un ingrediente esencial para una teoría unificada de las interacciones o fuerzas fundamentales de la naturaleza.

Pero como muestra osadía no tiene límites, sin haber comprobado aún experimentalmente la teoría de la supersimetría, ya tenemos otra teoría que va mucho más allá en la búsqueda de unificación de las fuerzas de la naturaleza.

LA TEORÍA DE SUPERCUERDAS

Ya hemos hablado ampliamente en otros apartados de este mismo libro de esta teoría unificada de las fuerzas fundamentales de la naturaleza, que incorpora otras teorías como supergravedad, supersimetría, teoría de cuerdas, etc, y en la que los objetos básicos son unidimensionales (como filamentos vibrantes) que tienen una escala de longitud de unos 10^{-35} m y, como distancias muy cortas están asociadas a energías muy altas, tienen una escala de energía del orden de 10^{19} GeV (antes, en páginas anteriores, lo hemos mencionado), que está muy por encima de la energía que de momento podemos alcanzar.

Esta teoría sólo es válida en 10 y en 26 dimensiones, así se tiene el espacio suficiente para que todas las fuerzas estén cómodamente instaladas, evitando así el rechazo que en otras teorías se produce entre M.C. y R.G.

Damos vueltas y más vueltas, y al final siempre estamos en el mismo lugar: el universo, con toda la materia, las fuerzas que lo forman y el espacio–tiempo. Nosotros estamos dentro de todo eso y, aunque materia, hemos tenido la suerte de caer en la fase en la que esa porción de “materia” puede pensar.

Sin embargo, somos un auténtico peligro para nosotros mismos y para nuestro entorno. Se nos ha concedido un poder (de pensar, de ser conscientes) que, al menos de momento, no sabemos controlar y, yo por mi parte, creo que en realidad somos seres con una conciencia que no utilizamos, por lo tanto, inconscientes.

Falta mucho en el proceso de evolución para que alcancemos un nivel aceptable, para poder ser clasificado como un grupo inteligente racional.

Si miramos a nuestro alrededor, yo al menos, siento vergüenza. ¿Qué nos pasa? ¿Cómo podemos ser tan torpes? Es increíble el desinterés que demuestra la gente en general, y los gobernantes en particular, por todo aquello que en realidad importa, por las maravillas que nos rodean y destruimos. ¡Parece mentira!

Sin embargo esa es, desgraciadamente, la verdad.

Mientras tanto unos pocos a sufrir, tratando con sus ridículos medios de luchar contra esas fuerzas descomunales y destructivas. ¿Ganarán ellos*? ¡Sería una pena!

Pero si nos paramos a pensar, se puede comprender; queremos, pero no podemos. Hoy nos atrevemos a comentar sobre una teoría futura que no podemos demostrar, las supercuerdas o teoría M. Mañana hablaremos de la teoría superlumínica, las cuerdas vibrantes se habrán transformado en briznas luminosas, menos que fotones que, en realidad, es la materia prima de todo el universo que está hecho de masa–energía... en definitiva de luz, y nosotros mismos somos luz en reposo, congelada, de donde de vez en cuando surge algún destello que nos deslumbra.

Si dentro de unos miles de años pudiera volver para releer estas líneas, me sonreiría, al ver que llevaba toda la razón. ¡Un destello!

Nuestros pequeños pensamientos individuales, unidos todos, pueden llegar a ser algo grande. La mala noticia está en que somos muy pocos los que dedicamos tiempo a pensar. ¡Qué lastima!

* Ellos son en este caso los “malos”.

Tenemos tanta riqueza en nosotros mismos que es una auténtica pena que no estemos más preocupados por obtener el verdadero rendimiento que en descubrir nuevas armas para destruir.

Por cierto, y cambiando de tema, tengo que recordar aquí a Stanley Miller, investigador del origen de la vida a quien mencioné ampliamente en uno de mis trabajos.

Con sólo 23 años, mientras estudiaba el doctorado en la Universidad de Chicago, el científico Stanley Miller logró reproducir en su laboratorio el modo en que las moléculas esenciales para la vida pudieron surgir en la Tierra primitiva. Consciente de la importancia de este trabajo, su director de tesis, el célebre químico Harold Urey, le animó en un acto de generosidad a que firmara en solitario sus resultados y los enviara a la prestigiosa revista *Science*: “*Yo ya tengo mi premio Nobel*” dijo al estudiante, de modo que este seminal artículo sobre el origen de los seres vivos apareció, en contra de la costumbre, con el recién licenciado como único firmante.

Miller tuvo suerte de contar con un maestro como Urey (galardonado por la Real Academia de Suecia en 1.934 por sus trabajos con el hidrógeno pesado y uno de los máximos responsables de la exploración lunar en los 60), y aunque él no recibió el Nobel, su trabajo experimental, mediante el cual reprodujo en un sistema cerrado de probetas las condiciones de la atmósfera primigenia abriendo nuevos campos a la química y la biología, aún muchos años después se repite en el laboratorio de todas las partes del mundo con el fin de arrojar luz sobre uno de los más grandes misterios a las que nos enfrentamos los de nuestra especie: cómo surgió la vida.

El informe de Miller constaba de sólo ocho párrafos, un dibujo y un diagrama, pero estaba redactado con tal sencillez y concisión que a menudo acompaña a los grandes descubrimientos.

La simulación de atmósfera que él creó, pensando que era la que tenía el planeta Tierra en aquellos tiempos: metano, amoníaco, agua e hidrógeno, a lo que aplicó descargas eléctricas y, junto con Urey, pudo constatar que de

aquella mezcla bombardeada eléctricamente surgían varios de los aminoácidos que constituyen los ladrillos a partir de los cuales surgió el edificio de la vida en el planeta tierra.

El experimento es mundialmente conocido y dio, por distintas razones, fama a Miller y a Urey. Stanley Miller, biólogo, nació el 7 de marzo de 1.930 en Oakland (California) y ha muerto el pasado 20 de mayo de este mismo año en Capital City (California).

Como me gusta hacer con todos aquellos que con su trabajo han ayudado a la humanidad para seguir avanzando, sea este pequeño recuerdo con mi humildad homenaje.

Parece un milagro que partiendo del hidrógeno se pueda llegar a conseguir materia compleja y necesaria para la vida como la nuestra. El hidrógeno, como saben todos los niños de primaria, es el elemento químico más abundante del universo (*¿lo es?*) comprendiendo un 75% de su masa – nos referimos, claro está, a la materia bariónica, la que podemos ver –. Es el elemento más simple, formado por átomos que sólo contienen un protón y un electrón, la forma más común de todos en las que podemos encontrarlo, está en las estrellas y las nebulosas.

Otras formas son el hidrógeno metálico con átomos altamente comprimidos por la intensa presión, como en el interior de los planetas gaseosos masivos Júpiter y Saturno. Bajo tales condiciones, el hidrógeno se comporta como un metal líquido y puede, por tanto, conducir la electricidad y generar un campo magnético.

El hidrógeno que podemos encontrar más comúnmente en la Tierra (símbolo H₂), es el hidrógeno molecular, con dos átomos de hidrógeno ligados por dos electrones compartidos. Las moléculas de hidrógeno no pueden sobrevivir en la mayoría de las regiones del espacio, porque son fácilmente disociadas (separadas) por la luz ultravioleta de las estrellas, aunque sí que aparecen en las densas y frías nubes moleculares siendo sus principales constituyentes, aunque es difícil observarlas directamente, pues se trata de

una molécula simétrica sin líneas espectrales intensos en ondas de radio o milimétricas.

El hidrógeno que está constituido por átomos eléctricamente neutros, generalmente es un gas y se denomina hidrógeno neutro.

Si el universo es casi por completo de hidrógeno, ¿cómo llegaron los otros elementos?

Una estrella de tamaño ordinario, como nuestro Sol, tiene un diámetro aproximado de 1.400.000 Km; en comparación con el de la Tierra (13.000 Km) es 1.000 veces mayor, y el volumen (que depende del cubo del radio) es nada menos que mil millones de veces superior (10^9).

Pues bien, el enorme globo de gas (plasma), que es una estrella no es homogéneo ni en composición ni en temperatura, que aumenta por la presión de la fuerza gravitatoria a medida que nos acercamos al núcleo, de manera tal que, como mínimo, en el centro o núcleo de la estrella tendremos una temperatura de 15 millones de grados. Resulta razonable suponer que la densidad aumente con la profundidad, ya que cuanto mayor es ésta lo es también la presión (recordad que la densidad es proporcional a la presión). Las zonas interiores soportan el peso de las exteriores, lo que produce enormes temperaturas en el núcleo.

El horno termonuclear de una estrella posee unos mecanismos de control gracias a los cuales mantiene entre estrechos límites sus constantes vitales, siendo por una parte la temperatura y por otra la gravedad, los dos elementos que finalmente mantienen el equilibrio de la estrella. Bueno, más que la temperatura, la fusión nuclear que produce que hace expandirse a la estrella que es frenada por la inmensa fuerza gravitatoria. Es el mecanismo cósmico que hace posible la estabilidad y el equilibrio de la estrella.

Así, brillando en el vacío estelar, las estrellas dan luz y calor a los planetas de sus sistemas solares. Precisamente esa luz y ese calor es la pérdida de masa de las estrellas que fusionan hidrógeno en helio y una pequeña par-

te se va de la estrella para calentar y alumbrar planetas. La potencia energética desprendida por una estrella en equilibrio es enorme en relación con nuestros estándares, y si esa potencia depende de la velocidad a la que unos núcleos se transforman en otros, los de hidrógeno en helio, los de helio en litio, etc, parece razonable suponer que la composición del gas del horno termonuclear varíe con el tiempo, disminuyendo la cantidad de hidrógeno al tiempo que aumentan otros elementos. La energía desprendida se obtiene precisamente a partir de esa masa gastada utilizando la ya conocida ley de equivalencia de Einstein $E = mc^2$.

Como tantas veces he explicado, nuestro sol cada segundo consume 4.654.000 toneladas de hidrógeno, de las que 4.650.000 toneladas perdidas son precisamente las que en forma de luz y calor son lanzadas al espacio cósmico, y una pequeña parte llega a nuestro planeta para hacer posible la fotosíntesis y la vida.

Según las temperaturas de cada momento, la estrella irá fusionando helio, carbono, etc, hasta que, no pudiendo continuar fusionando materiales más complejos, finalmente cede y se queda a merced de la fuerza gravitatoria; sin embargo antes, haciendo un último esfuerzo de resistencia, se convierte en gigante roja, antes de explotar como supernova para convertirse, según su masa:

- Súper-masivas en agujeros negros.
- Masivas en estrella de neutrones.
- Similares al Sol en enanas blancas.

Es allí, en las estrellas, en sus hornos nucleares y en las explosiones de supernovas, donde a miles de millones de grados de temperatura se crean los elementos más complejos que el hidrógeno y el helio. Aparece el litio, el carbono, el silicio o el nitrógeno y el hierro.

De estos materiales estamos nosotros hechos, y lógicamente se fabricaron en las estrellas.

En una supernova, en orden decreciente tenemos la secuencia de núcleos H, He, O, C, N, Fe, que coincide bastante bien con una ordenación en la tabla periódica que es:

H, He, (Li, Be, B) C, N, O... Fe

¿Apreciáis la maravilla? Las estrellas brillan en el cielo para hacer posible que nosotros estemos aquí descubriendo los enigmas del universo y... de la vida inteligente.

Pero está claro que todo el proceso estelar evolutivo inorgánico nos condujo desde el simple gas y polvo cósmico a la formación de estrellas y nebulosas solares hasta los planetas, la Tierra en particular, en cuyo medio ígneo describimos la formación de las estructuras de los silicatos, desplegándose con ello una enorme diversidad de composiciones, formas y colores, asistiendo, por primera vez en la historia de la materia, a unas manifestaciones que contrastan con las que hemos mencionado en relación al proceso de las estrellas.

Desde el punto de vista del orden es la primera vez que nos encontramos con objetos de tamaño comparables al nuestro, en los que la ordenación de sus constituyentes es el rasgo más característico.

Al mismo tiempo nos ha parecido reconocer que esos objetos, es decir, sus redes cristalinas “reales”, almacenan información (memoria) que se nos muestra muy diversa y que puede cobrar interés en ciertos casos, como el de los microcristales de arcilla, en los que, según Cairns-Smith, puede incluso llegar a transmitirse.

Porque, ¿qué sabemos en realidad de lo que llamamos materia inerte? Lo único que sabemos de ella son los datos referidos a sus condiciones físicas de dureza, composición, etc; en otros aspectos ni sabemos si pueden existir otras propiedades distintas a las meramente físicas.

¿No os hace pensar que nosotros estemos hechos, precisamente, de lo que llamamos materia inerte?

Pero el mundo inorgánico es sólo una parte del inmenso mundo molecular. El resto lo constituye el mundo orgánico, que es el de las moléculas que contienen carbono y otros átomos y del que quedan excluidos, por convenio y características especiales, los carbonatos, bicarbonatos y carburos metálicos, los cuales se incluyen en el mundo inorgánico.

Según decía en páginas anteriores, los quarks *u* y *d* se hallan en el seno de los nucleones (protones y neutrones) y, por tanto, en los núcleos atómicos. Hoy día, éstos se consideran como una subclase de los hadrones.

La composición de los núcleos (lo que en química se llama análisis cualitativo) es extraordinariamente sencilla, ya que como es sabido, constan de neutrones y protones que se pueden considerar como unidades que dentro del núcleo mantienen su identidad. Tal simplicidad cualitativa recuerda, por ejemplo, el caso de las series orgánicas, siendo la de los hidrocarburos saturados la más conocida. Recordad que su fórmula general es C_nH_{2n+2} , lo que significa que una molécula de hidrocarburo contiene n átomos de carbono (símbolo C) y $(2n+2)$ átomos de hidrógeno (símbolo H).

El número de protones y neutrones determina al elemento, desde el hidrógeno (el más simple), al uranio (el más complejo), siempre referido a elementos naturales que son 92; el resto son artificiales, los conocidos transuránicos en cuyo grupo están el einstenio o el plutonio, artificiales todos ellos.

Los núcleos, como sistemas dinámicos de nucleones, pertenecen obviamente a la microfísica y, por consiguiente, para su descripción es necesario acudir a la mecánica cuántica. La materia, en general, aunque presumimos de conocerla, en realidad, nos queda mucho por aprender de ella.

Hablemos un poco de moléculas.

El número de especímenes atómicos es finito, existiendo ciertas razones para suponer que hacia el número atómico 173 los correspondientes núcleos serían inestables, no por razones intrínsecas de inestabilidad “radiactiva” nuclear, sino por razones relativistas. Ya antes me referiría a las especies atómicas, naturales y artificiales que son de unos pocos millares; en cambio, el número de moléculas conocidas hasta ahora comprende varios millones de especímenes, aumentando continuamente el número de ellas gracias a las síntesis que se llevan a cabo en numerosos laboratorios repartidos por todo el mundo.

Una molécula es una estructura con individualidad propia, constituida por núcleos y electrones. Obviamente, en una molécula las interacciones deben tener lugar entre núcleos y electrones, núcleos y núcleos y electrones y electrones, siendo del tipo electromagnético.

Debido al confinamiento de los núcleos, el papel que desempeñan, aparte del de proporcionar la casi totalidad de la masa de la molécula, es poco relevante, a no ser que se trate de moléculas livianas, como la del hidrógeno. De una manera gráfica podríamos decir que los núcleos en una molécula constituyen el armazón de la misma, el esqueleto, cuya misión sería proporcionar el soporte del edificio. El papel más relevante lo proporcionan los electrones y en particular los llamados de valencia, que son los que de modo mayoritario intervienen en los enlaces, debido a que su energía es comparativamente inferior a la de los demás, lo que desempeña un importante papel en la evolución.

Desde las moléculas más sencilla, como la del hidrógeno con un total de 2 electrones, hasta las más complejas, como las de las proteínas con muchos miles de ellos, existe toda una gama, según decía, de varios millones. Esta extraordinaria variedad de especies moleculares contrasta con la de las especies nucleares e incluso atómicas.

Sin entrar en las posibles diferencias interpretativas de estas notables divergencias, señalaré que desde el punto de vista de la información, las especies moleculares la poseen en mucho mayor grado que las nucleares y atómicas.

Dejando aparte los núcleos, la información que soportan los átomos se podría atribuir a la distribución de su carga eléctrica, y en particular a la de los electrones más débilmente ligados. Concretando un poco se podría admitir que la citada información la soportan los orbitales atómicos, pues son precisamente estos orbitales las que introducen diferencias “geométricas” entre los diferentes electrones corticales.

Justamente esa información es la que va a determinar las capacidades de unión de unos átomos con otros, previo el “reconocimiento” entre los orbitales correspondientes. De acuerdo con la mecánica cuántica, el número de orbitales se reduce a unos pocos. Se individualizan por unas letras, hablándose de orbitales *s*, *p*, *d*, *f*, *g*, *h*. Este pequeño número nos proporciona una gran diversidad.

La llamada hibridación (una especie de mezcla) de orbitales es un modo de aumentar el número de mensajes, esto es, la información, bien entendido que esta hibridación ocurre en tanto y en cuanto dos átomos se preparan para enlazarse y formar una molécula. En las moléculas, la información, obviamente, debe abarcar todo el edificio, por lo que en principio parece que debería ser más rica que en los átomos. La ganancia de información equivale a una disminución de entropía; por esta razón, a la información se la llama también negantropía.

En términos electrónicos, la información se podría considerar proporcionada por un campo de densidad eléctrica, con valles, cimas, collados, etc, es decir, curvas isoelectrónicas equivalentes formalmente a las de nivel en topografía. Parece razonable suponer que cuanto más diverso sean los átomos de una molécula, más rica y variada podrá ser su información, la información que pueda soportar.

La enorme variedad de formas, colores, comportamientos, etc que acompaña a los objetos, incluidos los vivientes, sería una consecuencia de la riqueza en la información que soportan las moléculas (y sus agregados) que forman parte de dichos objetos. Ello explicaría que las moléculas de la vida sean en general de grandes dimensiones (macromoléculas). La inmensa mayoría de ellas contiene carbono. Debido a su tetravalencia y a la gran capa-

cidad que posee dicho átomo para unirse consigo mismo, dichas moléculas pueden considerarse como un esqueleto formado por cadenas de esos átomos.

El carbono no es el único átomo con capacidad para formar los citados esqueletos. Próximos al carbono en la tabla periódica, el silicio, fósforo y boro comparten con dicho átomo esa característica, si bien en un grado mucho menor.

Refiriéndonos al silicio, que para nosotros es el más importante, señaremos que las “moléculas” que dicho átomo forma con el oxígeno y otros átomos, generalmente metálicos poseyendo gran nivel de información, difieren en varios aspectos de las moléculas orgánicas, es decir, de las que poseen un esqueleto de átomos de carbono.

El mundo de los silicatos es de una gran diversidad, existiendo centenares de especies mineralógicas. Esas diferencias se refieren fundamentalmente a que el enlace químico en el caso de las moléculas orgánicas es covalente, y cuando se forma la sustancia correspondiente (cuatrillones de moléculas) o es un líquido, como es el caso de los aceites, o bien un sólido que funde fácilmente. Entre las moléculas que lo forman se ejercen unas fuerzas, llamadas de Van der Waals, que pueden considerarse como residuales de las fuerzas electromagnéticas, algo más débiles que éstas. En cambio, en los silicatos sólidos (como en el caso del topacio) el enlace covalente o iónico no se limita a una molécula, sino que se extiende en el espacio ocupado por el sólido, resultando un entramado particularmente fuerte.

Al igual que para los cristales de hielo, en la mayoría de los silicatos la información que soportan es pequeña, aunque conviene matizar este punto. Para un cristal ideal así sería en efecto, pero ocurre que en la realidad el cristal ideal es una abstracción, ya que en el cristal real existen aquí y allá los llamados defectos puntuales que trastocan la periodicidad espacial propia de las redes ideales. Precisamente esos defectos puntuales podían proporcionar una mayor información.

Si prescindimos de las orgánicas, el resto de las moléculas que resultan de la combinación entre los diferentes átomos no llega a 100.000, frente a los varios millones de las primeras. Resulta razonable suponer que toda la enorme variedad de moléculas existentes, principalmente en los planetas rocosos, se haya formado por evolución de los átomos, como corresponde a un proceso evolutivo. La molécula poseería mayor orden que los átomos de donde procede, esto es, menor entropía. En su formación, el ambiente se habría desordenado al ganar entropía en una cierta cantidad tal, que arrojarse un balance total positivo.

No puedo dejar pasar la oportunidad, aunque sea de pasada, de mencionar las sustancias.

Las así llamadas, son cuerpos formados por moléculas idénticas, entre las cuales pueden o no existir enlaces químicos. Veremos varios ejemplos. Las sustancias como el oxígeno, cloro, metano, amoníaco, etc, se presentan en estado gaseoso en condiciones ordinarias de presión y temperatura. Para su confinamiento se embotellan, aunque existen casos en que se encuentran mezcladas en el aire (os podéis dar una vueltecita por el polo químico de Huelva).

En cualquier caso, un gas como los citados consiste en un enjambre de las moléculas correspondientes. Entre ellas no se ejercen fuerzas, salvo cuando colisionan, lo que hacen con una frecuencia que depende de la concentración, es decir, del número de ellas que están concentradas en la unidad de volumen; número que podemos calcular conociendo la presión y temperatura de la masa de gas confinada en un volumen conocido.

Decía que no existen fuerzas entre las moléculas de un gas. En realidad es más exacto que el valor de esas fuerzas es insignificante porque las fuerzas residuales de las electromagnéticas, a las que antes me referí, disminuyen más rápidamente con la distancia que las fuerzas de Coulomb; y esta distancia es ordinariamente de varios diámetros moleculares.

Podemos conseguir que la intensidad de esas fuerzas aumente tratando de disminuir la distancia media entre las moléculas. Esto se puede lograr haciendo descender la temperatura, aumentando la presión o ambas cosas. Alcanzada una determinada temperatura, las moléculas comienzan a sentir las fuerzas de Van der Waals y aparece el estado líquido; si se sigue enfriando aparece el sólido. El orden crece desde el gas al líquido, siendo el sólido el más ordenado. Se trata de una red tridimensional en la que los nudos o vértices del entramado están ocupados por moléculas.

Todas las sustancias conocidas pueden presentarse en cualquiera de los tres estados de la materia (estados ordinarios y cotidianos en nuestras vidas del día a día).

Si las temperaturas reinantes, como decíamos en páginas anteriores, es de miles de millones de grados, el estado de la materia es el plasma, el material más común del universo, el de las estrellas (aparte de la materia oscura, que no sabemos ni lo que es, ni donde está, ni que “estado” es el suyo).

En condiciones ordinarias de presión, la temperatura por debajo de la cual existe el líquido y/o sólido depende del tipo de sustancia. Se denomina temperatura de ebullición o fusión la que corresponde a los sucesivos equilibrios (a presión dada) de fases: vapor \leftrightarrow líquido \leftrightarrow sólido. Estas temperaturas son muy variadas, por ejemplo, para los gases nobles son muy bajas; también para el oxígeno (O_2) e hidrógeno (H_2). En cambio, la mayoría de las sustancias son sólidos en condiciones ordinarias (grasas, ceras, etc).

Las sustancias pueden ser simples y compuestas, según que la molécula correspondiente tenga átomos iguales o diferentes. El número de las primeras es enormemente inferior al de las segundas.

El concepto de molécula, como individuo físico y químico, pierde su significado en ciertas sustancias que no hemos considerado aún. Entre ellas figuran las llamadas sales, el paradigma de las cuales es la sal de cocina. Se trata de cloruro de sodio, por lo que cualquier estudiante de E.G.B. escribiría sin titubear su fórmula: $Cl\ Na$. Sin embargo, le podríamos poner en un

aprieto si le preguntásemos dónde se puede encontrar aisladamente individuos moleculares que respondan a esa composición. Le podemos orientar diciéndole que en el gas Cl H o en el vapor de agua existen moléculas como individualidades. En realidad y salvo casos especiales, por ejemplo, a temperaturas elevadas, no existen moléculas aisladas de sal, sino una especie de molécula gigante que se extiende por todo el cristal. Este edificio de cristal de sal consiste en una red o entramado, como un tablero de ajedrez de tres dimensiones, en cuyos nudos o vértices se encuentran, alternativamente, las constituyentes, que no son los átomos de Cl y Na sino los iones Cl^- y Na^+ . El primero es un átomo de Cl que ha ganado un electrón, completándose todos los orbitales de valencia; el segundo, un átomo de Na que ha perdido el electrón del orbital s.

Cuando los átomos de Cl y Na interaccionan por aproximarse suficientemente sus nubes electrónicas, existe un reajuste de cargas, porque el núcleo de Cl atrae con más fuerza los electrones que el de Na, así uno pierde un electrón que gana el otro. El resultado es que la colectividad de átomos se transforma en colectividad de iones, positivos los de Na y negativos los de Cl. Las fuerzas electromagnéticas entre esos iones determinan su ordenación en un cristal, el Cl Na. Por consiguiente, en los nudos de la red existen, de manera alternativa, iones de Na e iones de Cl, resultando una red mucho más fuerte que en el caso de que las fuerzas actuantes fueran de Van der Waals. Por ello, las sales poseen puntos de fusión elevados en relación con los de las redes moleculares.

Hablemos de cuerpos.

Me referiré en primer lugar a los que constituyen nuestro entorno ordinario, que sería todo el entorno que abarca nuestro planeta. En segundo lugar considerare los demás cuerpos y objetos del universo. El análisis de muestras de esos diversos cuerpos ha puesto de manifiesto que, en función de la composición, los cuerpos pueden ser simples y compuestos. Los primeros son, precisamente, los llamados elementos químicos, a las que el insigne Lavoisier (conocido como padre de la química), consideró como el último término a que se llega mediante la aplicación del análisis químico.

Hoy sabemos que son colectividades de átomos isotópicos.

La mayoría de ellos son sólidos y se encuentran en la naturaleza (nuestro entorno terráqueo) en estado libre o en combinación química con otros elementos, formando los diversos minerales.

La ordenación de los iones en las redes se manifiesta externamente en multitud de formas y colores. No obstante debo señalar que, aun siendo abundante esta variedad, no es tan rica como la que corresponde a los cuerpos vivos, tanto animales como vegetales. La explicación se basa en que el número de especímenes moleculares y su complejidad son mucho mayores que en el reino inorgánico.

Sería conveniente, salir al paso de una posible interpretación errónea. Me refiero a que pudiera pensarse que los reinos que acabamos de mencionar constituyen clases disyuntas, esto es, sin conexión mutua. Y no lo digo porque esté considerando el hecho de que el carbono forma compuestos inorgánicos y orgánicos (lo que también hace el silicio), sino porque haya existido, y aún pueda existir, una conclusión, mejor conexión evolutiva del mundo inorgánico y el viviente que no se puede descartar, de hecho yo particularmente estoy seguro de ello. Estamos totalmente conectados con los ríos, las montañas y los valles, con la tierra que pisamos, el aire que respiramos y con todo el resto del universo del que formamos parte.

La teoría de Cairns Smith considera que el eslabón entre ambos mundos se halla localizado en los microcristales de arcilla. Mi teoría particular es que no hay eslabón perdido en dicha conexión, sino que es el tiempo el que pone en cada momento una u otra materia en uno u otro lugar. Ahora nos ha tocado estar aquí como ser complejo, pensante y sensitivo. El eón que viene nos puede colocar formando parte de un enorme árbol, de un monte, o simplemente estar reposando como fina arena en el lecho de un río. Sin dudarlo, J. M. y P. formarán parte de un hermoso jardín perfumado y lleno de aromas que la brisa regalará a los que pasen cerca de allí.

El granito, por ejemplo, consiste básicamente en una mezcla de tres cuerpos compuestos: cuarzo, mica y feldespato. ¿Quién puede decir hoy lo que seremos mañana?

En todos los cuerpos que hemos estado considerando hasta ahora, las moléculas, los átomos o los iones se hallan situados en los nudos de la correspondiente red, así que, los electrones de esos individuos se encuentran también localizados en el entorno inmediato de esos lugares. Podríamos decir que la densidad electrónica es una función periódica espacial, lo que significa que al recorrer la red siguiendo una determinada dirección irían apreciando altibajos, es decir, crestas y valles de la densidad electrónica.

La estructura de los cuerpos metálicos, así como las aleaciones, merecen una consideración especial. La estructura de los metales y aleaciones difiere de la de los demás cuerpos en un aspecto muy importante que consideré a continuación.

Me refiero a que en los cuerpos metálicos existe una deslocalización de los electrones que están menos fuertemente enlazados en los correspondientes núcleos, es decir, de los electrones de valencia.

Vamos a precisar un poco. Supongamos, para fijar las ideas, que tenemos un trozo de plata metálica pura. En los nudos de la red correspondientes los átomos han perdido su electrón de valencia, pero ocurre que cada uno de estos electrones forma una colectividad que se halla desparramada o dispersa por todo el sólido. Una primera imagen de esta situación fue establecida por el gran físico italiano Enrico Fermi, por lo que se habla de un gas electrónico, llamado también de Fermi, que llenaría los espacios libres, es decir, no ocupados por los iones metálicos.

Este gas electrónico es el responsable de las propiedades metálicas, tales como el brillo, conductibilidades eléctrica y térmica, etc. La aplicación de la mecánica cuántica a la descripción del estado metálico conduce a la obtención del mapa de la densidad electrónica, o como decía antes, a las características de la información correspondiente.

Sin entrar en detalles que desviarían nuestra atención hacia otros conceptos fuera de los límites de lo que ahora estoy pretendiendo, utilizaré el mismo lenguaje que para las estructuras de núcleos y átomos.

Recordemos que en la sociedad de los nucleones y electrones existen las relaciones verticales y las de estratificación, que se manifiestan en las capas y subcapas. En el caso de los metales tendríamos una colectividad de núcleos, arropados con sus capas cerradas, ocupando los nudos de la red; únicamente los electrones de valencia de cada átomo forman la colectividad del gas electrónico.

La pregunta que nos debemos hacer es: ¿estos electrones, en número igual por lo menos al de los átomos, se hallan estratificados? La respuesta es que sí. Existe una estratificación de estos electrones en las llamadas bandas. El concepto de banda energética resulta de la consideración simultánea de dos aspectos: la cuantización energética (o la estratificación de los niveles energéticos en los átomos) y el grandísimo número de electrones existentes. Este colectivo no podría ubicarse en un número finito y escaso de niveles. Esta dificultad queda soslayada si se admite que cada uno de esos niveles atómicos de los n átomos que forman el cuerpo se funde en otros tantos niveles de cierta anchura donde ya pueden alojarse los electrones disponibles.

Esa fusión de los niveles atómicos da lugar a las bandas. Esta imagen equivaldría a considerar un metal como un átomo gigante en el que los niveles energéticos poseyeran una anchura finita.

En cuanto a la información que puede soportar un metal, podríamos señalar que sería parecida a la del correspondiente átomo, pero mucha más extendida espacialmente. Una información puntual, la del átomo, daría paso a otra espacial, si bien vendría a ser una mera repetición periódica de aquella.

¿Y los cuerpos que pueblan el resto del universo?

Cuando un cuerpo sobrepasa unas determinadas dimensiones, aparece algo que conocemos como fuerza gravitatoria y que se deja sentir en la forma que todos conocemos y que da lugar primeramente a la fusión de los diversos materiales que forman los cuerpos.

Así, por ejemplo, en el cuerpo que llamamos Tierra, la presión crece con la profundidad, por lo que a partir de un determinado valor de ésta, aparece el estado líquido y con él una estratificación que trata de establecer el equilibrio hidrostático.

Dentro de nuestro sistema planetario se distinguen los planetas rocosos, hasta Marte y meteoritos inclusive, y el resto de ellos, desde Júpiter en adelante, incluido este. Estos últimos difieren esencialmente de los primeros en su composición. Recuérdese que la de Júpiter es mucho más simple que la de los planetas rocosos. Consta fundamentalmente de hidrógeno, helio, agua, amoniaco y metano, con un núcleo rocoso en su interior. El hidrógeno que rodea a este núcleo se encuentra en forma de hidrógeno atómico sólido*.

También la composición del Sol (y todas las estrellas que brillan) es más simple que la de los planetas rocosos, su estado físico es el de plasma y su contenido está reducido (mayormente) a hidrógeno y helio. Más variedad de materiales existe en las estrellas supernovas, donde el primitivo hidrógeno ha evolucionado de la manera que expliqué en otra parte de este trabajo.

En cuanto a los derechos de la evolución estelar, enanas blancas, estrellas de neutrones y agujeros negros, señalaré que la composición de la primera es sencilla en cuanto al número de “elementos” constituyentes; la segunda ya lo indica su propio nombre, constan de nucleones, particularmente neutrones que están fuertemente empaquetados (muy juntos) por la gravedad. Una estrella de neutrones puede tener una densidad superior a la del agua, en millones de veces y del mismo orden que la de los núcleos atómicos. El agujero negro es un fenómeno aparte, su inmensa fuerza gravitatoria es tal que ni la luz puede escapar de ella, es decir, su velocidad de escape es superior a 300.000 Km/s, y como según la relatividad nada es en nuestro

* En la página 466 y siguientes se comenta sobre el hidrógeno.

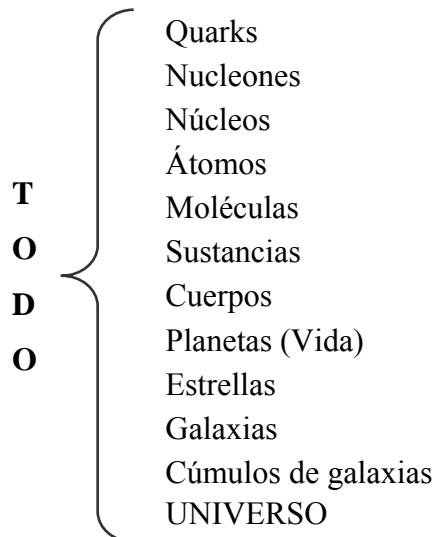
universo superior en velocidad a la luz, resulta que nada podrá escapar de un agujero negro.

Allí dentro, en el interior del agujero negro, no existen ni el tiempo ni el espacio; es como un objeto que estando en nuestro universo (deja sentir su fuerza gravitatoria y engulle estrellas), al mismo tiempo no está aquí.

Desde el comienzo de este trabajo estoy tratando de relacionar el universo, la materia y la conciencia, es por ello que me he entretenido en dar tantas explicaciones que, para no resultar pesado, he amenizado con alguna que otra historia, noticia o comentario.

Ha sido un largo recorrido por las profundidades de la materia vista desde distintas perspectivas, y en ella estamos nosotros incluidos con una adicional: el pensamiento, la racionalidad, el Ser.

En todo el universo siempre es lo mismo, rigen las mismas leyes, las mismas fuerzas y está presente la misma materia.



Claro que, explicar todo esto en un repaso breve como el que aquí hemos dado no es nada fácil; se necesitaría más tiempo y una elaboración más esmerada. Sin embargo, teniendo en cuenta que el presente libro está hecho como disfrute de un enamorado de la ciencia, que sin ánimo de lucro ha sido elaborado a ratos perdidos con el único deseo de que llegue a personas interesadas en estos temas, si alguna de ellas aprende alguna cosa al leerlo, el autor estará más que pagado.

Esa es la única pretensión que me ha guiado a realizar el trabajo que a petición de la *Asociación Cultural Amigos de la Física 137 e/hc*, se ha escrito como una diversión y disfrute de los sentidos, quien ame la ciencia lo comprenderá.

Si prestáis un poco de atención al contenido de este trabajo, a pesar de que esté redactado de manera sencilla y poco técnica, veréis la grandeza de la que formamos parte, las maravillas que nos rodean y, desde luego, habrá que sacar la conclusión de que la **materia** no es “tan inerte” como algunos pretenden, y además es muy posible (como comento en alguna parte anterior del libro) que esté conectada la orgánica y la inorgánica, la que tiene vida y la que parece que no la tiene.

¿Qué cómo se originó la vida?

Es la pregunta del millón. Unos opinan que se originó fuera de la Tierra y que un cometa la sembró de organismos. Otras versiones apuestan por el océano y un caldo primordial, o pequeñas charcas templadas bombardeadas por rayos ultravioletas y gamma en una atmósfera poco evolucionada, o en las cercanías de turbulencias termales de chimeneas situadas en los fondos marinos, en cuyo ambiente existirían nutrientes, energías y protección contra agresiones exteriores, principalmente impactos extraterrestres. Otros han optado por superficies de granos de pirita, donde la capacidad de adsorción de este mineral para una gran diversidad de moléculas y la energía proporcionada por la síntesis de dicho cristal permiten suponer que tal vez constituyeron una serie de circunstancias favorables para la aparición de la materia viva.

Como veréis, todos estos que han opinado en las distintas maneras en que pudo llegar aquí la vida, saben tanto de ello como sé yo, o sea, nada.

Lo que sí sé es una cosa segura: la vida es inevitable.

Sí señor, ha oído usted perfectamente. La vida en el universo es inevitable. Son muchas las cosas que han influido para que eso sea así.

Pensemos un momento: si la fuerza nuclear fuerte, la nuclear débil, el electromagnetismo, la gravitación, las constantes universales fundamentales, la masa y la carga de las partículas elementales, la diversidad de las familias de partículas, la energía de las estrellas y de los planetas, y un sin fin de detalles más..., si todo esto fuera de otra manera, si simplemente la carga y masa del electrón, fuera distinta, nosotros no podríamos estar aquí, y nuestro universo sería otra cosa, incluso un universo sin vida.

Y digo yo, ¿Qué es un universo sin vida?

¡La Nada!

Que gracias a todas las confluencias de los parámetros a los que antes me refería, no es nuestro caso.

Aquí hemos tenido a los mesopotámicos, a los egipcios, babilónicos, griegos y tantas civilizaciones que fueron..., hasta llegar a nosotros que, aunque algo irrationales algunas veces, hemos sido capaces de traer las matemáticas, la física, la química, la biología, la filosofía, la música..., y tantas cosas más, incluido el amor.

No está nada mal.

He procurado hablar aquí de muchas cosas relacionadas todas ellas en algún punto del espacio–tiempo, en nuestra línea de universo.

De nuestros antepasados ancestrales, sus entornos y formas de vida, su evolución. El enorme camino recorrido.

De lo que entendemos por la conciencia, lo que nos dicen los grandes pensadores sobre el ser. El poder saber y sentir que un instante puede contener un universo entero, lleno de matices, sentimientos y fuerzas que luchan entre sí.

De lo que está formado todo, la materia “inerte” y la materia viva. Aunque sería más apropiado decir la materia “dormida” o la materia “despierta”.

De lo que entendemos por materia y cómo esta conformada desde lo más pequeño, que toma complejidad y se hace grande.

De los posibles orígenes de la vida que ahora conocemos en el planeta Tierra.

Y de otras muchas cuestiones y conceptos que han sido tratados aquí de manera sencilla, sin demasiada profundidad, pero sí lo suficiente como para ser comprendido de manera básica y somera cuestiones que, de alguna manera, a todos debía interesar.

Aquí se habla de lo que hemos sido, de lo somos y, posiblemente, de lo que podemos llegar a ser.

No sé si la belleza es un principio físico, lo que sí sé es que el **cariño** y la **amistad** es un principio del espíritu, del alma, del ser. Si no los tenemos, en realidad no somos. El hombre es un animal social, necesita de los demás, y está claro que el SER está en la unión de dos partes, al igual que sin quarks no tenemos núcleo ni átomo, sin dos partes contrapuestas no tenemos ese uno esencial.

Todo en el universo es equilibrio, y de la misma manera, nosotros los seres vivos, tenemos el equilibrio en la unión de esas dos partes que hacen el todo, haciendo posible la continuidad.

Por todas partes estamos rodeado de grandes cosas, de maravillas que normalmente nos pasan desapercibidas, no pensamos en la grandeza de todo lo que tenemos y de todo lo que podemos hacer. Muchas veces, cuando caemos en la cuenta, ya es tarde.

Muchos más de lo que pensamos, cuando ya no tiene remedio piensan: “Lo pude hacer mejor. Tenía que haberla respetado más. Le tendría que haber dicho cuánto la quería. Me tenía que haber comportado de otra manera”. Y así podríamos seguir. La vida es muy corta y la mayoría la desperdicia de manera lastimosa. Los egoísmos mezquinos nublan las mentes y no les dejan ver dónde reside lo importante.

Hoy, con sorpresa, al coger un libro para consultar, leo algo manuscrito en él en la última hoja en blanco. Aquello llama mi atención, leo atentamente y textualmente dice:

“Con la edad que tengo, 27 años, son pocos los libros que he comprado y leído, pero de lo que estoy seguro es que este libro es un auténtico coñazo con mil nombres raros y cuestiones que no entiendo”.

En un principio me sonréí, aquello me hizo gracia. Pero la sonrisa se borró de mis labios para cambiarse por un gesto de amargura, la letra era de mi hijo Emilio (nunca quiso estudiar). Aquel breve escrito denotaba la incultura, la falta de preparación, el ser mal encauzado, la inteligencia desperdiciada. Lo escribió una persona para mí muy querida. ¡Qué lástima! Llevo el peso de mi parte de culpa.

Todos no podemos ser Einstein, Riemann o Ramanujan.

Tampoco todos podemos ser médicos, ingenieros o catedráticos. Sin embargo, seamos lo que seamos, todos somos necesarios en nuestra misión en la sociedad, y debemos y podemos ser medianamente cultos.

Es muy sencillo, sólo tenemos que leer, cualquier momento es bueno. Leer es primordial, menos TV y más libros. Groucho Marx lo decía:

“La televisión educa. Cuando encienden la tele en casa, me voy a otro cuarto y leo un libro”.

Ese es el ejemplo a seguir.

Hardy, el gran matemático inglés, miraba asombrado la carta que un tal Ramanujan, le había enviado desde Madrás en la India; estaba mal escrita y de caligrafía dudosa, sin embargo, contenía 120 teoremas de los que la mayoría eran totalmente imposible para él demostrar. Y estaban elaborados, pensados e inspirados por un triste empleado oficinista en el Puerto de Madrás, allá por 1.913. Eso es lo que nos hace grandes, no importa la riqueza ni la posición, el genio puede surgir en cualquier parte.

Tenemos que pensar que nuestra civilización técnica es muy joven, su edad es de unos pocos cientos de años y lo más importante, el talento, está ahí. Sin embargo, hay que cultivarlo.

Es necesario que todos ocupen el lugar que ocupen en la sociedad, tengamos una cierta cultura, los conocimientos básicos en aquellas materias importantes para nuestra evolución, para la salvación de la civilización.

Es verdaderamente lastimoso oír las respuestas que podemos recibir a preguntas básicas de ciencia; Si no fuera tan serio el problema, sería de risa lo que muchas personas piensan (*¿piensan?*) sobre la teoría de cuerdas, el modelo estándar de la física, la mecánica cuántica o la relatividad, la contestación puede ser tan peregrina que, en realidad, da pena.

Ya lo dije en otras ocasiones, la conexión de todas las cuestiones del universo nos lleva a la simetría unificadora. Cuando se adquiere cierto dominio del conocimiento de las cosas se adquiere la capacidad de explicar gran cantidad de parámetros naturales de manera sencilla.

Al igual que la música o el arte, las ecuaciones matemáticas pueden tener una lógica y una progresión natural que puede llegar a evocar extrañas pasiones en un científico, ya que éste puede ver lo que para un profano pasa desapercibido.

La simplicidad y la elegancia son las cualidades de las grandes obras y las que han adornado a los hombres de verdadera valía, aquellos que escribieron una página en la historia.

Lo decía Richard Feynman: “Se puede reconocer la verdad por su belleza y simplicidad”.

Tenemos que mirar más la naturaleza, ¿hay algo más bello? En ella, si la observamos con detenimiento, encontraremos respuestas que nos facilitan una vida mejor. Sin embargo, no todos miramos lo que debemos y lo importante es ignorado, la mayoría de las veces, para atender a otras cuestiones vacías y artificiales que, en realidad, no valen nada. Se ha terminado este apartado y espero que os guste y entretenga algunas de las cuestiones que aquí se tratan, y si de camino aprendéis algo, mucho mejor

El Autor

Glosario

Aberración de la luz estelar

Desplazamiento de la situación aparente de las estrellas en el cielo debido al movimiento de la Tierra.

Absorción, líneas de

Líneas oscuras de un espectro producidas cuando la luz u otra radiación electromagnética proveniente de una fuente distante pasa por una nube gaseosa o un objeto similar más cercano del observador. Como las líneas de emisión, las líneas de absorción revelan la composición química y la velocidad del material que las produce.

Aceleración

Aumento de velocidad en el tiempo. ($dv/dt = d^2s/dt^2$)

Acelerador de partículas

Máquina para acelerar las partículas subatómicas a altas velocidades, haciéndolas chocar luego con un blanco estacionario o con otro haz de partículas que se desplaza en la dirección opuesta. (En

el segundo caso, la máquina recibe el nombre de colisionador). A velocidades cercanas a la de la luz, la masa de la partícula aumenta diez veces, lo que eleva enormemente la energía liberada en el impacto ($E=mc^2$). La explosión resultante provoca la producción de partículas exóticas, que son analizadas en su conducta cuando atraviesan un detector de partículas y así se ha ido descubriendo los componentes de la materia.

Actualmente, los mejores y más potentes aceleradores de partículas, están en los EEUU y en Europa, Fermilab y CERN. Estos potentes aceleradores alcanzan energías enormes y, sin embargo, no son suficientes como para detectar la partícula de Higgs que se cree que es la que proporciona masa a todas las demás partículas. Tampoco puede alcanzar otras metas ya necesarias, como el comprobar la veracidad de la teoría M, por ejemplo.

ADN

Ácido desoxirribonucleico, la macromolécula que transporta la información genética requerida para formar los seres vivos en la Tierra.

Agujero de gusano

Agujero o túnel hipotético en el espacio-tiempo. Las teorías cosmológicas estándar se basan en la hipótesis de que el espacio-tiempo es suave y simplemente conexo. Para dar una analogía tridimensional, el espacio-tiempo se asume que es como una esfera. En cosmología cuántica se piensa que, a escalas del orden de 10 m, el espacio tiempo tiene una estructura muy complicada y múltiplamente conexa, en la que “túneles” constituyen atajos entre pun-

tos aparentemente muy distantes, incluso, entre galaxias.

En principio, agujeros de gusano suficientemente grandes podrían permitir viajar entre partes distantes del universo a más velocidad que la de la luz y, en alguna circunstancia, viajar en el tiempo. Las matemáticas de Einstein de la relatividad general no lo desmienten ni lo impiden.

Aunque de momento estos objetos espaciales son sólo especulaciones, y aunque reputados físicos como Kip S. Thorne lo han utilizado de manera muy seria en sus artículos y teorías, nadie los ha visto aún. Serían los contrario del agujero negro, o sea, *un agujero blanco*.

Agujeros negros

Son el resultado final de la muerte de una estrella supermasiva.

El objeto resultante tiene un campo gravitatorio tan intenso que su velocidad de escape supera la de la luz. Por ello, ningún objeto macroscópico que entra en el agujero negro puede escapar de él. En términos de la relatividad general, se dice que el espacio que rodea a un agujero negro alcanza una curvatura infinita y se convierte en una singularidad donde deja de existir el espacio y el tiempo. Alrededor del agujero negro (de la singularidad), hay una zona de seguridad que, no debe ser traspasada, se llama *horizonte de sucesos*. Cualquier objeto o materia que traspase el horizonte de sucesos, es tragado, literalmente, por el agujero negro, cuya inmensa densidad genera tal fuerza de gravedad que queda atrapada la luz y puede atraer a una estrella vecina para llevarla hacia la singularidad, cada vez más densa.

Andrómeda, Galaxia de

Situada a 2'2 millones de años-luz de La Tierra. Está ligada gravitacionalmente a la Vía Láctea con la que comparte familia (el Grupo Local). Tiene unos 200 mil millones de estrellas y, en lugar de alejarse, se acerca a nosotros.

Ángstrom

De símbolo Å. Unidad de longitud igual a 10^{-10} metros. Fue antiguamente usada para medir longitudes de onda y distancias intermoleculares, pero ahora ha sido reemplazada por el nanómetro ($1\text{\AA} = 0'1$ nanómetros).

La unidad es nombrada así en honor del pionero sueco de la espectroscopia, A. J. Angstrom (1.814-1.874).

Anión

Ión cargado negativamente, es decir, un ion que es atraído hacia el ánodo de la electrolisis (comparar con catión).

Anisotropía

La característica de depender de la dirección.

La luz que llega con igual intensidad desde todas las direcciones (la luz del Sol, la de una bombilla en una habitación) es isotrópica.

El haz de un foco que sigue a la bailarina en el escenario, es

anisotrópico. La radiación cósmica de fondo es generalmente isotrópica, o lo que es lo mismo, su intensidad es la misma en todas las partes del cielo, pero se han detectado pequeñas anisotropías que, se piensa, reflejan el movimiento propio de la Tierra relativo al marco del universo como un todo.

Antiátomo

Átomo en el que todas las partículas de los átomos ordinarios son reemplazadas por sus antipartículas, es decir, electrones por positrones, protones por antiprotones y neutrones por antineutrinos. Un antiátomo no puede coexistir con un átomo ordinario, ya que, el átomo y el antiátomo al contacto, se aniquilarían mutuamente con la producción de energía en forma de fotones de alta energía.

Antimateria

Materia formada por partículas con igual masa y espín que las de materia ordinaria, pero con carga opuesta. Se ha producido experimentalmente antimateria, pero es difícil encontrarla en la naturaleza. Por qué esto es así es una pregunta que debe responder el estudio del universo primitivo, en el que, según parece, había más electrones que positrones, protones que antiprotones y neutrones que antineutrinos, de tal manera que, una vez destruida toda la materia y antimateria igual en número, el sobrante es la materia que forma el universo (dejando aparte la materia oscura que no sabemos -aún- lo que es).

Antrópico, principio

Doctrina según la cual el valor de ciertas constantes fundamentales de la naturaleza puede explicarse demostrando que, si fuese diferente, el universo no podría contener vida. Si la intensidad de la fuerza nuclear fuerte fuera un poco diferente, por ejemplo, las estrellas no podrían brillar y la vida tal como la conocemos sería imposible.

Año-Luz

Unidad de distancia utilizada en astronomía; la distancia recorrida por la luz en el vacío durante un año.

Es igual a $9'4659 \times 10^{15}$ metros o $5'8787 \times 10^{12}$ millas. El resultado es el de 299.792'458 Km/segundo y averiguar los segundos que tiene un año para multiplicarlo por esta última cantidad, así sabremos la distancia que recorre la luz en un año.

Asimetría

Una violación de la simetría.

Asintótica, libertad

Consecuencia de ciertas teorías gauge, en particular la cromodinámica cuántica, de que las fuerzas entre partículas como los quarks se hacen más débiles a distancias más cortas (es decir, a altas energías) y se anulan a medida que la distancia entre las partículas tiende a cero. Sólo las teorías gauge no abelianas con sime-

trías gauge no rotas pueden tener libertad asintótica. Por el contrario, la electrodinámica cuántica predice que la interacción entre partículas disminuye como resultado del apantallamiento dieléctrico; la libertad asintótica para los quarks implica que ocurre un antiapantallamiento. Físicamente, la libertad asintótica postula que el estado de vacío para los gluones es un medio que tiene paramagnetismo de color; es decir, el vacío antiapantalla las cargas de color.

Así que, en cromodinámica cuántica, los quarks están continuados con los gluones, en forma tal que, si están cerca los unos de los otros, la fuerza nuclear fuerte disminuye (libertad asintótica), pero si tratan de separarse, la fuerza nuclear fuerte aumenta (confinamiento de los quarks), ya que, los gluones, esa especie de pegamento que los retiene, actúa como un muelle de acero. Si lo estiramos (separación de los quarks) se produce más resistencia, si lo dejamos en su estado natural, no hay resistencia, así funciona la fuerza nuclear fuerte, es la única fuerza de la naturaleza que crece con la distancia.

Los quarks están confinados en una región con radio R de valor $R \approx hc/A \approx 10^{-13} \text{ cm}$.

Asteroide

(Planetas menores; planetoides).

Pequeños cuerpos que giran alrededor del Sol entre las órbitas de Marte y Júpiter en una zona alejada entre 1'7 y 4'0 unidades astronómicas del Sol (cinturón de asteroides). El tamaño de estos objetos varía desde el más grande, Ceres (con un diámetro de 933 km), a los objetos con menos de 1 km de diámetro. Se estima que hay alrededor de 10 cuerpos con diámetro mayor de 250 km y unos

120 cuerpos con diámetros por encima de 130 km.

Aunque son millones, su masa total es apenas una pequeña fracción de la Tierra, aunque no por ello dejan de ser preocupantes en el sentido del peligro que pueda suponer para nuestro planeta la colisión con uno de estos pedruscos enormes del espacio estelar. La desaparición de los dinosaurios podría ser una prueba de los efectos devastadores de una colisión de este calibre.

Astrofísica

Ciencia que estudia la física y la química de objetos extraterrestres. La alianza de la física y la astronomía, que comenzó con la creación de la espectroscopia, permitió investigar lo que son los objetos celestes, y no solo donde están.

Esta ciencia nos permite saber la composición de elementos que tiene un objeto estelar situado a miles de años-luz de la tierra y, de momento, se confirma que el material existente en el universo entero es igual en todas partes.

El universo primitivo era un plasma, cuando se enfrió se convirtió en hidrógeno y algo de helio (los dos elementos más simples) y más tarde, cuando se formaron las primeras estrellas y galaxias, se pudo fabricar en los hornos termonucleares de las estrellas, el resto de elementos más complejos y pesados, tales como litio, carbono, oxígeno, nitrógeno, todos los gases nobles como argón, krypton, neón, etc., el hierro, mercurio... uranio y se completó la tabla periódica de elementos naturales que están, de una u otra forma dispersos por el universo.

Nosotros mismos, la especie humana, estamos hechos de un material que sólo se puede producir en las estrellas, así qué, sin lugar a ninguna duda, el material que nos formó se fabricó hace mi-

les de millones de años en estrellas situadas a miles o cientos de miles de años-luz de nuestro Sistema Solar. ¡Qué insignificante somos comparados con la enormidad del universo!

Astronomía invisible

Estudio de objetos celestes observados mediante la detección de su radiación o longitudes de onda diferentes de las de la luz visible.

Mediante este método se ha detectado, por ejemplo, una fuente emisora de rayos X, Cygnus X-I, que consiste en una estrella supergigante que rota alrededor de un pequeño compañero invisible con una masa unas diez veces mayor que la del Sol y, por tanto, por encima del límite de Chandrasekhar y que todos los expertos le conceden su voto para que, en realidad sea un agujero negro situado en el corazón de nuestra Galaxia a 30.000 años-luz de la Tierra.

Astronómica, unidad

Distancia media de la Tierra al Sol, igual a 149.600 millones de Km, ó 499'012 segundos-luz, ó 8'316 minutos-luz. Cuando se utiliza para medir distancias entre galaxias, se redondea en 150 millones de Km.

Átomo

La parte más pequeña que puede existir de un elemento. Los átomos constan de un pequeño núcleo muy denso de protones y neutrones rodeado de electrones situados por capas o niveles y

moviéndose. El número de electrones es igual al de protones y, siendo la carga de estas positivas y la carga de aquellas negativa pero equivalentes, el resultado final del total de la carga es cero y procura la estabilidad entre cargas opuestas pero iguales.

La estructura electrónica de un átomo se refiere a la forma en la que los electrones están dispuestos alrededor del núcleo y, en particular, a los niveles de energía que ocupan. Cada electrón puede ser caracterizado por un conjunto de cuatro números cuánticos: el número cuántico principal, el orbital, el magnético y el número cuántico de espín.

De acuerdo con el principio de exclusión de Pauli, dos electrones en un átomo no pueden tener el mismo conjunto de números cuánticos. Los números cuánticos definen el estado cuántico del electrón y explican como son las estructuras electrónicas de los átomos.

En el núcleo reside casi por completo la masa del átomo que está compuesta, como se ha dicho, por protones y neutrones que, a su vez, están hechos por quarks.

Se puede dar el caso de que, en ocasiones, se encuentren átomos exóticos en el que un electrón ha sido reemplazado por otra partícula cargada negativamente, como un muón o mesón. En este caso, la partícula negativamente cargada finalmente colisiona con el núcleo con la emisión de fotones de rayos X. Igualmente, puede suceder que sea el núcleo de un átomo el que sea reemplazado por un mesón positivamente cargado. Ese átomo exótico tiene que ser creado artificialmente y es inestable.

Azar

Característica un régimen en el que no se puede hacer predic-

ciones exactas, sino sólo en términos de probabilidades. En la física clásica se pensaba que el azar sólo regía donde la ignorancia limitaba nuestra comprensión de un mecanismo subyacente de causación estricta. Pero en la interpretación de Copenhague de la mecánica cuántica, se describe el azar como inherente a todas las observaciones de la naturaleza.

Barión

Hadrón con espín semientero. Los nucleones son una subclase de bariones. De acuerdo con la teoría actualmente aceptada, los bariones están constituidos por tres quarks unidos por gluones.

Los bariones poseen un número cuántico, el número bariónico, que es +1 para bariones y -1 para antibariones, $1/3$ para quarks, $-1/3$ para antiquarks y 0 para las demás partículas, como electrones, neutrinos y fotones. El número bariónico siempre parece conservarse experimentalmente, pero las teorías de gran unificación postulan interacciones a muy alta energía que permiten que no se conserve. Se cree que la no conservación del número bariónico a las altas energías características del universo primitivo puede ser una explicación de la simetría entre materia y antimateria en el universo.

Toda la materia que podemos ver y detectar en el universo, como los planetas, estrellas o galaxias, es bariónica.

Big Bang

Teoría cosmológica en la que toda la materia y energía del universo se originó a partir de un estado de enorme densidad y temperatura que explotó en un momento finito en el pasado hace

unos 15 mil millones de años. Esta teoría explica de forma satisfactoria la expansión del universo, la radiación de fondo de microondas observada, característica de la radiación de cuerpo negro a una temperatura de 3 K y la abundancia observada de helio en el universo, formado por los primeros 100 segundos después de la explosión a partir del deuterio a una temperatura de 10.000.000.000 K. Ahora es considerada generalmente como más satisfactoria que la teoría de estado estacionario de un universo quieto e inamovible. La teoría del Big Bang fue desarrollada por primera vez en 1.927 por A. G. E. Lamaitre (1.894-1.966) y retomada y revisada en 1.946 por George Gamow (1.904-1.968). Han sido propuestas varias variantes de ella.

La teoría de la relatividad general predice la existencia de una singularidad en el comienzo, cuando la temperatura y la densidad eran infinitas. La mayoría de los cosmólogos interpretan esta singularidad como una indicación de que la relatividad general deja de ser válida en el universo muy primitivo, y que el comienzo mismo debe ser estudiado utilizando una teoría cosmológica cuántica.

Con el conocimiento actual de la física de partículas de altas energías, podemos hacer avanzar el reloj, hacia atrás y a través de las eras leptónica y la hadrónica hasta una millonésima de segundo después del Big Bang cuando la temperatura era de 10^{13} K. Utilizando una teoría más especulativa los cosmólogos han intentado llevar el modelo hasta 10^{-35} segundos después de la singularidad, cuando la temperatura estaba en 10^{28} K.

En el instante del Big Bang comenzó la expansión del universo y en ese mismo momento nació el espacio-tiempo. En un principio la simetría lo dominaba todo y reinaba una sola fuerza unificada. Más tarde, a medida que el universo se enfriaba, la simetría se rompió y surgió la materia y las 4 fuerzas fundamentales que rigen hoy. La opacidad desapareció y todo fue transparencia, surgieron los fotones que transportaron la luz a todos los rincones del

cosmos. Doscientos mil años más tarde surgieron las primeras estrellas, se formaron las galaxias y, partir de la materia inerte, nosotros, la especie humana que, hoy, tan pretenciosa, quiere explicar como ocurrió todo.

Big Crunch

Estado final de un universo de Friedman cerrado (es decir, uno cuya densidad excede a la densidad crítica). Dicho universo se expande desde el Big Bang inicial, alcanza un radio máximo, y luego colapsa hacia un Big Crunch, donde la densidad de materia se vuelve infinita. Después del Big Crunch denería haber otra fase de expansión y colapso, dando lugar al universo oscilante, o lo que es lo mismo: el Big Bang finaliza en Big Crunch que forma una singularidad que vuelve a formar un Big Bang y vuelta a empezar.

Binaria, estrella

Sistema estelar doble, en el que las dos estrellas están unidas por su mutua fuerza gravitatoria.

Bolas de pegamento

Partículas teóricas formadas exclusivamente por gluones. Pruebas de sondeo de la existencia de bolas-pegamento se han hallado en experimentos de acelerador a mediados de los años ochenta.

Para mejor comprensión del lector diré que gluón es una partícula que tiene por única misión retener confinados a los quarks

dentro del núcleo, formando protones y neutrones. La palabra glue, en inglés significa pegamento, de ahí el nombre del gluón (más información en la fuerza nuclear fuerte).

Bosones

Partículas elementales de espín entero que no obedecen al principio de exclusión de Pauli. Entre ellas se cuentan los fotones y las partículas W^+ , W^- y Z^0 portadoras de las fuerzas electromagnéticas y electrodébil, respectivamente.

Al tener espín entero, obedecen a la estadística Bose-Einstein que obedece a las reglas de la mecánica cuántica.

El gravitón, cuanto de energía intercambiado en la interacción gravitacional, también es un bosón. No ha sido aún observada y se le supone carga nula.

Caltech

El California Institute of Technology, de Pasadena.

Campo

Dominio o entorno en el cual la acción real o potencial de una fuerza puede ser descrita matemáticamente en cada punto del espacio con una exactitud cercana a la perfección.

Carbono, reacción de

Importante proceso de fusión nuclear que se produce en las estrellas. Lo inicia el carbono 12 y después de interacciones con núcleos de nitrógeno, hidrógeno, oxígeno y otros elementos, reaparece al final.

Este es el fenómeno que hace posible que las estrellas estén brillando en los cielos.

Causación, Causalidad

Doctrina según la cual toda nueva situación debe haber sido el resultado de un estado anterior. La causación está subyacente en la hipótesis atómica original de los griegos y era común en la física clásica. Ha sido socavada por la mecánica cuántica y, de todos modos, nunca se ha probado que sea esencial para la visión científica del mundo.

En realidad, causalidad no quiere significar otra cosa sino que, todo lo que ocurra, será causa de lo que antes ocurrió: si estudio apruebo, si trabajo gano una paga, si corro más gano la carrera, si me baño estoy limpio, etc.

Cefeida variable

Una estrella variable pulsante cuya periodicidad (esto es, el tiempo que su brillo tarde en variar) está directamente relacionada con su magnitud absoluta. Esta correlación entre el brillo y el período hace útiles las cefeidas para medir distancias intergalácticas.

Uno de los grupos importantes de gigantes o supergigantes

amarillas variables pulsantes es llamadas así por su prototipo, Delta Cephei. Este término general y aplicado comúnmente a más de un tipo estelar, en particular a los cefeidas clásicas antes mencionadas Delta Cephei, y a los menos numerosas estrellas conocidas como W Virginia.

En su tamaño máximo, los cefeidas son típicamente un 7-15% mayores que en su tamaño mínimo.

Centauros A

Intensa radiofuente o fuente de rayos X situada en la constelación Centauros, identificada con la galaxia elíptica gigante de una magnitud 7 NGC 5128. Centauros A es una radio galaxia clásica con dos pares de lóbulos radioemisores, el mayor de los cuales extendiéndose hasta a 1'5 millones de a.l. y con un chorro que unos 10.000 a.l. de longitud. Estando situada a 15 millones de a.luz, se trata de la radiogalaxia más cercana al Sol. Aunque la galaxia madre se identifica como elíptica, tiene una banda de polvo poco característica cruzándola, que se cree es el resultado de la unión de una galaxia elíptica en otra espiral.

Está situada entre el Grupo Local y el centro del supercúmulo de Virgo.

CERN

Centro Europeo para la Investigación Nuclear. Tiene un acelerador de partículas, el Super Protón Synchotron (SPS), que es un túnel de 7 km situado bajo tierra que permite acelerar protones a 400 GeV, y el Largue Electrón Positron Collider (LEP), en el que son hechos colisionar haces de electrones y haces de positrones

(materia con antimateria) a 50 GeV. Situada en Ginebra, Suiza.

Cero absoluto

Cero de la temperatura termodinámica (0° Kelvin) y la menor temperatura teóricamente alcanzable. Es la temperatura a la cual la energía cinética de los átomos y moléculas es mínima. Es equivalente a -273'15°C ó -459'67°F.

Chandrasekhar, límite de

Masa máxima de una estrella que no puede colapsarse bajo su propia gravedad por la presión de degeneración tanto de los electrones (en una enana blanca) como de neutrones (en una estrella de neutrones).

Para las enanas blancas la masa estimada de Chandrasekhar es del orden de 1'4 veces la masa del Sol. Para las estrellas de neutrones el valor es peor conocido debido a las incertidumbres en la ecuación de estados de la materia neutrónica, pero se toma generalmente en el rango de 1'5 a 3 veces la masa del Sol (y con casi toda seguridad no más de 5).

Sobrepasando estos límites, la estrella que agote su combustible nuclear de fusión y colapse, será para convertirse en agujero negro.

Ciclo

Conjunto de cambios en un sistema regularmente repetido en

el que todos sus parámetros vuelven a su valor original una vez en cada conjunto de cambios. La duración de un ciclo es llamada el período, y el ritmo de repetición del ciclo, llamado la frecuencia, es medido en hertzios.

Ciencia

Estudio sistemático de la naturaleza basado en la suposición de que el universo está regido por principios inteligibles y que, por lo tanto, es posible predecir su conducta, sometiendo los datos de la observación a un análisis lógico y, en ocasiones, estadístico.

Colapso gravitacional

Fenómeno predicho por la teoría de la relatividad general en el que la materia comprimida más allá de una densidad crítica se colapsa como consecuencia de la atracción gravitacional hasta que aparece una singularidad puntual (ver agujero negro). La singularidad resultante del colapso gravitacional puede ser interpretada como una indicación de que se ha llegado al límite de la teoría de la relatividad general y de la necesidad de construir una gravedad cuántica. La hipótesis de la censura cósmica sugiere que el punto final del colapso gravitacional debe ser un agujero negro, pues las singularidades están siempre ocultas en astrofísica, pues suministra una evidencia indirecta de la existencia de los agujeros negros.

También, dependiendo de la masa de la estrella, cuando finalmente agotan su combustible nuclear de fusión (hidrógeno, helio, oxígeno, carbono, etc) y la gravedad no encuentra oposición para realizar su trabajo, las estrellas colapsan bajo su propio peso, no siempre hasta agujeros negros, como nuestro Sol un día en el futuro, podrán colapsar a estrellas enanas blancas o estrellas de

neutrinos y las supermasivas, estas sí, serán agujeros negros.

Color

Propiedad de los quarks que expresa su conducta bajo la fuerza fuerte. Es análogo al concepto de carga en el electromagnetismo, salvo que en éste hay dos cargas eléctricas (positiva y negativa), mientras que la fuerza intensa tiene tres cargas de color: rojo, verde y azul. El término es arbitrario y no guarda relación alguna con el color en el sentido habitual, lo mismo que el sabor de los quarks, el mal determina la conducta de la fuerza débil en los quarks, no tiene nada que ver con el gusto.

El verdadero color es el que está referido a la sensación producida por la luz de diferentes longitudes de onda cuando inciden en el ojo humano. A pesar de que el espectro visible cubre un rango continuamente variable de colores desde el rojo hasta el violeta, es habitualmente dividido en siete colores (el espectro visible) con los siguientes rangos habituales de onda:

Rojo	740 - 620 nm
Naranja	620 - 585 nm
Amarillo	585 - 575 nm
Verde	575 - 500 nm
Azul	500 - 445 nm
Añil	445 - 425 nm
Violeta	425 - 390 nm

Una mezcla de todos estos colores encontrados en la luz del día produce luz blanca; otros colores producidos cambiando las proporciones u omitiendo componentes.

Una luz coloreada tiene tres atributos: su tono, dependiendo

de su longitud de onda; su saturación, dependiendo del grado en el que se aleja de la luz blanca, y su luminosidad.

El rojo, el verde y el azul son los tres colores primarios que, mezclados en la debida proporción nos proporcionarán el resto de los colores.

Cometas

Miembros secundarios del Sistema Solar que, según se cree, son montones de suciedad e hielo que son residuos de la formación del sistema solar. Se cree que hay millones de cometas en la Nube de Oort, una región esférica con un radio de treinta mil a cien mil unidades astronómicas con centro en el Sol. Los cometas que llegan de la Nube de Oort son calentados por el Sol y desarrollan colas brillantes que los hacen visibles en los cielos de la Tierra.

Condición inicial

1. En física, el estado de un sistema en el momento en que comienza una interacción, por ejemplo, el acercamiento de dos electrones que están por iniciar una interacción electromagnética.
2. En cosmonología, una cantidad que se inserta en ecuaciones cosmogónicas que describen el universo primitivo.

Condición límite

Restricción a los límites de aplicabilidad de una ecuación. Entre los ejemplos se cuentan la definición de "sistema cerrado" en

la termodinámica, y el escenario en el que se destruye la función de onda (Ψ) en la mecánica cuántica. Toda ecuación de la física puede reducirse en principio a dos fundamentos: las condiciones iniciales y las condiciones límites.

Confinamiento

Leyes que identifican una magnitud, como la energía, que permanece inmutable a lo largo de toda una transformación. Se piensa que todas las leyes de conservación involucran simetrías.

Esta ley nos dice que la magnitud total de una cierta propiedad física de un sistema, como la masa, energía o carga se mantiene invariante incluso cuando hay intercambio de esa propiedad entre los componentes del sistema.

Conservación, Leyes de

Leyes que identifican una magnitud, como la energía, que permanece inmutable a lo largo de toda una transformación. Se piensa que todas las leyes de conservación involucran simetría.

Esta ley nos dice que la magnitud total de una cierta propiedad física de un sistema, como la masa, energía o carga, se mantienen invariante incluso cuando hay intercambio de esa propiedad entro los componentes del sistema.

Constantes fundamentales

Aquellos parámetros que no cambian a lo largo del universo.

La carga de un electrón, la velocidad de la luz en el espacio vacío, la constante de Planck, la constante gravitacional, la constante eléctrica y la constante magnética, la constante de estructura fina. Se piensa que son todas ellas ejemplos de constantes de los que se pueden denominar fundamentales.

Las que tenemos clasificadas son:

CONSTANTE	Símbolo	Valor en Unidades del SI
Aceleración en caída libre	g	9'80665 ms ⁻²
Carga del electrón	e	1'60217733 (49)x10 ⁻¹⁹ C
Constante de Avogadro	L _i N _A	6'0221367 (36)x10 ²³ mol ⁻¹
Constante de Faraday	F	1'380658 (12)x10 ⁻²³ JK ⁻¹
Constante de gases	R	9'6485309 (29)x10 ⁴ Cmol ⁻¹
Constante de Loschmidt	N _L	8'314510 (70) JK ⁻¹ mol ⁻¹
Constante de Planck	h	6'6260755 (40)x10 ⁻³⁴ Js
Constante de Stefan-Boltzmann	σ	5'67051 (19)x10 ⁻⁸ Wm ⁻² k ⁻⁴
Constante eléctrica	e ₀	8'854187817x10 ⁻¹² Fm ⁻¹
Constante gravitacional	G	6'67259 (85)x10 ⁻⁴ m ³ Kg ⁻¹ s ⁻²
Constante magnética	μ ₀	4πx10 ⁻⁷ Hm ⁻¹
Masa en reposo del electrón	M _e	9'1093897 (54)x10 ⁻³¹ Kg
Masa en reposo del protón	M _p	1'6749286 (10)x10 ⁻²⁷ Kg
Masa en reposo del neutrón	M _n	1'6726231 (10)x10 ⁻²⁷ Kg
Velocidad de la luz	c	2'99792458x10 ⁸ ms ⁻¹

Contracción de Lorentz (y de Fitzgerald)

Disminución en la longitud observada de un objeto a lo largo del eje de su movimiento, percibida por un observador externo que no comparte su velocidad.

Fue propuesta independientemente por H. A. Lorente (1.853-

1.928) y G. E. Fitzgerald (1.851-1.900) en 1.892 para explicar el resultado negativo del experimento de Michelson-Morley. A la contracción se le dio un marco teórico en la teoría especial de la relatividad de Einstein. En esta teoría, un objeto de longitud l_0 en reposo en un sistema de referencia parecerá, para un observador en otro sistema de referencia que se mueve con velocidad relativa v con respecto al primero, tener longitud $l_0\sqrt{1 - v^2/c^2}$, donde c es la velocidad de la luz. La hipótesis original atribuía esta contracción a una contracción real que acompaña al movimiento absoluto del cuerpo. La contracción es en cualquier caso despreciable a no ser que v (velocidad) sea del orden de c (velocidad de la luz).

Corrimiento al rojo

Desplazamiento de las líneas espectrales en la luz proveniente de las estrellas de las galaxias distantes, que se considera producido por la velocidad de alejamiento de las galaxias en un universo en expansión (ley de Hubble).

Cósmica, densidad de la materia. (Densidad crítica)

Densidad de materia que se obtendría si toda la materia contenida en las galaxias fuera distribuida uniformemente a lo largo de todo el universo. Aunque las estrellas y los planetas tienen densidades mayores que la densidad del agua (alrededor 1 gr/cm³), la densidad media cosmológica es extremadamente baja (menos de 10⁻²⁹ gr/cm³, o 10⁻⁵ átomos/cm³), ya que el universo está formado casi exclusivamente por espacio virtualmente vacío entre galaxias. La densidad media de materia determina si el universo continuará expandiéndose o no.

La llamada densidad crítica es la densidad media de materia requerida para que la gravedad detenga la expansión del universo. Un universo con una densidad muy baja se expandirá por siempre, mientras que uno con una densidad muy alta colapsará finalmente. Un universo con exactamente la densidad crítica, alrededor de 10^{-29} gr/cm³, es descrito por el modelo Einstein-de Sitter, que se encuentra en la línea divisoria de estos dos extremos.

La densidad media de materia que puede ser observada directamente en nuestro universo representa sólo el 20% del valor crítico. Puede haber, sin embargo, una gran cantidad de materia oscura que elevaría la densidad hasta el valor crítico. Las teorías de universo inflacionario predicen que la densidad presente debería ser muy próxima a la densidad crítica; estas teorías requieren la existencia de materia oscura que, hoy por hoy, es el misterio más grande de la astrofísica.

Cósmicos, rayos

Partículas subatómicas, principalmente protones, que atraviesan velozmente el espacio y chocan con la Tierra. El hecho de que sean masivas sumado a sus altas velocidades, hace que contengan considerable energía: de 10^8 a más de 10^{22} eV (electrón-voltios).

El 90% de los rayos cósmicos son protones (núcleos de hidrógeno) y partículas alfa (núcleos de helio) la mayor parte del resto. Los núcleos más pesados son muy raros. También están presentes un pequeño número de electrones, positrones, antiprotones y neutrinos y rayos gamma.

Los rayos cósmicos fueron detectados por primera vez durante el vuelo de un globo en 1.912 por V. F. Hess, y el término fue acuñado en 1.925 por el físico norteamericano Robert Andrews Millikan (1.868-1.953).

Cosmología

- 1.Ciencia que se ocupa de estudiar la estructura y la composición del universo como un todo. Combina la astronomía, la astrofísica y la física de partículas y una variedad de enfoques matemáticos que incluyen la geometría y la topología.
- 2.Teoría cósmica particular.

Cosmología constante

Un término empleado a veces en cosmología pasa expresar una fuerza de "repulsión" o "repulsión cósmica", como la energía liberada por el falso vacío que los modelos del universo inflacionario consideran que potenció exponencialmente la expansión del universo. Que exista tal repulsión cósmica o que haya desempeñado alguna vez un papel en la historia cósmica es un problema aún no resuelto, como ocurre con la constante cosmológica de Einstein.

Coulomb, barrera

Zona electromagnética de resistencia que rodea a los protones (o a otras partículas eléctricamente cargadas) y que tiende a repeler a otros protones (o a otras partículas) de igual carga.

El fenómeno esta referido a la Ley de Coulomb, campo de Coulomb, difusión de Coulomb que rodea a un núcleo atómico que publicó por primera vez en 1.785 Charles de Coulomb. La ley es ahora escrita usualmente $F = Q_1 Q_2 / 4\pi \epsilon_0 d^2$.

Creacionismo

Creencia de que el universo fue creado por Dios en un pasado reciente, como implican las interpretaciones literales de la cronología bíblica, y que las especies de la Tierra, todos los seres vivos, no surgieron de la evolución darwiniana, sino que todas fueron creadas al mismo tiempo.

Hoy día tal afirmación no puede ser tomada en serio. La ciencia demuestra su inconsistencia y hasta los mismos teólogos de la Iglesia dicen que tales referencias son metáforas para el mejor entendimiento de la gente sencilla. Una excusa muy pobre justificar lo imposible.

Cromodinámica cuántica

La teoría cuántica de la fuerza nuclear fuerte, que considera transmitida por cuantos llamados gluones. El nombre deriva de la designación de un número cuántico llamado color para designar el funcionamiento de los quarks en respuesta a la fuerza fuerte.

Es una teoría gauge que describe las interacciones fuertes en términos de quarks y antiquarks y del intercambio de gluones no masivos entre ellos. La cromodinámica cuántica es similar a la electrodinámica cuántica (QED), siendo el color análogo de la carga eléctrica y el gluón análogo al fotón.

El grupo gauge de QCD es no abeliano y la teoría es mucho más complicada que la electrodinámica cuántica; la simetría gauge en QCD no es una simetría rota.

QCD tiene la importante propiedad de la libertad asintótica: la propiedad de que a muy altas energías (y, por tanto, cortas distancias) las interacciones entre quarks tienden a cero a medida que

las distancias entre ellos tienden a cero. Debido a la libertad asintótica, la teoría de perturbaciones puede ser usada para calcular los aspectos de alta energía de las interacciones fuertes, como las descritas por el modelo de partones.

Teoría de gran avance de la mecánica cuántica.

Cuanto

Cantidad mínima en que ciertas propiedades de un sistema, como la energía o el momento angular, pueden cambiar. Dichas propiedades no pueden, por tanto, variar continuamente, sino en múltiples enteros del cuanto relevante.

Este concepto constituye la base de la teoría cuántica y se debe a Max Planck. En ondas y campos, el cuanto puede ser considerado como una excitación, dando lugar a una interpretación en términos de partículas de la onda o el campo.

Por tanto, el cuanto del campo electromagnético es el fotón y el gravitón es el cuanto del campo gravitacional. De manera resumida y sencilla podríamos decir que un cuanto es la unidad básica de energía.

Cuerdas, teoría de

Teoría según la cual las partículas subatómicas dejan de ser puntuales y tienen extensión a lo largo de un eje, y sus propiedades están determinadas por el ordenamiento y la vibración de las cuerdas que se presentan en forma de línea o lazo (una cuerda cerrada). Los estados de una partícula pueden ser producidos por ondas estacionarias a lo largo de esta cuerda. La combinación de la

teoría de cuerdas, la súpersimetría y la súper gravedad, y la cuerda heterótica, ha dado lugar a la teoría de supercuerdas y, a su vez, todas ellas han desembocado en la teoría M de Edgard Witten que las engloba a todas como partes de un todo.

Esta teoría desarrollada e inspirada a partir de la teoría de cinco dimensiones (Teoría de Kaluza-Klein), es la esperanza de la física para que de una vez por todas se pueda exponer una teoría del Todo que incluya tanto a la mecánica cuántica como a la gravedad, hasta ahora imposible.

La teoría de supercuerdas sólo se puede explicar en 10 y 26 dimensiones, donde encuentra los espacios suficientes para incluir todos los elementos que teorías anteriores han rechazado y, parece que, será posible finalizar una teoría cuántica de la gravedad, el sueño perseguido por los mejores físicos, entre ellos Einstein.

Cuerpo negro, curva del

Cuerpo hipotético que absorbe toda la radiación que incide sobre él. Tiene por tanto, una absorbancia y una emisividad de 1.

Mientras que un auténtico cuerpo negro es un concepto imaginario, un pequeño agujero en la pared de un recinto a temperatura uniforme es la mejor aproximación que se puede tener de él en la práctica.

La radiación de cuerpo negro es la radiación electromagnética emitida por un cuerpo negro. Se extiende sobre todo el rango de longitudes de onda y la distribución de energía sobre este rango tiene una forma característica con un máximo de una cierta longitud de onda, desplazándose a longitudes de onda más cortas al aumentar la temperatura (ver Ley de Stefan y Desplazamiento de Wien, ley de).

Cúmulo de estrellas

Conjunto de estrellas unidas por la gravedad, más pequeños y menos masivos que las galaxias. Los cúmulos "globulares" son más abundantes; son viejos y pueden contener cientos de miles de millones de estrellas; se les encuentra dentro y lejos del Disco Galáctico.

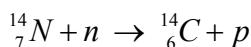
Se extienden sobre un radio de unos pocos megapársecs (también existen pequeños grupos de galaxias, como nuestro Grupo Local de sólo unas 30 galaxias.)

Darwinismo o darvinismo

Teoría de que las especies surgen mediante la selección natural de mutaciones al azar que mejor se adapta a las condiciones cambiantes en una Tierra en general uniformista.

Datación por carbono. (Datación por radio carbono)

Método para estimar los hallazgos arqueológicos de origen biológico. Como resultado de la radiación cósmica, una pequeña parte de los núcleos de nitrógeno atmosférico están siendo continuamente transformados por bombardeo de neutrones en núcleos radiactivos de carbono-14.



Algunos de estos átomos de radiocarbono se introducen en árboles vivos y otras plantas en forma de dióxido de carbono, como resultado de la fotosíntesis. Cuando el árbol es cortado, la fotosíntesis se detiene y la relación entre átomos de radiocarbono y

carbono estable comienza a disminuir al desintegrarse el radiocarbono. La razón $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ del espécimen puede ser medida, permitiendo calcular el tiempo que ha transcurrido desde que el árbol fue cortado.

Se ha demostrado que el método da resultados consistentes para especímenes de hasta 40.000 años de antigüedad, aunque su precisión depende de algunas hipótesis sobre la intensidad de la radiación cósmica en el pasado. Esta técnica fue desarrollada por Willard F. Libby (1.908-1.980).

También se puede datar por marcas de fisión (edad del vidrio y minerales), datación por potasio-argón (para ciertas rocas), datación por rubidio-estroncio (para especímenes geológicos), datación por termo luminiscencia, datación por uranio-plomo (datación de ciertas rocas que se fundamenta en la desintegración del radioisótopo de uranio-238 a plomo-206 -vida media $4'5 \times 10^9$ años-), datación química (fosfatos de huesos enterrados que son sustituidos lentamente por iones de flúor del agua subterránea. La medida del flúor nos dará una edad para los huesos enterrados).

Otros métodos más precisos se basan en que los aminoácidos en los organismos vivos son isómeros óptimamente levógiros.

DCT

Forma abreviada empleada en "Breve historia del Universo" que se expone al principio de este trabajo, para expresar o significar "Después del comienzo del tiempo", en referencia al instante posterior al Big Bang cuándo empezó a expandirse el universo, creando el espacio y también el tiempo.

Deceleración, parámetro de

Magnitud que indica el ritmo al que está disminuyendo la expansión del universo, debido al efecto de freno de la atracción gravitacional de las galaxias, las unas sobre las otras.

Es una función de la densidad de la materia cósmica y en función del grado de esta densidad crítica, el universo continuará expandiéndose para siempre o por el contrario, se producirá el Big Crunch, mediante el cual, todas las galaxias se pararán por la fuerza de gravedad y comenzarán el recorrido contrario, hasta que de nuevo, se junte toda la materia del universo en una enorme bola de fuego, contrayéndose hasta alcanzar una densidad y energía infinitas, una singularidad, y, de nuevo, otro Big Bang y el ciclo comienza de nuevo.

Degeneración

Estado de la materia producido cuando las partículas atómicas tienen el mayor empaquetamiento físicamente posible, con densidades de varios miles de toneladas por centímetro cúbico. Las partículas que están muy juntas no pueden tener la misma energía, debido al principio de exclusión de Pauli y, como resultado, las partículas se repelen entre sí. Esto provoca una presión de degeneración que, al contrario que la presión térmica, depende sólo de la densidad y no de la temperatura.

Es la principal responsable de la resistencia al colapso gravitacional de las enanas blancas (degeneración de electrones) y de las estrellas de neutrones (degeneración de neutrones).

También existe materia degenerada en el núcleo de las estrellas poco masivas que han agotado su hidrógeno, en las enanas marrones y en las regiones centrales de los planetas gigantes.

Densidad crítica. (densidad de materia)

Densidad media de materia requerida para que la gravedad detenga la expansión del universo (deceleración). Un universo con una densidad muy baja se expandirá para siempre, mientras que uno con una densidad muy alta colapsará finalmente. Un universo con exactamente la densidad crítica, alrededor de 10^{-29} g/cm³, es descrito por el modelo Einstein-de Sitter, que está en el término medio de los dos anteriores, o sea, el universo abierto, el universo cerrado y el universo plano.

No se conoce de manera exacta la densidad crítica del universo, la misteriosa materia oscura, lo impide. La materia que forma todas las galaxias del universo con la diversidad de objetos que contienen, están formadas por materia bariónica: quarks, protones, neutrones y electrones, ésto es, hadrones y leptones que sólo suponen una pequeña parte de la materia necesaria para que las galaxias se muevan a las velocidades observadas, por lo que, se deduce la existencia de otra clase de materia (la materia oscura) que hay que buscar.

Desacoplamiento

Etapa temprana en la historia del universo cuando, de acuerdo con la teoría del Big Bang, las partículas de materia cesaron de interaccionar con la radiación. El desacople tuvo lugar en diferentes instantes, y por tanto, a distintas temperaturas, para cada tipo de partícula.

Los neutrinos, por ejemplo, se desacoplaron de la radiación de fondo a una temperatura de unos 10^{10} K (aproximadamente 1 s después del Big Bang), mientras que la materia ordinaria se desacopló a una temperatura de unos pocos miles de grados K (trans-

curridos unos 200 ó 300.000 años).

Después de que la materia y la radiación se desacoplaran, el fondo de radiación se propagó libremente por el universo en expansión.

Desintegración beta

Desintegración radiactiva en la que un núcleo atómico se desintegra espontáneamente en un núcleo hijo, liberando dos partículas subatómicas. O bien un neutrón se transforma en un protón, liberando un electrón y un antineutrino, o bien un protón se transforma en un neutrón, liberando un positrón y un neutrino. El núcleo resultante tiene el mismo número másico que el núcleo original (es decir, el mismo número total de protones y neutrones), pero el número atómico difiere en una unidad. Los electrones o positrones emitidos se conocen como partículas beta.

Deuterio

Isótopo del hidrógeno, cuyo núcleo está compuesto por un protón y un neutrón. Se piensa que el deuterio se produjo en el Big Bang como un subproducto de las reacciones nucleares que producen helio. Ésto constituye una prueba potencialmente importante del modelo del Big Bang, ya que el deuterio no puede producirse con facilidad en las estrellas, y cualquier cantidad significativa de deuterio observada en la actualidad tendría presumiblemente origen primordial.

Dilatación del tiempo

Ralentización del tiempo que ocurre a velocidades próximas a la de la luz, predicha por la teoría especial de la relatividad de Einstein.

Un reloj que se mueve en relación a un observador parecerá retrasarse en el factor $\sqrt{1-(v^2/c^2)}$, donde v es la velocidad relativa y c la de la luz.

A velocidades ordinarias, como las que ocurren en la Tierra, el efecto no es apreciable, pero el retraso aumenta rápidamente a medida que v se aproxima a c .

No sólo los relojes se atrasan, sino que todos los procesos se ralentizan, de manera que un astronauta parecerá haber envejecido menos tras un viaje a altas velocidades que una persona que permaneció en la Tierra. El tiempo transcurre más despacio para el astronauta que, a esas velocidades relativistas, vive mucho más lentamente. Él no lo percibe, sin embargo, un observador que lo pudiera estar mirando, lo vería moverse como a cámara lenta en el cine.

Dirac, cosmología de

Teoría cosmológica construida bajo la hipótesis de los grandes números que relaciona las constantes fundamentales de la física subatómica con las propiedades a gran escala del universo, como su edad y densidad media. Es debida al físico-matemático inglés Paul Adrien Maurice Dirac (1.902-1.984).

La teoría de Dirac no está muy aceptada, aunque introdujo algunas ideas relacionadas con el principio antrópico.

Dirac, ecuación de

Descripción matemática del electrón, efectuada por Paul Dirac, basada en la mecánica cuántica y la relatividad especial donde predijo también, la existencia del positrón.

EDC

Electrodinámica cuántica. Teoría cuántica de la fuerza electromagnética, que se considera transportada por cuantos llamados fotones.

Einstein, Albert

(1.879-1.955) Físico teórico alemán nacionalizado suizo y norteamericano. Sus teorías de la relatividad ayudaron a perfilar la ciencia del siglo XX y tuvieron profundas implicaciones en la astronomía.

La teoría especial de la relatividad (publicada en 1.904) surgió de los fracasos de detectar el éter por el experimento de Michelson-Morley, y se basó en los trabajos del físico holandés Hendrik Antón Lorente (1.853-1.928) y del físico irlandés George Francis Fitzgerald (1.851-1.901), además de la teoría de Maxwell sobre la luz.

Establece la relación $E=mc^2$ entre masa y energía, que fue la clave para comprender la generación de energía en las estrellas.

La teoría general de la relatividad, vislumbrada en 1.907, anunciada en 1.915, y, publicada en 1.916, que incluye la gravedad, es de gran importancia en los sistemas de muy grandes escala-

las y tuvo un enorme y rápido impacto en la cosmología que, a partir de esta teoría, se convirtió en una verdadera ciencia.

La astronomía ha aportado evidencias observacionales para apoyar estas teorías. Desde entonces Einstein no produjo ningún trabajo más de relevancia y se dedicó a la búsqueda infructuosa de una teoría del Todo que unificara en una sola ecuación a todas las fuerzas del universo, la materia y el tiempo. La tarea le llevó los últimos 30 años de su vida y no lo consiguió por la sencilla razón de que, en aquel tiempo, las matemáticas necesarias no se habían inventado (funciones modulares y la topología de la nueva teoría de supercuerdas que, en realidad, ha seguido sus pasos).

No se puede cerrar este apunte sin mencionar el trabajo de enorme importancia que Einstein realizó en relación al movimiento browniano del movimiento continuo y aleatorio de partículas sólidas microscópicas suspendidas en un fluido, en su caso en un gas.

Tampoco se puede olvidar aquí el trabajo que le valió el Nobel sobre el efecto fotoeléctrico. El conocido como coeficiente de Einstein, teoría cuántica de la radiación: $A = 8\pi h\nu^3 B/c^3$, el desplazamiento de Einstein; la ecuación de Einstein, el universo de Einstein-de Sitter, condensación Bose-Einstein, estadística Bose-Einstein, etc, etc.

Electrodébil, teoría

Teoría que demuestra la existencia de una relación entre la fuerza electromagnética y la fuerza nuclear débil. Indica que las altas energías que caracterizaron al universo primitivo, el electromagnetismo y la fuerza débil actuaban como una sola fuerza electrodébil. También conocida como teoría de Weinberg-Salam que, de manera independiente la postularon.

Electrodinámica

Estudio de la conducta de la fuerza electromagnética en movimiento.

Electrodinámica cuántica

Teoría cuántica de la fuerza electromagnética, que se considera transportada por cuantos llamados fotones (EDC).

Electromagnética, fuerza

Una de las cuatro fuerzas fundamentales del universo que, siendo diferentes, tienen en común que pueden ocurrir entre los cuerpos, incluso cuándo éstos no estén en contacto físico.

Aunque una unificación de los cuatro tipos de fuerzas o interacciones en un modelo o teoría ha sido muy deseado por los físicos, ésto todavía no se ha logrado, aunque se han hecho progresos en la unificación de las fuerzas electromagnéticas y débiles.

La interacción electromagnética es la responsable de las fuerzas que controlan la estructura atómica, reacciones químicas y todos los fenómenos electromagnéticos. Puede explicar las fuerzas entre partículas cargadas, pero al contrario de las interacciones gravitacionales, son tanto atractivas como repulsivas. Las cargas iguales se rechazan y los desiguales se atraen (positivo+negativo se atraen; positivo+positivo y negativo+negativo, se rechazan).

Algunas partículas neutras se desintegran por interacciones electromagnéticas. La interacción se puede interpretar tanto como un campo clásico de fuerza (Coulomb, ley) como por el intercam-

bio de unos fotones virtuales. Igual que las interacciones gravitatorias, el hecho de que las interacciones electromagnéticas sean de largo alcance significa que tienen una teoría clásica bien definida dada por las ecuaciones de Maxwell. La teoría cuántica de las interacciones electromagnéticas se describe con la electrodinámica cuántica, que es una forma sencilla de teoría gauge.

Esta interacción es unas 10^{40} veces más potente que la gravitacional, unas 10^{10} veces mayor que la interacción débil y, unas 10^2 veces menor que la interacción nuclear fuerte, la más potente de todas.

Nos alumbría y calienta la casa, hace andar al ordenador y al móvil, las máquinas y un sin fin de artilugios. Nuestro cerebro también.

Electrón

Partícula elemental, clasificada como leptón, con una masa en reposo (símbolo m_e) de $9'1093897 (54) \times 10^{-31}$ Kg y una carga negativa de $1'60217733 (49) \times 10^{-19}$ Coulombios.

Los electrones están presentes en todos los átomos en agrupamientos llamados capas alrededor del núcleo; cuando son arrancados del átomo se llaman electrones libres. La antipartícula del electrón es el positrón.

El electrón fue descubierto en 1.897 por el físico británico Joseph John Thomson (1.856-1.940). El problema de la estructura (si la hay) del electrón no está resuelto. Si el electrón se considera como una carga puntual, su autoenergía es infinita y surgen dificultades de la ecuación de Lorentz-Dirac.

Es posible dar al electrón un tamaño no nulo con radio r_0 ,

llamado el radio clásico del electrón, dado por $r_0 = e^2/(mc^2) = 2'82 \times 10^{-13}$ cm, donde e y m son la carga y la masa respectivamente, del electrón y c es la velocidad de la luz.

Este modelo también tiene problemas, como la necesidad de postular las tensiones de Poincaré. Ahora se cree que los problemas asociados con el electrón deben ser analizados utilizando electrodinámica cuántica en vez de electrodinámica clásica.

El electrón es tan importante en nuestro universo y para nosotros mismos que, si su carga o su masa fueran diferentes, seguramente sería imposible la existencia de la vida tal como la conocemos hoy.

Electrón-voltio

Medida de energía cuya notación es eV, igual a $1'6 \times 10^{-12}$ ergios, o $1'602 \times 10^{-19}$ julios.

Esta unidad de energía es igual al trabajo realizado sobre un electrón en su movimiento a través de una diferencia de potencial de 1 voltio.

Electronuclear, fuerza

Única fuerza fundamental que se piensa que actuó en el universo muy primitivo y que reunía los atributos posteriormente divididos entre la fuerza electromagnética y las fuerzas nucleares débil y fuerte.

Emisión, líneas de

Líneas brillantes producidas en un espectro por una fuente luminosa, como una estrella o una nebulosa brillante que marcan una longitud de onda particular de radiación producida por átomos calientes o excitados. Las líneas de emisión pueden aparecer superpuestas a un espectro de absorción normal, causado por el gas caliente que rodea a una estrella, o pueden aparecer solas, como en el espectro de una nebulosa excitada por la radiación de una estrella cercana. Las líneas permiten determinar la composición del gas emisor.

Emisividad

De símbolo ϵ . Medida de la capacidad de un objeto para emitir radiación electromagnética comparándola con la de un cuerpo negro a igual temperatura. El cuerpo negro es un emisor perfecto, tiene emisividad 1, mientras que un reflector perfecto la tiene 0.

Enana blanca

Pequeña y densa estrella que es el resultado de la evolución de todas las estrellas excepto de las más masivas. Se piensa que las enanas blancas se forman en el colapso de los núcleos estelares una vez que la combustión nuclear ha cesado, quedando expuestos cuando las partes exteriores de la estrella son expulsados en forma de nebulosas planetarias, polvo estelar que servirá para constituir estrellas de II ó III generación.

El núcleo de la estrella se contrae bajo su propia gravedad hasta que, habiendo alcanzado un tamaño similar al de la Tierra, se ha vuelto tan densa ($5 \times 10^8 \text{ Kg/m}^3$) que evita su propio colapso por

la presión de degeneración de los electrones.

Las enanas blancas se forman con altas temperaturas superficiales (por encima de 10.000 K) debido al calor atrapado en ellas, y liberado por combustiones nucleares previas y por contracción gravitacional.

Gradualmente se enfrián, volviéndose más débiles y rojas. Las enanas blancas pueden constituir el 30% de las estrellas de la vecindad del Sol, aunque debido a sus bajas luminosidades (típicamente 10^{-3} a 10^{-4} veces la del Sol) pasan inadvertidas.

La masa máxima posible de una enana blanca es de 1'44 masas solares, el límite de Chandrasekhar. Un objeto de masa mayor se contraería aún más y se convertiría en una estrella de neutrones o en un agujero negro.

Enana marrón

Objeto que, debido a pequeña masa (menos de 0'08 masas solares), nunca se hace suficientemente caliente como para comenzar la fusión del hidrógeno en su núcleo; en consecuencia, no se considera una estrella, sino un objeto subestelar. Tienen luminosidad muy baja y son difíciles de detectar. Se ha pensado incluso que podrían ser componentes de la materia oscura galáctica. La primera enana marrón clasificada al ser identificada con certeza fue una compañera de la cercana enana roja Gliese 229, fotografiada por el telescopio espacial Hubble en 1.995. Un objeto por debajo de las 0'01 masas solares (alrededor de 10 veces la masa de Júpiter) se considera que es un planeta.

Enana roja

Fría y débil estrella poco masiva que se encuentra en el extremo inferior de la secuencia principal. Las enanas rojas tienen masas y diámetros menores que la mitad del Sol. Son rojas por sus bajas temperaturas superficiales, menores que 4.000 K, y son de tipo espectral K ó M.

Las enanas rojas son el tipo más común de estrellas y también la de vida más larga, con vidas medias potenciales mayores que la edad actual del universo (13.500.000.000 de años). Debido a su baja luminosidad, no mayor que un 10% de la del Sol, son poco llamativas. La estrella de Barnard y Próxima Centauri son ejemplos cercanos. Muchas enanas rojas son estrellas fulgurantes, una forma de variable eruptiva que sufre fulguraciones bruscas e impredecibles con un tiempo de aumento de segundos y un tiempo de atenuación de minutos.

Encanto

Uno de los miembros de la familia de los quarks, descubiertos en 1.974.

Energía

Medida de la capacidad de un sistema para trabajar. Igual que el trabajo, es medida en julios. La energía es clasificada por conveniencia en dos formas:

1. La energía potencial es la energía almacenada en un cuerpo o sistema como consecuencia de su posición, forma o estado (ésta incluye la energía gravitacional, la energía eléctrica, energía nu-

clear o energía química); la energía cinética es la energía del movimiento y es usualmente definida como el trabajo que será realizado sobre un cuerpo que posee esa energía cuando es llevado al reposo.

Para un cuerpo de masa m con una velocidad v , la energía cinética es $mv^2/2$ (clásica) ó $(m-m_0)c^2$ (relativista). La energía cinética de rotación de un cuerpo con una velocidad angular ω es $I\omega^2/2$, donde I es el momento de inercia.

La energía interna de un cuerpo es la suma de la energía potencial y la energía cinética de sus átomos y moléculas componentes.

Las variantes implicadas son muchas y se puede hablar de:

2. Energía de la red, energía de las mareas, energía de las olas, energía de ligadura, de punto cero, en reposo, eólica, geotérmica, hidroeléctrica, interna, libre ($G=H-TS$), nuclear, potencial, radiante, solar, etc, etc.

Entropía

De símbolo S. Medida de la no disponibilidad de energía de un sistema para producir trabajo; en un sistema cerrado, un aumento en la entropía está acompañado por un descenso en la energía disponible.

Cuando un sistema desarrolla un cambio reversible, la entropía (S) cambia en una cantidad igual a la energía transferida al sistema en forma de calor (Q) dividida por la temperatura termodinámica a la cual tiene lugar el proceso (T), es decir, $\Delta S = Q/T$. Sin embargo, todos los procesos reales son en un cierto grado cambios irreversibles y en cualquier sistema cerrado un cambio irreversible

siempre está acompañado por un aumento de la entropía.

En un sentido más amplio y menos técnico, la entropía puede ser interpretada como una medida del desorden, mayor es el desorden cuanto mayor sea la entropía.

Como cualquier cambio real en un sistema cerrado tiende a una mayor entropía, y por tanto a un mayor desorden, se deduce que si la entropía del universo está aumentando, la energía disponible está decreciendo (muerte térmica del universo), siempre que se considere al universo como un sistema cerrado. Este aumento en la entropía del universo es una manera de formular el segundo principio de la termodinámica. R. Clausius (1.822-1.888) estableció la ley de la termodinámica de dos formas, una de ellas era que "*la entropía de un sistema cerrado aumenta con el tiempo*".

Un ejemplo que entenderemos todos: cada persona es un sistema cerrado. Con el paso del tiempo aumenta la entropía, crece el desorden y pierde energía. El proceso marcha en una sola dirección y es irreversible.

Escape, velocidad de

Es la velocidad necesaria para que un cuerpo pueda escapar de otro al que deja atrás sin ser frenado por su fuerza gravitatoria. La velocidad de escape de la Tierra (que debe ser alcanzada, por ejemplo, por una nave espacial para viajar a otro planeta) es de 40.000 Km/h, ó 11'18 Km/s. La velocidad de escape del Sol es de 617'3 Km/s, Júpiter de 59'6 Km/s y un agujero negro tiene una velocidad de escape imposible de alcanzar y superior a 299.792'458 Km/s, es mayor que la velocidad de la luz.

Espacio

Tradicionalmente, el escenario tridimensional en el cual ocurren los sucesos, explicables mediante la geometría euclíadiana. En relatividad, el espacio se describe también en términos de geometrías no euclidianas, ya que Einstein utilizó la geometría de Riemann que describe los espacios curvos y distorsionados, una geometría nueva y tetradiimensional que, a las tres coordenadas de espacio, añadió una cuarta dimensión de tiempo. A partir de la teoría general de la relatividad, Minkowski nos dijo que ni el espacio ni el tiempo podían estar separados; era un todo, el espacio-tiempo.

En física cuántica, el espacio puede ser elaborado conceptualmente a partir de diversas abstracciones, tales como el "espacio de carga", o el "espacio de color" en el que los quarks pueden ser diagramados por conveniencia.

Espacio cuántico

Vacio que tiene el potencial de producir partículas virtuales surgidas espontáneamente de la "nada" y que desaparecen con la misma rapidez que surgieron.

En realidad, lo que llamamos espacio vacío, está repleto de cientos de miles de millones de infinitesimales objetos.

Espectro

Registro de la distribución de materia o energía (por ejemplo luz) por longitud de ondas. Se estudia el espectro para conocer la diversidad de la composición química y el movimiento de estrellas

y galaxias.

Es el rango de energías electromagnéticas dispuestas en orden de longitud de onda o frecuencia a lo largo de todo el universo.

También lo llamamos así al referirnos a una banda coloreada producida cuando la luz visible atraviesa un espectroscopio.

Podríamos hablar aquí de espectro continuo, de absorción, de comparación, de emisión, de líneas, de potencia, de reflexión, de hidrógeno, el electromagnético, espectro relámpago, etc, etc. Sin embargo, el objetivo perseguido queda cubierto con la sencilla explicación del principio.

Espín

De símbolo s . Una molécula, átomo o núcleo en un nivel de energía determinado, o una partícula elemental, posee un espín particular, igual que tiene una carga o una masa particular.

De acuerdo con la teoría cuántica, está cuantizada y se restringe a múltiplos de $h/2\pi$, donde h es la constante de Planck.

El espín se caracteriza por un número cuántico S . Por ejemplo, para un electrón, $S = \pm \frac{1}{2}$, queriendo decir que tiene un espín de $+h/2\pi$ cuando está "girando" en una dirección y $-h/2\pi$ cuando está "girando" en la otra.

Debido a su espín, las partículas tienen sus propios momentos magnéticos intrínsecos, y en un campo magnético los espines de las partículas se alinean con la dirección del campo formando un determinado ángulo, procesando alrededor de esta dirección (resonancia magnética nuclear).

Cuando decimos espín nos estamos refiriendo al momento angular intrínseco, es parte del momento angular total de una partícula, átomo, núcleo, etc, distinto de su momento angular orbital.

Sin embargo, si oímos la palabra espín isotópico o isospín, nos estaremos refiriendo al número cuántico aplicado a los hadrones para distinguir entre miembros de un conjunto de partículas que difieren en sus propiedades electromagnéticas, pero que de otra forma son idénticos. Por ejemplo, si se ignora las interacciones electromagnéticas y débiles, el protón no puede distinguirse del neutrón en sus interacciones fuertes; es espín isotópico fue introducido para distinguirlos entre ellos. El uso de la palabra espín es solo por analogía con el momento angular, con el que el espín isotópico tiene sólo una semejanza formal.

Estado estable

Teoría de que el universo en expansión nunca estuvo en un estado de densidad apreciable mayor (es decir, que no hubo ningún Big Bang), y que la materia se crea constantemente del espacio vacío para mantener la densidad cósmica de la materia.

Este modelo de universo es poco creíble ya que contradice todos los datos comprobados en relación al Big Bang, va en contra de la entropía y del segundo principio de la termodinámica, etc.

Estándar, modelo

Combinación de la cromodinámica cuántica, para describir interacciones fuertes; la teoría electrodébil, para una descripción unificada de la interacción electromagnética y las interacciones débiles; y la teoría general de la relatividad, para describir las interac-

ciones gravitacionales clásicas.

Aunque el Modelo Estándar, en principio, da una descripción completa de todos los fenómenos conocidos, es considerada por muchos físicos como una teoría incompleta pues tiene, al menos, 19 parámetros o características arbitrarias.

El Modelo Estándar por tanto, aunque es una poderosa herramienta, en algunas preguntas que le formulamos no puede evitar en sus respuestas, los infinitos no renormalizables.

El Modelo Estándar explica las partículas que componen la materia: quarks, hadrones, leptones, mesones y las partículas mediadoras, los bosones intermediarios: fotón para el electromagnetismo, las partículas vectoriales W^+ , W^- y Z^0 para la fuerza nuclear débil y el gravitón para la fuerza de gravedad.

Al no poder unificar las otras tres fuerzas con la gravedad, el modelo es incompleto y se necesita una teoría mejor; ¿la de cuerdas?

Estocástico, enfriamiento

Técnica de reunir en un haz una cierta cantidad de partículas subatómicas en un acelerador controlando sus vectores de dispersión y modificando el entorno magnético en el anillo de almacenamiento del acelerador para mantenerlas muy juntas, colocando imanes en los puntos estratégicos.

Fue usada por vez primera en el Fermilab, Laboratorio del Acelerador Nacional Fermi, situado en Batavia, Illinois, para almacenar partículas de antimateria, cuya formación es costosa y no deben derrocharse.

Estrella

Bola de gas luminosa que desde su formación a partir de nubes de gas y polvo comienza a fusionar, en su núcleo, el hidrógeno en helio. El término, por tanto, no sólo incluye estrellas como el Sol que están en la actualidad quemando hidrógeno, sino también protoestrellas, aún no lo suficientemente calientes como para que dicha combustión haya comenzado, y varios tipos de objetos evolucionados como estrellas gigantes y supergigantes, que están quemando otros combustibles nucleares para explotar en supernovas y convertirse, finalmente, en estrellas de neutrones o agujeros negros. Estas estrellas supermasivas son generalmente de vida más corta, ya que necesitan quemar más combustible nuclear que las estrellas medianas como nuestro Sol que, por este motivo viven mucho más y su final es convertirse en gigantes rojas para explotar como novas y convertirse en enanas blancas, formadas por combustible nuclear gastado.

La masa máxima de una estrella es de 120 masas solares, por encima de la cual sería destruida por su propia radiación. La masa mínima es de 0'08 masas solares; por debajo de ella, los objetos no serían lo suficientemente calientes en sus núcleos como para que comience la combustión del hidrógeno o proceso de fusión nuclear necesario para que una estrella comience a brillar y emitir radiaciones termonucleares en forma de luz y calor; estos pequeños objetos son las estrellas marrones.

Las luminosidades de las estrellas varían desde alrededor de medio millón de veces la luminosidad del Sol para las más calientes y menos para las enanas más débiles que, generalmente, son hasta menos de una milésima de la del Sol.

Aunque las estrellas más prominentes visibles a simple vista son más luminosas que el Sol, la mayoría de las estrellas son en realidad más débiles que éste y, por tanto, imperceptibles a simple

vista.

Las estrellas brillan como resultado de la conversión de masa en energía por medio de las reacciones nucleares, siendo las más importantes las que involucran el hidrógeno. Por cada kilogramo de hidrógeno quemado de esta manera, se convierten en energía aproximadamente siete gramos de masa. De acuerdo a la famosa fórmula de Einstein, la ecuación $E=mc^2$, los siete gramos equivalen a una energía de $6'3 \times 10^{14}$ Julios.

Las reacciones nucleares no sólo aportan el calor y la luz de las estrellas, sino que también producen elementos más pesados que el hidrógeno y el helio (el material primario del universo). Estos elementos pesados han sido distribuidos por todo el universo mediante explosiones de supernovas o por medio de nebulosas planetarias y vientos (solares) estelares, haciendo posible así que planetas como la Tierra, tengan un contenido muy rico en los diversos elementos que la conforman y que, según la tabla periódica de elementos, alcanzan el número de 92, desde el número 1, el hidrógeno, hasta el 92, el uranio.

Estos 92 elementos son los elementos naturales. Existen más elementos que son artificiales (los transuránicos) que, como el plutonio o el mismo einstenio, son derivados de los naturales.

Las estrellas pueden clasificarse de muchos maneras:

- mediante la etapa evolutiva
- presecuencia principal
- secuencia principal
- supergigante
- una enana blanca
- estrella de neutrones o agujeros negros
- de baja velocidad, estrella capullo, estrella con envoltura, estrella binaria, con exceso de ultravioleta, de alta velocidad, de baja masa, de baja luminosidad, estrella de bario, de bariones,

de campo, de carbono, de circonio, de estroncio, de helio, de población I extrema, de población intermedia, estrella de la rama gigante asintótica, de litio, de manganeso, de metales pesados, de quarks, de silicio, de tecnecio, etc, etc, etc.

Otra clasificación es a partir de sus espectros que indica su temperatura superficial (clasificación de Morgan-Keenan). Otra clasificación es en poblaciones I, II y III, que engloban estrellas con abundancias progresivamente menores de elementos pesados, indicando paulatinamente una mayor edad (evolución estelar).

Aunque las estrellas son los objetos más importantes del universo (sin ellas no estaríamos aquí), creo que, con la explicación aquí resumida puede ser suficiente para que el lector obtenga una idea amplia y fidedigna de lo que es una estrella.

Evolución

Proceso gradual por el que la actual diversidad de vida animal y vegetal se ha desarrollado a partir de organismos más primitivos, de los que se piensa que hicieron su aparición hace unos 3.000 millones de años.

Hasta mediados del siglo XVIII era general la creencia de que las especies habían sido creadas por Dios tal y como las conocemos. Lamarck fue el primero en publicar una teoría que explicaba cómo unas especies podían haber evolucionado en otras (Lamarquismo), pero hasta que se publicó en 1.859 *El origen de las especies* de Darwin, no se modificó seriamente la idea original de la creación especial y divina.

Al contrario que Lamarck, Darwin propuso un mecanismo factible para la evolución y se apoyó en la evidencia de los estudios sobre fósiles y en estudios de embriología y anatomía compa-

rada.

La versión más moderna del darwinismo incorpora los descubrimientos genéticos y desde el momento de su aparición probablemente sea la teoría más aceptable de la evolución de las especies. Sin embargo es más controvertida y está aún por aclarar la relación y la evolución entre los grupos a un nivel mayor que el de especie.

Particularmente creo que las especies, todas las que han existido, tenían un determinado tiempo de duración antes de mutar y extinguirse como tal especie, dejando en su lugar otra especie más avanzada y con mejores condiciones físicas para la adaptación en la evolución del planeta en el que, no lo olvidemos, la entropía va realizando su trabajo con el paso del tiempo.

Cambios graduales que tienen lugar a nivel molecular en los organismos y durante un determinado periodo de tiempo es debido a una evolución bioquímica que produce modificaciones o mutaciones que provocan la aparición de nuevos genes y nuevas proteínas que estas codifican haciendo posible la transformación de unos seres en otros que estarán mejor acondicionado físicamente para continuar conforme exige la evolución misma del planeta que nos acoge.

Ruego que me perdone el lector, ya que cuando comienzo una explicación, mi intención primera es de ser breve, sin embargo, sin que me de cuenta y queriendo hacer un mejor trabajo, a veces me paso un poco.

En astronomía, la evolución es una teoría según la cual los átomos más complejos y diversificados se formaron desde los más simples, mediante la síntesis de núcleos atómicos pesados en el corazón de las estrellas.

Termino esta explicación recordando que los dinosaurios po-

blaron y reinaron en la Tierra durante 150 millones de años y desaparecieron hace ya unos 65 millones de años.

Nosotros, los humanos, la especie más peligrosa que ha poblado la Tierra, somos unos recién llegados; nos queda mucha evolución.

Exclusión, principio de

Principio de la mecánica cuántica, aplicable a fermiones pero no a bosones, en virtud del cual dos partículas idénticas en un sistema, como electrones en un átomo o quarks en un hadrón, no pueden poseer un conjunto idéntico de números cuánticos.

Fue formulado por primera vez por Wolfgang Pauli (1.900-1.958) en 1.925. El origen del principio de exclusión de Pauli se encuentra en el Teorema de espín-estadística de la teoría cuántica relativista.

Expansión del universo

Aumento constante en el tiempo de las distancias que separan las galaxias lejanas unas de otras. La expansión no se produce dentro de las galaxias individuales o los cúmulos de galaxias, que están unidos por la gravedad, pero se manifiesta al nivel de los supercúmulos.

A mí particularmente, siempre me llamó la atención el hecho de que, mientras las galaxias se alejan las unas de las otras, nuestra vecina, la galaxia Andrómeda, se esté acercando a nosotros, a la Vía Láctea. Parece que, en un futuro lejano, el destino de ambas

galaxias es el de fusionarse en una enorme galaxia.

La hipótesis de expansión del universo, en realidad está basada en la evidencia del desplazamiento hacia el rojo, en virtud de la cual la distancia entre galaxias está continuamente creciendo. Si la luz de estas galaxias se desplaza al rojo, significa que se alejan, si lo hace hacia el azul, significa que se está acercando (el caso de Andrómeda).

La teoría original, propuesta en 1.929 por Edwin Hubble (1.889-1.953), asume que las galaxias se alejan como consecuencia de la gran explosión (Big Bang) de la cual se originó el universo.

Podríamos hablar aquí de expansión térmica, expansión de coeficiente, expansividad absoluta, aparente, cúbica, lineal, superficial, etc, con lo cual estaría cayendo de nuevo en aquello de lo que trato de huir, de lo muy complejo que produzca tedio en el lector.

Fase, transición de

Cambio abrupto en el estado de equilibrio de un sistema, producido por el enfriamiento del universo primitivo a medida que se enfrió.

Cambio de característica de un sistema. Algunos ejemplos de transiciones de fase son los cambios de sólido a líquido, líquido a gas y los cambios inversos. Las transiciones de fase pueden ocurrir al alterar variables como la temperatura y la presión.

Las transiciones de fase se pueden clasificar por su orden. Si hay un calor latente no nulo, la transición se dice que es de primer orden. Si el calor latente es cero, se dice que es transición de se-

gundo orden.

El mejor ejemplo en nosotros es cuando una mujer se queda embarazada; la transición de fase es completa.

Fermi

Unidad de longitud utilizada antiguamente en física nuclear. Es igual a 10^{-15} metros. En unidades del SI es igual a un fentometro (fm). Se llama así en honor al fisico italiano (nacionalizado estadounidense) Enrico Fermi (1.901-1.954).

A Fermi debemos la constante de acoplamiento, símbolo G_w, asociada a las interacciones débiles que dan lugar a la desintegración beta. Esta constante tiene el valor $1'435 \times 10^{-36}$ Julios metro³.

También es conocido "el Nivel de Fermi"; energía en un sólido en el que el número medio de partículas por estado cuántico es $\frac{1}{2}$, es decir, la mitad de los estados cuánticos están ocupados. Igualmente podríamos hablar de la estadística de Fermi-Dirac.

El Fermio, de símbolo Fm, es un elemento transuránico radiactivo y metálico perteneciente a los actínidos; n.a. 100, número másico del isótopo más estable, 257 (vida media, 10 días). Se conocen diez isótopos. El elemento fue identificado por primera vez por A. Ghiorso y su equipo en los restos de la primera explosión de una bomba de hidrógeno en 1.952. El nombre, como es lógico deducir, es en honor de Enrico Fermi.

El fermión, partícula elemental (o estado ligado de partículas elementales, por ejemplo, un núcleo atómico o un átomo) con espín semientero, es decir, una partícula que obedece la estadística Fermi-Dirac, también lleva su nombre en honor a Fermi.

Fue uno de los grandes de la física teórica y experimental y de él son aquellas simpáticas anécdotas que se cuentan:

Alguien preguntó a Fermi por el nombre de unas partículas. «*si yo supiera el nombre de todas las partículas habría sido botánico*», contestó.

En relación a unos comentarios sobre la vida extraterrestre dijo, o más bien preguntó: «*Si es verdad que existen civilizaciones inteligentes en otros planetas y que viajan por el espacio ¿Por qué no han visitado la Tierra?*»

Bueno, si pudiera contestar a Fermi, le daría mil razones lógicas y técnicas del porqué no están aquí esos visitantes extraterrestres, sin embargo, sería necio pensar que no existen.

Fermión

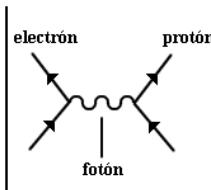
Partícula elemental (o estado ligado a partículas elementales, por ejemplo un núcleo atómico o un átomo) con espín semientero; es decir, una partícula que obedece a la estadística de Fermi-Dirac.

Feynman, diagrama de

Los cálculos basados en teoría de perturbaciones usando "diagrama de Feynman" permiten obtener un acuerdo entre la teoría electrodinámica y los experimentos con una precisión mayor que una parte entre 10^9 . Debido a esto, QED (electrodinámica cuántica) es la teoría más precisa conocida en la ciencia física.

Aunque muchos de los efectos calculados en electrodinámica cuántica son muy pequeños (sobre 4×10^{-6} eV), dicha separación en

los niveles de energía en los espectros de los átomos son de gran importancia para demostrar la realidad física de las fluctuaciones y la polarización del estado de vacío. QED es una teoría gauge para el que el grupo gauge es abeliano.



Una colisión electrón-protón

Física

Ciencia que estudia las leyes que determinan la estructura del universo con referencia a la materia y la energía de la que está constituido. Se ocupa no de los cambios químicos que ocurren, sino de las fuerzas que existen entre los objetos y las interrelaciones entre la materia y la energía.

Tradicionalmente, el estudio se dividía en campos separados: calor, luz, sonido, electricidad y magnetismo y mecánica. Desde el siglo XX, sin embargo, la mecánica cuántica y la física relativista (Max Planck en 1.900 y Einstein en 1.905) han sido cada vez más importantes; el desarrollo de la física moderna ha estado acompañado del estudio en física atómica, física nuclear y física de partículas.

La física de los cuerpos astronómicos y sus interacciones recibe el nombre de *astrofísica*; la física de la Tierra se conoce como *geofísica*, y el estudio de los aspectos físicos de la biología se denomina *biofísica*, todo ello, en lo posible para cada apartado: en física teórica (sin límite de imaginación e ingenio) y física experi-

mental para comprobar la otra (con el límite de un techo en energía y en tecnología).

La física clásica se refiere a la física anterior a la introducción del principio cuántico e incluye la mecánica newtoniana que consideraba la energía como un continuo. Es estrictamente causal, no como en la física cuántica, donde la energía no se transmite en un continuo sino en paquetes discretos llamados cuantos.

La física de partículas es la que se centra en el estudio de las más pequeñas estructuras conocidas de la materia y la energía: quarks y gluones, para formar protones, neutrones, partículas sigma y omega menos (bariones) o kaones, piones, etc, (mesones) todos ellos hadrones. Y la familia de los leptones con los electrones, muones y partícula Tau; todas ellas con sus correspondientes neutrinos, con el fotón como partícula transmisora de la fuerza electromagnética. Las partículas W^+ , W^- y Z^0 son los bosones vectoriales que transmiten la fuerza nuclear débil.

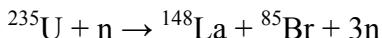
En solitario, sin querer hacer amistad con el resto de las fuerzas, tenemos la gravitatoria que está intermediada por una partícula llamada gravitón que aun no hemos podido detectar; es una hipótesis.

Fisión nuclear

Reacción nuclear en la que un núcleo pesado (como el uranio) se divide en dos partes (productos de fisión), emitiendo además dos o tres neutrones y liberando una cantidad de energía equivalente a la diferencia entre la masa en reposo de los neutrones y los productos de fisión y la masa del núcleo original.

La fisión puede ocurrir espontáneamente o como resultado del bombardeo con neutrones. Por ejemplo, la fisión de un núcleo

de uranio-235 por un neutrón lento puede proceder como sigue:



La energía liberada es aproximadamente 3×10^{11} J por núcleo de ^{235}U . Para 1 Kg de ^{235}U esto es equivalente a 20.000 megavatios hora: la cantidad de energía producida por la combustión de 3×10^6 toneladas de carbón. La fisión nuclear es el proceso que ocurre en los reactores nucleares y en las bombas atómicas.

En realidad es una fuente de energía necesaria por las exigencias del mercado. Sin embargo, no es nada recomendable ni ecológica; sus radiaciones son muy nocivas para los seres vivos y sus residuos no son reciclables y difíciles de guardar, aparte del enorme coste económico. Hay que buscar otras fuentes de energía, sobre todo, la fusión nuclear, limpia y con residuos reciclables y no nocivos.

De momento, un sueño para el futuro (30 años).

Fon

Unidad de sonoridad que mide la intensidad de un sonido relativo a un tono de referencia de intensidad y frecuencia definida. El tono de referencia normalmente tiene una frecuencia de un Kiloherzio y una presión cuadrática media del sonido de 2×10^{-5} pascales.

Si la intensidad del tono de referencia ha sido aumentada en n decibelios hasta conseguirlo (la medición), el sonido que está siendo medido se dice que tiene una intensidad de n fons. Las escalas del decibelio y del fon no son idénticas, ya que la escala del fon es subjetiva y depende de la sensibilidad del oído para detectar cambios en la intensidad y la frecuencia.

Fondo, radiación de

Radiación ionizante de baja intensidad presente en la superficie de la Tierra y en la atmósfera como resultado de la radiación cósmica y la presencia de radioisótopos en las rocas terrestres, suelo y atmósfera.

Los radioisótopos son tanto naturales como resultado de la parada de centrales nucleares o gases residuales de centrales eléctricas.

La radiación de fondo debe tenerse en cuenta cuando se mide la radiación producida por una fuente específica.

Fonón

Cuanto de energía vibracional de la red cristalina que tiene una energía hf , donde h es la constante de Planck y f es la frecuencia de la vibración.

Los fonones son análogos a los cuantos de luz, es decir, los fotones.

El concepto de fonón es útil en el estudio de la conductividad térmica en los sólidos no metálicos y de la dependencia en la temperatura de la conductividad eléctrica de los metales (teniendo en cuenta las interacciones electrón-fonón).

Fósiles

Restos geológicos de lo que fueron seres vivos en el pasado.

Fotón

Partícula con masa en reposo nula consistente en un cuant de radiación electromagnética. El fotón también puede ser considerado como una unidad de energía (hf , ver fonón).

Los fotones viajan a la velocidad de la luz. Son necesarios para explicar el efecto fotoeléctrico y otros fenómenos que requieren que la luz tenga carácter de partícula.

Foucault, péndulo de

Péndulo simple en el que un peso unido a un largo cable es libre de oscilar en cualquier dirección. Como resultado de la rotación de la Tierra, el plano de oscilación del péndulo gira lentamente (en los polos de la Tierra completa una revolución cada 24 horas).

Fue inventado por el francés Jean Bernard León Foucault (1.819-1.868) en 1.851, cuando lo puso en la Torre Eiffel para demostrar la rotación de la Tierra.

Fraunhofer, líneas de

Líneas oscuras de un espectro.

Podríamos considerar aquí la *difracción de Fraunhofer*, en la que la fuerza de la luz y la pantalla receptora están en la práctica a distancia infinita del objeto difractante, de forma que los frentes de ondas se pueden considerar planos en vez de esféricos.

En la práctica utiliza haces paralelos de luz. Puede ser consi-

derado como un caso extremo de la difracción de Fresnel, pero es más práctico para explicar los patrones producidos por una rendija o por muchas rendijas.

Fue estudiado por el óptico alemán Joseph von Franhofer (1.787-1.826).

Fuerza

De símbolo F. Agente que tiende a cambiar el momento de un cuerpo masivo, definido como una magnitud proporcional al ritmo de crecimiento del momento. Para un cuerpo de masa m que viaja a la velocidad v , el momento es mv .

En un sistema coherente de unidades, la fuerza está dada por $F=d(mv)/dt$. Si la masa es constante, $F = mdv/dt = ma$, donde a es la aceleración (ver leyes de movimiento de Newton).

La unidad del SI de fuerza es el Newton. Las fuerzas aparecen siempre en pares de acción y reaccionan iguales y opuestas entre los cuerpos, aunque a menudo es conveniente pensar en un cuerpo situado en un campo de fuerza.

Sobre las clases de fuerzas podríamos ocupar muchas de estas páginas: fuerza centrífuga, centrípeta, coerciva, contraelectromotriz, de cizalladura, de intercambio, electromotriz, iónica, etc. Sin embargo me limitaré a reflejar brevemente las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza.

Cualquiera de los cuatro tipos diferentes de interacciones que pueden ocurrir entre cuerpos pueden tener lugar incluso cuando los cuerpos no están en contacto físico, y juntas pueden explicar todas las fuerzas observadas que pueden ocurrir en el universo.

Fuerza electromagnética

La interacción electromagnética es la responsable de las fuerzas que controlan la estructura atómica, reacciones químicas y todos los fenómenos electromagnéticos. Puede explicar las fuerzas entre las partículas cargadas pero, al contrario que las interacciones gravitacionales, pueden ser tanto atractivas como repulsivas.

Algunas partículas neutras se desintegran por interacciones electromagnéticas. La interacción se puede interpretar tanto como un campo clásico de fuerzas (ley de Coulomb) como por el intercambio de unos fotones virtuales.

Igual que las interacciones gravitatorias, el hecho de que las interacciones electromagnéticas sean de largo alcance significa que tienen una teoría clásica bien definida dada por las ecuaciones de Maxwell.

La teoría cuántica de las interacciones electromagnéticas se describe con la electrodinámica cuántica, que es una forma sencilla de teoría gauge.

Fuerza gravitacional

La interacción gravitacional (unas 10^{40} veces más débil que la interacción electromagnética) es la más débil de todas. La fuerza que genera actúa entre todos los cuerpos que tienen masa, y la fuerza siempre es atractiva.

La interacción puede ser comprendida utilizando un campo clásico en el que la intensidad de la fuerza disminuye con el cuadrado de la distancia entre los cuerpos interaccionantes (Ley de Gravitación de Newton).

El hipotético cuanto de gravitación, el gravitón, es también un concepto útil en algunos contextos.

En la escala atómica, la fuerza gravitacional es despreciablemente débil, pero a escala cosmológica, donde las masas son enormes, es inmensamente importante para mantener a los componentes del universo juntos ya que, sin esta fuerza de la naturaleza, el universo sería un caos de estrellas, planetas y demás objetos cosmológicos vagando por el espacio, sin rumbo ni destino final que no fuera colisionar entre ellos.

Debido a que las interacciones gravitacionales son de largo alcance, hay una teoría macroscópica bien definida, que es la relatividad general de Einstein, que nos explica de manera clara y precisa como, en presencia de grandes masas como planetas, estrellas o galaxias entre otros, el espacio se curva alrededor de estas masas enormes y da lugar a lo que llamamos gravedad.

Por el momento no hay una teoría cuántica de la gravedad que sea satisfactoria. Es posible que la teoría de supercuerdas pueda dar esa deseada teoría cuántica de la gravitación que sea consistente, además de unificar la gravedad con las demás fuerzas fundamentales.

Fuerza nuclear débil

Es unas 10^{10} veces menor que la interacción electromagnética. Ocurre entre leptones y en la desintegración de los hadrones. Es responsable de la desintegración beta de las partículas y núcleos.

En el modelo actual, la interacción débil se entiende como una fuerza mediada por el intercambio de partículas virtuales, llamadas bosones vectoriales intermediarios.

Las interacciones débiles son descritas por la teoría electro-débil, que las unifica con las interacciones electromagnéticas.

Modelo Weinberg-Salam.

Fuerza nuclear fuerte

La interacción fuerte (la más potente de todas, es unas 10^2 veces mayor que la fuerza electromagnética) aparece sólo entre los hadrones y es la responsable de la fuerza entre los nucleones que confiere a los núcleos de los átomos gran estabilidad, haciendo posible que se formen las células para constituir materia.

Actúa a muy corta distancia dentro del núcleo; es tan corto su alcance que está en el orden de 10^{-15} metros y se puede interpretar como una interacción mediada por el intercambio de mesones virtuales, los gluones. Esta fuerza es descrita por una teoría gauge llamada cromodinámica cuántica.

Fusión nuclear

Reacción nuclear en la que los núcleos atómicos de bajo número atómico se fusionan para formar núcleos pesados con la liberación de grandes cantidades de energía.

En las reacciones de fisión nuclear se utiliza un neutrón para romper un núcleo grande, pero en la fusión nuclear los dos núcleos reactivos tienen que ser hechos colisionar (dos protones que se fusionan).

Como ambos núcleos están positivamente cargados, hay una intensa fuerza repulsiva entre ellos que sólo puede ser superada si

los núcleos reactivos tienen energías cinéticas muy altas. Estas altas energías implican temperaturas del orden de 10^8 K.

Como la energía cinética requerida aumenta con la carga nuclear (es decir, el número atómico), las reacciones entre núcleos de bajo número atómico son las más fáciles de producir.

A estas elevadas temperaturas, sin embargo, las reacciones de fusión se automantienen: los reactivos a estas temperaturas están en forma de plasma (es decir, núcleos y electrones libres), con los núcleos poseyendo suficiente energía como para superar las fuerzas de repulsión electromagnéticas.

La fusión nuclear es la responsable del brillo de las estrellas; es allí, en sus inmensos hornos termonucleares situados en el núcleo, donde se produce la fusión nuclear que, por ejemplo, en estrellas medianas como nuestro Sol, fusionan cada segundo 4.654.000 toneladas de hidrógeno en 4.650.000 toneladas de helio. Las 4.000 toneladas restantes son enviadas al espacio en forma de luz y de calor y, en el caso concreto del Sol, una pequeña parte de esta luz y este calor, llega al planeta Tierra para hacer posible la vida.

Galaxia

Vasta colección de estrellas, polvo y gas unidos por la atracción gravitatoria que se genera entre sus diversos componentes. Las galaxias son usualmente clasificadas por su forma en elípticas, espirales o irregulares. Las galaxias elípticas aparecen como nubes elipsoidales de estrellas con muy poca estructura interna aparte de (en algunos casos) un núcleo más denso.

Las galaxias espirales son colecciones de estrellas con forma de disco plano con prominentes brazos espirales. Las galaxias irre-

gulares no tienen estructura o forma aparente.

El Sol pertenece a una galaxia espiral conocida como *Galaxia o Vía Láctea*, que contiene unas 10^{11} estrellas (cien mil millones) y tiene unos 30.000 pársecs* de longitud con un grosor máximo en el centro de unos 4.000 pársecs*.

El Sol está a unos 10.000 pársecs* del centro de la galaxia; esto hace que nuestro Sistema Solar esté en la periferia de la Vía Láctea, en el brazo espiral *Perseo*.

Las galaxias se hallan separadas entre sí por enormes distancias. La galaxia vecina a la nuestra, la galaxia Andrómeda, está situada a una distancia de $6'7 \times 10^5$ pársecs*, o lo que es lo mismo 2'3 millones de años-luz de nosotros.

*Pársec: De símbolo pc. Unidad estelar de 3'2616 años-luz ó 206.265 unidades astronómicas, ó $30'857 \times 10^{12}$ Km

Gamma, rayos

(Rayos γ) Radiación electromagnética con longitudes de onda menores de unos 0'01 nanómetros (nm). Los rayos gamma son los fotones de mayor energía del espectro electromagnético. Sus energías varían desde los 100 KeV hasta al menos 10 GeV.

Gauge en la red o simplemente Gauge, teoría

La primera se refiere a una formulación de las teorías gauge en la que el espacio y el tiempo se toman como discretos en vez de como continuos. Al final de los cálculos en teorías gauges en la red es necesario tomar el límite del continuo.

La teoría gauge en la red es utilizada para hacer cálculos en algunas teorías gauge con fuertes acoplamientos, como la cromodinámica cuántica, en los que muchas de las características importantes de la teoría no se pueden obtener por la teoría de perturbaciones.

La teoría gauge en la red es particularmente adecuada para cálculos numéricos y computacionales. Se pueden aplicar técnicas de mecánica estadística a las teorías gauge en la red.

Las dificultades surgen al añadir fermiones a la red, aunque se han diseñado varios remedios para superar estas dificultades.

Si nos referimos a la teoría gauge sin más, estamos hablando de cualquiera de las teorías cuánticas de campo creadas para explicar las interacciones fundamentales. Una teoría gauge requiere un grupo de simetría para los campos y los potenciales (el grupo gauge).

En el caso de la electrodinámica, el grupo es abeliano (los grupos que son conmutativos en este sentido se denominan abelianos, por el matemático noruego Niels Henrik Abel, que murió muy joven en trágicas circunstancias).

Evidentemente, cualquier grupo que pueda representarse simplemente por la multiplicación de números complejos debe ser abeliano. Dos de las categorías más importantes de grupos: los grupos finitos y los grupos continuos (o grupos de Lie). Sophus Lie, matemático noruego responsable de la teoría de grupos continuos (1.842-1.899).

Las teorías gauge para las interacciones fuertes y débiles utilizan grupos no abelianos que son conocidos como teorías de Yang-Mills. Esta diferencia explica por qué la electrodinámica cuántica es una teoría mucho más simple que la cromodinámica cuántica, que describe interacciones fuertes, y la teoría electrodé-

bil, que es la teoría unificada de las interacciones débiles y electromagnéticas.

En el caso de la gravedad cuántica, el grupo gauge es mucho más complicado que los grupos gauge de las interacciones fuertes como las débiles.

Las interacciones entre partículas están explicadas por el intercambio de partículas (bosones vectoriales intermediarios o bosones gauge): gluones para la fuerza fuerte, fotones en la fuerza electromagnética, W y Z en la fuerza nuclear débil, gravitón para la fuerza de gravedad.

Gauss

De símbolo G. Unidad del Sistema c.g.s de densidad de flujo magnético.

Es igual a 10^{-4} tesla.

El nombre se puso en honor al matemático Karl Gauss (1.777-1.855).

Gluones

Cuantos que transmiten fuerza nuclear fuerte, al igual que los fotones en la interacción electromagnética, los bosones vectoriales intermediarios W^+ , W^- y Z^0 en la interacción nuclear débil, y el gravitón en la interacción gravitatoria. Los gluones son bosones sin masa. En consecuencia, algunos físicos, para simplificar, agrupan todos los cuantos transmisores de fuerza bajo el término *gluones* que en la fuerza nuclear fuerte forman una red que crea el campo

de fuerza que mantiene unidos los quarks.

Ampliaré la explicación en "Partículas elementales".

Gravitón

Partícula hipotética que es un cuanto de energía intercambiado en una interacción gravitacional. Dicha partícula no ha sido observada aún, pero se postula que es la responsable de las interacciones gravitacionales consistentes con la mecánica cuántica. Se espera que viaje a la velocidad de la luz, que tenga masa en reposo nula y espín 2.

GTU

Siglas de Gran Teoría Unificada.

Hadrones

Clase de partículas subatómica que interaccionan fuertemente.

Los hadrones son una familia que, a su vez, está subdividida en dos ramas:

- Bariones: protones, neutrones, sigma, lambda, omega
- Mesones: piones, kaones, psi, etc.

Los hadrones se cree que tienen una estructura interna constituida por quarks (teoría de Murray Gell-Mann); no son, por tanto,

verdaderamente elementales, y como antes he reflejado, los hadrones son o bien báriones o bien mesones. Los báriones se desintegran en protones que se cree están formados por tres quarks, y los mesones que se desintegran en leptones o protones o en pares de protones y que se cree están formados por una pareja quarks y antiquarks.

Hawking, proceso de

Emisión de partículas por un agujero negro como resultado de los efectos mecano-cuánticos. Fue descubierta por el físico-cosmólogo, Stephen Hawking (1.942-). El campo gravitacional del agujero negro es la causa de una producción de pares de partículas antipartículas en la vecindad del horizonte de sucesos. Para un posible observador externo parecería que el agujero está emitiendo radiación (radiación Hawking).

Es más, parece como si las energías de las partículas que caen fuera negativa y compensara exactamente la energía (positiva) de las partículas que escapan. Esta energía negativa reduce la masa del agujero negro, y el resultado neto del proceso es que el flujo de partículas emitidas parece llevarse la masa del agujero negro.

Puede mostrarse que el agujero negro radia como un cuerpo negro, con una distribución de energía de las partículas que obedece la ley de radiación de Planck para una temperatura que es inversamente proporcional a la masa del agujero.

Para un agujero negro de la masa del Sol, su temperatura es sólo de 10^{-7} K, de forma que el proceso es despreciable. Sin embargo, para un "mini" agujero negro, de los que pudieron haberse formado en el universo primitivo, con una masa del orden 10^{12} Kg (y un radio de 10^{-15} metros), la temperatura será de unos 10^{11} K y el agujero radiará copiosamente (a un ritmo de 6×10^9 W) un flujo

de rayos gamma, neutrinos y pares electrón-positrón.

Los niveles observados de rayos gamma cósmicos imponen fuertes restricciones al número de esos "mini" agujeros negros, sugiriendo que hay demasiado pocos como para resolver el problema de la materia oscura.

Particularmente (por mi ignorancia), no llego a comprender esta teoría de Hawking, ya que tenía entendido (así está aceptado por toda la comunidad científica) que un agujero negro es tan denso y genera tan enorme fuerza gravitatoria que su velocidad de escape supera a la velocidad de la luz, o lo que es lo mismo, la luz, corriendo a 300.000 Km/s, no se puede escapar a un agujero negro. Si esto es así, y todos sabemos que en la relatividad especial de Einstein se dejó muy claro que nada en nuestro universo podía superar la velocidad de la luz, entonces me pregunto:

¿Cómo es posible que esas partículas de Hawking escapen de esa fuerza gravitatoria del agujero negro?

¿Acaso van más aprisa que la velocidad de la luz?

¿No tendrían que tener entonces una masa infinita?

Lo dicho, mi enorme ignorancia no me deja comprender el denominado "proceso de Hawking".

Heaviside-Lorentz, unidades de

Sistema de unidades para las cantidades eléctricas y magnéticas basadas en las unidades c.g.s electrostáticas y electromagnéticas.

Son la forma racionalizada de las unidades gaussianas y son

muy utilizadas en física de partículas y en relatividad en vez de las unidades SI, ahora empleadas para propósitos generales en la física.

Las unidades c.g.s que he nombrado ya varias veces, están referidas a un sistema de unidades basadas en el gramo, el centímetro y el segundo. Derivadas del sistema métrico, fueron inadecuadamente adoptadas para su uso con cantidades térmicas (basadas en la caloría, unidad definida de forma inconsistente) y con las cantidades eléctricas (donde eran utilizados dos sistemas, basados respectivamente en la permitividad y la permeabilidad unidad de vacío). Para muchos fines científicos, las unidades c.g.s han sido reemplazadas por las unidades SI.

Heliocéntrica

Escuela de modelos de universo en las que el Sol era considerado el centro. (El error de Copérnico).

Hertzsprung-Russell, diagrama

Gráfico que revela una relación entre los colores y las magnitudes absolutas de las estrellas, frente a una medida de su temperatura (bien su tipo espectral o bien su índice de color).

El diagrama muestra cómo están relacionadas las luminosidades con las temperaturas superficiales. A partir de la posición de una estrella en el diagrama, los astrónomos pueden estimar su masa y la fase de su evolución.

La mayoría de las estrellas se encuentran en la secuencia principal, una banda que se divide desde la parte superior izquierda

hacia la parte inferior derecha del diagrama.

Una estrella de la secuencia principal está quemando hidrógeno en su núcleo, y durante esta fase de su vida permanecerá en un punto en el diagrama que está determinado por su masa.

Otras áreas del diagrama HR están pobladas por estrellas que no queman hidrógeno en sus núcleos, aunque pueden estar quemando hidrógeno en una fina envoltura alrededor de éste. La más prominente de estas áreas es la rama gigante, consistente en estrellas que han agotado el combustible de hidrógeno en sus núcleos.

Regiones de interés son las bandas ocupadas por las supergiantes, con luminosidades de 300 a 100.000 veces la del Sol (futuras estrellas de neutrones o agujeros negros). También las enanas blancas, estrellas moribundas con luminosidades típicamente 10.000 veces menores que la del Sol.

Las teorías de la evolución estelar deben explicar las distintas características del diagrama HR. Se llama así en honor de H. N. Russell y E. Hertzsprung, quienes lo diseñaron independientemente.

Higgs, bosón de / Higgs, campo de

El bosón de Higgs es una partícula con masa cero no nula, predicha por Peter Higgs (1.929-) que existe en ciertas teorías gauge, en particular en la teoría electrodébil (el modelo de Weinberg-Salam). El bosón de Higgs aún no ha sido encontrado, pero se piensa que se encontrará con aceleradores de partículas más potentes que los actuales que no generan aún la energía necesaria para encontrar esta partícula, que como digo, se espera encontrar en los próximos años, especialmente después de que otras predicciones de

la teoría, incluyendo los bosones W y Z, hayan sido confirmadas.

El campo de Higgs es responsable de la ruptura de simetría asociado en el bosón de Higgs.

El campo de Higgs puede ser tanto una cantidad escalar elemental como el cambio asociado con un estado ligado de dos fermiones. En el modelo Weinberg-Salam, el campo de Higgs se considera como un campo escalar.

No se sabe si estas hipótesis son correctas o no, aunque intentos de construir una teoría electrodébil con estados ligados para el campo de Higgs, conocidos como teorías de technicolor, no han sido exitosos.

Los campos de Higgs también aparecen en sistemas de muchos cuerpos que pueden ser formuladas como una teoría cuántica de campos con un bosón de Higgs; un ejemplo es la teoría BCS de la superconductividad, en la que el campo de Higgs está asociado con un par de Cooper, en vez de con un (bosón) campo escalar elemental.

Algunos han llegado a denominar el bosón de Higgs como la partícula divina, que es la responsable de transmitir la masa a todas las demás partículas. En verdad será para la física un paso muy importante el día que, al fin, la puedan encontrar.

Hilbert, espacio de

Espacio vectorial lineal que puede tener un número infinito de dimensiones. El concepto es de gran interés en física porque el estado de un sistema en mecánica cuántica se representa por un vector en un espacio de Hilbert.

La dimensión del espacio de Hilbert no tiene nada que ver la dimensión física del sistema. La formulación en el espacio de Hilbert de la mecánica cuántica fue propuesta por el matemático norteamericano nacido en Hungría John von Neumann (1.903-1.957) en 1.927.

Otras formulaciones de la mecánica cuántica, como la mecánica matricial y la mecánica ondulatoria, se pueden deducir de la formulación en el espacio de Hilbert. Los espacios de Hilbert son llamados así en honor del matemático alemán David Hilbert (1.862-1.943), quien inventó el concepto a principios del siglo XX.

Hiperdimensional

Que involucra más de cuatro dimensiones (tres de espacio y una de tiempo) habituales en el espacio-tiempo relativista.

Cuando un viejo profesor de Einstein, Minkowski, leyó la teoría de la relatividad especial de su ex-alumno, se dio cuenta de que a partir de entonces nunca se podría hablar de espacio y de tiempo como conceptos distintos y separados; la teoría había descubierto que ambos conceptos estaban unidos de manera irreversible como el espacio-tiempo.

Después de la publicación de la teoría general de la relatividad de Einstein, se dio a conocer un trabajo de un tal Kaluza, que se inventaba por primera vez la quinta dimensión que más tarde depuró Oskar Klein, y pasó a llamarse teoría Kaluza-Klein.

Hipótesis

Proposición científica que pretende explicar un conjunto de-

terminado de fenómenos; menos vasta y no tan bien confirmada como una teoría. La hipótesis mantiene una idea que puede o no ser cierta. Sin embargo, algunas hipótesis sobre las cuales no existe ya ninguna duda han permanecido con el nombre de hipótesis sin ninguna explicación clara (por ejemplo, hipótesis de Avogadro).

En ciencia, una ley es un principio descriptivo de la naturaleza que se cumple en todas las circunstancias cubiertas por la formulación de la ley. No hay excepciones en las leyes de la naturaleza y cualquier suceso que no cumpla la ley requerirá descartar la ley existente o deberá ser descrito como un milagro, concepto éste que es totalmente ajeno a la ciencia.

Las leyes epónimas son aquellas que son llamadas en honor de sus descubridores (por ejemplo, ley de Boyle); algunas leyes, sin embargo, son conocidas por la materia de la que tratan (ley de la conservación de la masa), mientras que otras leyes utilizan tanto el nombre del descubridor como la materia de que tratan (por ejemplo, ley de la gravitación de Newton).

Una descripción de la naturaleza que utiliza más de una ley, pero aún no ha sido llevada al estado incontrovertible de ley, es a veces llamada una teoría. Las teorías son también tanto epónimas como descriptivas de la materia a la que se refieren (por ejemplo, teoría de Einstein de la relatividad y teoría de Darwin de la evolución).

Lo que está claro de todo esto es que, por mi parte, siempre me excede en la explicación; quiero hacerla corta y clara pero enlazo unos conceptos con otros y al final me sale extensa (ruego disculpen) y sin embargo tampoco creo que sea tan malo aportar más conocimientos.

Se hace una conjectura, se da a conocer una hipótesis, se continúa con una teoría (la conjectura hipotética mejor elaborada) y, si todo se confirma, se termina con que todo ello es admitido por to-

dos como una ley.

Hubble, constante de

De símbolo H_0 . El ritmo al que se expande el universo, aproximadamente igual a un aumento de la velocidad de 50 kilómetros por megapársec de distancia.

Edwin Powell Hubble (1.889-1.953) astrónomo norteamericano, es mundialmente conocido por sus importantes trabajos: clasificación de Hubble, constante de Hubble, diagrama de Hubble, flujo de Hubble, ley de Hubble, nebulosa variable de Hubble, parámetro de Hubble, radio de Hubble, tiempo de Hubble y otras. Su contribución a la astronomía es de todo punto imposible de pagar y en reconocimiento, tantos conceptos y hallazgos llevan su nombre; es lo menos que podíamos hacer por recordarlo.

También lleva su nombre el telescopio espacial HST "HUBBLE" que tantos logros ha conseguido fotografiando rincones del universo situados a miles de millones de años luz de nosotros.

Indeterminación, principio de

Principio de indeterminación de Heisenberg; principio de incertidumbre, en virtud del cual no es posible conocer con precisión ilimitada tanto la posición como el momento de una partícula.

Este principio, descubierto en 1.927 por Werner Heisenberg (1.901-1.976), se formula actualmente en la forma $\Delta x \Delta p_x \geq h/4\pi$, donde Δx es la determinación en la coordenada x, Δp_x es la indeterminación en la componente x del momento de partícula y h es la

constante de Planck.

Una explicación de la indeterminación es que con el fin de localizar la partícula exactamente, un observador debe ser capaz de hacer rebotar sobre ella un fotón de radiación; este acto de localización altera la posición de la partícula de una forma impredecible.

Para localizar la posición con precisión se deben usar fotones de corta longitud de onda. El alto momento de dichos fotones causarían un gran efecto sobre la posición. Por el contrario, utilizando fotones de menor momento, se causará un menor efecto sobre la posición de la partícula, pero su localización será menos precisa debido a la longitud de onda más larga.

Schrödinger realizó un trabajo muy preciso y de formulación casi mágica (la ecuación de Schrödinger) que con su función de onda (Ψ), daba la enorme posibilidad de saber, con bastante aproximación, la situación de la partícula.

De todos modos, y dicho de otra manera, el principio de incertidumbre de Heisenberg nos obligó a poner los pies en el suelo; nada en el universo que nos ha tocado vivir es seguro al 100 por 100, ya que todo puede variar en función de lo que hagamos. Todo incide en lo que será. Es la causalidad:

Si nos comportamos correctamente y tenemos atenciones y respeto, la persona amada nos querrá. Si leemos mucho conocemos cosas nuevas cada día. Si salimos a la calle con lluvia y no estamos bien abrigados, resfriado seguro... y así son las cosas.

Inercia

Propiedad de la materia que hace que se resista a cualquier cambio en su estado de movimiento. Así pues, un cuerpo en reposo

se mantiene en reposo a no ser que actúe sobre él una fuerza externa, y un cuerpo en movimiento continua moviéndose a velocidad constante y en línea recta a no ser que actúe sobre él una fuerza externa. Esta es una formulación de la primera ley del movimiento de Newton. La masa de un cuerpo es una medida de su inercia.

Más tarde llegó Einstein y nos dijo, además, que la masa de un cuerpo es la medida de su energía ($E=mc^2$).

Ingravidez

Cualidad de un cuerpo cuando está a distancia infinita de cualquier otro cuerpo. En la práctica, la apariencia de ingrávidez ocurre en el espacio cuando la atracción gravitacional de la Tierra sobre un cuerpo en el espacio es igual a la fuerza centrípeta requerida por su movimiento orbital, de manera que el cuerpo está efectivamente en caída libre.

La ingrávidez puede también ser simulada durante cortos períodos en un avión volando en un camino parabólico, de forma que los ocupantes están en caída libre.

La ingrávidez es uno de los problemas a resolver en las naves espaciales futuras que realicen largos viajes por el espacio exterior. El cuerpo humano, cuya cuna y origen está en el planeta Tierra, no puede soportar grandes períodos de ingrávidez sin que su esqueleto se resienta y debilite. Las naves y estaciones espaciales futuras tendrán que simular una gravedad artificial para hacer posible la exploración espacial sin este peligro, ya existen muchos otros.

Interacción

Efecto en el que intervienen un número de cuerpos, partículas o sistemas como resultado del cual tiene lugar algún cambio físico o químico en uno o más de ellos.

Supone un intercambio entre dos o más partículas o cuerpos.

Puesto que la teoría cuántica sostiene que las fuerzas fundamentales involucran el intercambio de partículas que transportan fuerza (los bosones), es correcto describir las fuerzas como interacciones.

Antes, en las fuerzas fundamentales de la naturaleza, hemos explicado todas las fuerzas naturales que existen en el universo.

Invarianza

Simetría generada por la operación combinada de cambiar conjugación de carga (C) y paridad (P). La violación CP ocurre en las interacciones débiles en la desintegración del kaón.

Aquí me parece apropiado incluir también CPT, teorema; inversión temporal: símbolo T . Operación de reemplazar el tiempo t por el tiempo $-t$. La simetría de la inversión temporal es conocida como *invariancia T*. Igual que ocurre con la violación CP , la violación de T también ocurre en las interacciones débiles en la desintegración del kaón.

Precisamente, cuando Einstein publicó su célebre teoría de la relatividad especial la llamó en un principio teoría de invariancia que estaba basada en la invariancia de la velocidad de la luz que, sea cual fuere la fuente emisora, esté en movimiento o en reposo,

siempre es la misma, 299.792'458 Km por segundo.

También por cierta similitud podemos incluir aquí algún comentario sobre lo que es la irreversibilidad:

Es la propiedad de un sistema que impide que los cambios sean procesos reversibles. Existe la paradoja de que, a pesar de que las ecuaciones que describen los cuerpos en un sistema, como las leyes de Newton, las ecuaciones de Maxwell o la ecuación de Schrödinger, son invariantes bajo inversión temporal, los fenómenos que ocurren en sistemas formados por un gran número de grados de libertad no son reversibles. El proceso de resolver un huevo es un ejemplo. La resolución de esta paradoja requiere el concepto de entropía y de mecánica estadística.

La irreversibilidad ocurre por la transición de una disposición ordenada (somos jóvenes) a una disposición desordenada (somos viejos), que es la vía natural, el paso del tiempo y el avance de la entropía es el cambio inevitable e irreversible en un sistema cerrado, cuya flecha del tiempo siempre corre en la misma dirección de una entropía creciente (mayor desorden y menos energía).

La irreversibilidad también ocurre en procesos que violan la simetría T. De acuerdo con el teorema CPT, aquellos procesos que violan CP también violan T y son, por tanto, irreversibles.

Isótopos

Cuando hablamos de un isótopo nos estamos refiriendo a uno de los dos o más átomos del mismo elemento que tienen el mismo número de protones en sus núcleos, pero diferente número de neutrones.

El hidrógeno (1 protón, o neutrón), el deuterio (1 protón, 1

neutrón) y el tritio (1 protón, 2 neutrones) son isótopos del hidrógeno.

La mayoría de los elementos del universo, todos los que existen en la naturaleza, en su gran mayoría consisten en una mezcla de isótopos.

Isotropía

Es la cualidad de ser igual en todas las direcciones, que es exactamente lo contrario que ocurre con la "anisotropía" que es distinta en diferentes direcciones.

La isotropía puede estar representada por la luz del Sol que al expandirse por igual en todas las direcciones podemos decir que es isotrópica.

La anisotropía que se dice para un medio en el que ciertas propiedades físicas son diferentes direcciones; podría representarse con un ejemplo que todos entenderemos: la madera, por ejemplo, es un material anisótropo; su resistencia y configuración a lo largo de la fibra es distinta perpendicularmente a esta, al contrario de los cristales simples que no son cúbicos que también son anisótropos con respecto a algunas propiedades físicas, los cúbicos si lo son (isotrópicos).

La luz de un foco que alumbría a un pianista en el escenario no es isotrópica y, sin embargo, la bombilla que alumbría nuestra habitación si lo es, ya que se esparce por todos los rincones por igual y esa igualdad en todas las direcciones, es la ISOTROPIA.

Julio

De símbolo J. Unidad de trabajo y energía. Se define como el trabajo realizado cuando una fuerza de 1 Newton es desplazada una distancia de 1 metro en la dirección de la fuerza. Se llama así en honor del físico inglés James Prescott Joule (1.818-1.889).

Juno

Asteroide 3; el tercer asteroide en ser descubierto por el astrónomo alemán Karl Ludwig Harding (1.765-1.834) en 1.804. Su diámetro es de 248 Km. Juno es de la clase S, con un periodo de rotación de 7'21 horas. Su órbita tiene un semieje mayor de 2'668 UA, un período de 4'36 años, un perihelio de 1'98 UA, un ofelio de 3'36 UA y una inclinación de 13'0°.

Jupiterianos

Planetas gigantes que tienen una superficie gaseosa. Los planetas jupiterianos conocidos del Sol son Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno.

Kaluza-Klein, teoría de

Teorías relativista de cinco dimensiones que tuvo cierta importancia en el desarrollo de la teoría unificada. En realidad podríamos decir que inspiró otras teorías más avanzadas desarrolladas a partir de ésta, tales como la supersimetría, la supergravedad y últimamente las teorías de cuerdas (cinco versiones) que han des-

embocado en la teoría de supercuerdas y en la teoría M.

Es una teoría de campo unificado que postula una generalización de la teoría de la relatividad general de Einstein a más de cuatro dimensiones espaciotemporales.

Elevar la teoría de Einstein de tetradimensional o pentadimensional daba lugar a la unificación de la relatividad general con el electromagnetismo de Maxwell.

En más dimensiones espaciotemporales, las teorías de Kaluza-Klein dan la relatividad general y teorías gauge más generales.

Una combinación de la teoría de Kaluza-Klein y la supersimetría da lugar a la supergravedad, que necesita once dimensiones espacio temporales.

En estas teorías se propone que las dimensiones extras están enrolladas de forma que son microscópicas (compactificación espontánea) en la longitud de Planck: $L_p = \sqrt{(G\hbar/c^3)}$, donde G es la constante gravitacional, \hbar es la constante de Planck racionalizada y c es la velocidad de la luz. El valor de la longitud de Planck es del orden de 10^{-35} metros (veinte ordenes menor en magnitud que el tamaño del protón: 10^{-15} metros).

Se cuenta que cuando Einstein recibió la carta de un oscuro matemático llamado Kaluza, en la que de manera simple y sencilla unificaba su teoría relativista con la de Maxwell mediante el truco de magia de elevarlas a una quinta dimensión, la sorpresa heló la sangre en sus venas.

Tanto fue así que Einstein se resistía a creer lo que veía; la leyó y releyó una y otra vez y desconfiado retuvo el escrito durante 2 largos años hasta que, finalmente, dándose cuenta de su importancia, lo recomendó a la revista científica que publicó el artículo

con Einstein como padrino o tutor que lo avalaba.

Aquello, en los primeros años tras su publicación, fue un acontecimiento en el mundo de la física. Legiones de físicos jóvenes se lanzaron a la búsqueda de las más altas dimensiones. Sin embargo, sólo uno fue capaz de entender la idea de Kaluza y de mejorarla. Este fue Oskar Klein que, muy buen matemático, depuró la teoría y eliminó las aristas hasta que la dejó bien pulida y digerible. A partir de ahí se llamó teoría Kaluza-Klein.

Unos años más tarde surgió algo nuevo, la mecánica cuántica, que eclipsó la teoría de Kaluza-Klein y arrastró a todos los jóvenes físicos a este nuevo mundo que se abría ante ellos. La teoría Kaluza-Klein quedó literalmente enterrada en el fondo del baúl de ciencia.

Sin embargo su importancia era mucha y de nuevo, una vez pasada la fiebre de la mecánica cuántica, algunos revolvieron los trastos e ideas viejas para convertirlas en algo nuevo. Se retomó la teoría Kaluza-Klein y de ella, como dije antes, se derivaron la supergravedad, supersimetría y más tarde, las supercuerdas de enormes perspectivas para el futuro de la física que ve, en esta teoría, la posibilidad de una gran unificación de todas las fuerzas de la naturaleza.

Kaón

Es una partícula de las mal llamadas elementales, de la familia de los hadrones y clasificada como mesón. Está formada por un quark y un antiquark. Hay kaones con carga eléctrica de signo -, de signo + y de signo 0 ó neutras.

Láser

Dispositivo diseñado para dar un haz de radiación monocromática (toda de una única longitud de onda) y coherente (todas las ondas están en fase), habitualmente en la fase infrarroja, visible o ultravioleta del espectro.

El nombre es un acrónimo de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*. La radiación se produce cuando los electrones excitados de un átomo o molécula son estimulados a emitir radiación por el paso de un fotón próximo. El nuevo fotón es emitido en fase (es decir, de forma coherente) con el fotón que pasó, con la misma longitud de onda y en igual dirección. Cuando se producen muchos fotones de ese tipo se genera un haz de radiación muy intenso y paralelo. El equivalente en microondas del láser, es el máser.

Leptones

Mencionados antes en alguna otra parte de este trabajo, son partículas elementales que no tienen tamaño medible y no responden a la fuerza nuclear fuerte. Los electrones, los muones y las partículas tau, con sus correspondientes neutrinos: electrónico, muónico y tauónico, son leptones.

Para cada lepton hay una antipartícula equivalente. Los anti-leptones tienen una carga opuesta a los leptones; los antineutrinos, como los neutrinos, no tienen carga. El electrón, el muón y la partícula tau tienen todas una carga de -1. Estas tres partículas difieren unas de otras sólo en la masa: el muón es unas 200 veces más masivo que el electrón y la partícula tau es unas 35.600 veces más masiva que el electrón. Los leptones interaccionan por la interacción electromagnética y la interacción débil.

En anti-electrón es el positrón, predicho por Paul Dirac antes de su descubrimiento, y siendo gemelo del electrón, e^- , sólo se diferencia en la carga (e^+) que para el positrón es positiva, como su nombre indica.

Ley

Teoría de tal amplitud y aplicación invariable que su violación se considera imposible.

Ley de la conservación de la masa, de la energía, etc.

Línea de universo

Trayectoria seguida por un objeto en el espacio-tiempo. El hecho de que el espacio-tiempo sea cuatridimensional hace que las líneas de universo sean difíciles de visualizar, pero si el universo tuviera sólo una dimensión espacial y una temporal, podría dibujarse la línea de universo en un gráfico con el tiempo en el eje vertical y la distancia en el horizontal.

Una partícula en reposo con respecto al sistema de coordenadas tendría una línea de universo dirigida a lo largo del eje vertical, mientras que las partículas móviles tendrían líneas de universo que serían líneas rectas o curvas dirigidas hacia arriba. En el universo real, el camino de una partícula móvil es una línea curva en el espacio-tiempo.

En física se dice que línea de universo es la historia de una partícula representada en el espacio-tiempo. Ésto permite encontrar la posición de una partícula en el tiempo t cortando el espacio-tiempo en ese instante t y encontrando dónde corta la línea de uni-

verso de la partícula.

Los rayos de luz pueden ser tratados como las líneas de universo de los fotones. Las líneas de universo de las partículas sometidas a la influencia de un campo gravitacional son geodésicas en el espacio-tiempo. La línea de universo de un fotón cerca de una estrella, como el Sol, es ligeramente doblada debido a que la luz está siendo desviada por el campo gravitacional del Sol, como predice la teoría de la relatividad general de Einstein.

Liofilización

Proceso utilizado en la deshidratación de la comida, plasma sanguíneo y otras sustancias sensibles al calor. El producto es congelado y el hielo atrapado en él es retirado reduciendo la presión y haciendo que se sublime. El vapor de agua es entonces retirado, dejando un producto seco y sin dañar.

Lisura, problema de la

Enigma de por qué el universo no es espectacularmente abierto ni cerrado, sino perfectamente equilibrado entre estos estados.

En realidad, aún no sabemos (aunque lo sospechamos) en qué clase de universo vivimos, si es plano y abierto (universo de Einstein-de Sitter), o si es curvo y cerrado (universo de Friedman).

En todo caso, la resolución de este problema estará a nuestro alcance cuando seamos capaces de conocer, de manera fiable, la densidad crítica de nuestro universo, es decir; la cantidad de materia que contiene y la que podemos detectar es la materia bariónica que sólo es una pequeña parte de la que en realidad existe. ¡La ma-

teria oscura! Pero, ¿qué es esta misteriosa materia?

Local, Grupo

Grupo de galaxias con unos 3 millones de años-luz de diámetro que contiene a nuestra galaxia, la Vía Láctea. Existen 31 miembros confirmados en el Grupo local.

Las otras galaxias próximas (grupo de Sculptor y M81) se encuentran considerablemente más alejadas, a 9 millones de años-luz.

La masa total del Grupo Local se estima que es de $3 \text{ a } 5 \times 10^{12}$ masas solares. Los miembros más brillantes son las tres espirales: la galaxia de Andrómeda, nuestra Galaxia y M33. Unas pocas galaxias enanas esferoidales pueden permanecer ahí sin descubrir.

- Galaxia de Andrómeda (M31)
- Vía Láctea
- Galaxia de Triangulum (M33)
- Gran Nube de Magallanes
- IC 10
- M32 (NGC 221)
- NGC 6822 (Galaxia de Barnard)
- M110 (NGC 205)
- Pequeña Nube de Magallanes
- NGC 185
- NGC 145
- IC 1613
- Wolf-Lundmark-Melotte
- Enana de Fornax
- Enana de Sagittarius
- And I
- And II
- Leo I

- Enana de Aquarius (DD0210)
- Sagittarius (SagDIG)
- Enana de Sculptor
- Enana de Antlia
- And III
- LGS3
- Enana de Sextans
- Enana de Phoenix
- Enana de Tucana
- Leo II
- Enana de Ursa Minor
- Enana de Carina
- Enana de Dracon

La más cercana a la Vía Láctea es la Enana de Sagittarius, que está a 25 Kpc* de distancia, y la más lejana, IC 10, a 1.250 Kpc*. Andrómeda, la más parecida (algo mayor) a la Vía Láctea, está a 725 Kpc* de distancia.

Estas son nuestras galaxias vecinas que contienen cientos y cientos de miles de millones de estrellas. ¿Y planetas?

*La unidad básica de distancia estelar es el pársec, igual a 3'2616 años-luz. Para las distancias galácticas e intergalácticas se emplea el kilopársec (Kpc) y el megapársec (Mpc).

Mach, principio de

Hipótesis de que la inercia de los objetos es el resultado, no de la relación con el espacio absoluto newtoniano, sino con el reposo de la masa y la energía distribuidas por todo el universo.

Aunque no demostrado, y quizás indemostrable, el principio de Mach inspiró a Einstein para la elaboración de su teoría general de la relatividad.

También le debemos atribuir a Ernest Mach (1.838-1.916) lo

que se conoce como *número de Mach*, que está referido al cociente entre las velocidades relativas de un fluido y un cuerpo rígido y la velocidad del sonido en ese fluido bajo las mismas condiciones de temperatura y presión.

Si el número de Mach es mayor que uno, el fluido o cuerpo se mueve a velocidad supersónica. Si el número de Mach supera 5, se dice que es hipersónico.

Magnetón

Unidad para medir momentos magnéticos de imanes nucleares, atómicos o moleculares. El magnetón de Bohr, M_B , tiene el valor del momento magnético clásico del electrón, dado por:

$$M_B = eh/4\pi m_e = 9'274 \times 10^{-24} \text{ Am}^2$$

donde e y m_e son la carga y la masa del electrón y h es la constante de Planck.

El magnetón nuclear, M_N , se obtiene reemplazando la masa del electrón por la masa del protón, y está dada por:

$$M_N = M_B m_e / m_p = 5'05 \times 10^{-27} \text{ Am}^2$$

Masa

Medida de la cantidad de materia de un objeto.

La importancia de la masa en nuestro universo es tan grande que estoy obligado a dar una explicación algo más completa y pre-

cisa sobre ella.

Al decir masa nos estamos refiriendo también a la medida de la inercia de un cuerpo, es decir, su resistencia a la aceleración.

De acuerdo con las leyes de Newton del movimiento, si dos masas distintas m_1 y m_2 son hechas colisionar en ausencia de cualquier otra fuerza, ambas experimentan la misma fuerza de colisión. Si los dos cuerpos adquieren aceleraciones a_1 y a_2 como resultado de la colisión, entonces $m_1a_1 = m_2a_2$. Esta ecuación permite comparar dos masas. Si una de las masas se considera como una masa estándar, la masa de todas las demás puede ser medida comparándola con esta masa estándar. El cuerpo utilizado para este fin es un cilindro de un kilogramo de una aleación de platino iridio, llamado el *estándar internacional de masa*.

La masa definida de esta forma es llamada *masa inercial del cuerpo*.

Las masas también se pueden definir midiendo la fuerza gravitacional que producen. Por tanto, de acuerdo con la ley de gravedad de Newton,

$$m_g = Fd^2/MG$$

donde M es la masa de un cuerpo estándar situado a una distancia d del cuerpo de masa m_g ; F es la fuerza gravitacional entre ellos, y G es la constante gravitacional.

La masa definida de esta forma es la masa gravitacional. En el siglo XIX, Roland Eötvös (1.848-1.919) demostró experimentalmente que las masas iniciales y gravitatorias son indistinguibles, es decir,

$$m_i = m_g$$

Aunque la masa se define formalmente utilizando el concepto de inercia (Mach), es medida habitualmente por gravitación. El peso (W) de un cuerpo es la fuerza con que un cuerpo es atraído gravitacionalmente a la Tierra, corregida por el efecto de la rotación, y es igual al producto de la masa del cuerpo y la aceleración en caída libre (g), es decir, $W=mg$.

En el lenguaje común, el peso y la masa son frecuentemente usados como sinónimos; sin embargo, para fines científicos son muy diferentes. La masa es medida en kilogramos; el peso, siendo una fuerza, es medida en newtons. Es más, el peso depende de donde sea medido, porque el valor de g es distinto en diferentes puntos de la superficie de la Tierra. La masa, por el contrario, es constante donde quiera que se mida, sujeta a la teoría especial de la relatividad. De acuerdo con esta teoría, publicada por Albert Einstein en 1905, la masa de un cuerpo es una medida de su contenido total de energía. Por tanto, si la energía del cuerpo crece, por ejemplo por un aumento de su energía cinética o temperatura, entonces su masa también crece.

De acuerdo a esta ley, un incremento de energía ΔE está acompañado por un aumento de la masa Δm , en conformidad con la ecuación de masa-energía $\Delta m = \Delta E/c^2$, donde c es la velocidad de la luz. Por tanto, si un kilo de agua se eleva de temperatura en 100 K, su energía interna aumentará 4×10^{-12} Kg. Este es, por supuesto, un incremento despreciable y la actuación de masa energía es sólo significativa para energías extremadamente altas. Por ejemplo, la masa de un electrón es siete veces mayor si se mueve con relación a un observador al 99% de la velocidad de la luz, c .

La masa relativista es la masa de un cuerpo medida por un observador con respecto al cual ese cuerpo se mueve (el electrón de antes). De acuerdo con la teoría de Einstein, esta masa está dada por:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

donde m_0 es su masa en reposo y c es la velocidad de la luz. La masa relativista sólo difiere de la masa en reposo si su velocidad es una fracción apreciable de la velocidad de la luz. Si $V=c/2$, por ejemplo, la masa relativista es un 15% mayor que la masa en reposo.

Sin olvidar que $E=mc^2$ (energía y masa es la misma cosa).

Máser

Acrónimo de *Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (amplificación de microondas por emisión estimulada de radiación), el equivalente en microondas del láser. En un máser la radiación de una frecuencia determinada hace que los átomos, iones o moléculas excitados de un gas, emitan más radiación en la misma dirección y de igual longitud de onda, dando lugar a una amplificación. Los máseres artificiales se utilizan en radioastronomía como amplificadores de algunos receptores sensibles. Los radioastrónomos también estudian fuentes máser cósmicas que aparecen de manera natural en el espacio.

Materia oscura

Empezaré hablando de materia no bariónica como una forma hipotética de materia que no contiene bariones, es decir, ni protones ni neutrones. Un ejemplo serían los átomos positrón-electrón que pueden constituir la mayor parte del universo en el futuro muy distante si los protones se desintegran.

La materia no bariónica ha sido propuesta como posible componente de materia perdida del universo. En este caso podría tratarse de neutrinos, si tuvieran masa en reposo no nula, o de partículas hipotéticas llamadas *WIMPS* (partículas masivas débilmente interaccionantes).

Pero la materia oscura, propiamente dicha, es un material cuya presencia puede ser inferida por sus efectos sobre los movimientos de las estrellas y galaxias, aunque no puede ser observada directamente debido a que emite poca o ninguna radiación; también conocida como materia perdida.

Se piensa que al menos el 90% de la masa del universo se encuentra en alguna forma de materia oscura. Existen evidencias de materia oscura en las galaxias espirales en sus curvas de rotación. La existencia de materia oscura en los cúmulos ricos de galaxias puede ser deducida por los movimientos de las galaxias constituyentes (teorema del virial).

Una parte significativa de esta materia oscura puede encontrarse en forma de estrellas poco masivas (marrones) u objetos con masa del orden de la de Júpiter; dicha materia normal se describe como bariónica.

También puede existir materia oscura en el espacio existente entre las galaxias, y podría hacer aumentar la densidad media del universo hasta la densidad crítica requerida para invertir la expansión actual.

Si la teoría del Big Bang es correcta, debe existir gran proporción de materia oscura en forma no bariónica, quizás axiones, fotinos o neutrinos masivos, supervivientes de las etapas tempranas del Big Bang.

A todo esto, nunca he oído que se pueda señalar esa materia oscura desconocida e indetectable, como en origen de toda ella a lo

largo del universo, en los agujeros negros.

En realidad, nadie ha traspasado un horizonte de sucesos para visitar la singularidad de un agujero negro, allí donde la densidad y la energía son infinitos.

Si esa escandalosa densidad está ahí y produce una fuerza gravitatoria descomunal, entonces ¿por qué no pueden ser todos los agujeros negros del universo, los responsables de esa materia oscura que hace correr más a las galaxias mediante sus fuerzas gravitatorias conectadas las unas a las otras?

Materia oscura caliente. (Y fría).

Tipo particular de materia no bariónica que, de acuerdo con algunas teorías, fue creada en las primeras fases del Big Bang, y sobrevive hasta el presente en número suficiente como para contribuir de forma significativa a la densidad actual del universo.

El término caliente se refiere a que estas partículas se mueven rápidamente (a velocidades próximas a la de la luz), normalmente porque tienen una masa pequeña.

El candidato más favorable para dicha partícula (como mencionamos en el apartado anterior), es el neutrino, con una masa en reposo de unos 10 eV, que es 1/500.000 la masa del electrón.

Igualmente, en los mismos términos, nos podemos referir a la "materia oscura fría".

El término "frío" se refiere a que estas partículas se mueven a velocidades mucho menores que la de la luz, normalmente porque son pesadas.

Hay muchos posibles candidatos de materia oscura fría; como axiones, fotinos y agujeros negros primordiales (de baja masa y surgidos en el universo temprano).

La materia oscura fría ha ayudado a resolver aparentemente - hasta hace poco - algunos de los problemas sobre formación de galaxias y estructura a gran escala del universo.

No obstante, observaciones más recientes sugieren que las versiones más simples de este modelo, no son conectas.

En definitiva, con todo esto, nos estamos refiriendo en realidad a una "masa perdida", o "materia invisible" adicional cuyos efectos gravitatorios delatan su presencia, y que son necesarios para explicar las velocidades de rotación de las galaxias, y también para mantener a los cúmulos de galaxias unidos.

Sin la existencia de esta "materia invisible", las velocidades de las galaxias serían distintas; la densidad del universo sería muy diferente y... quién sabe, seguramente las constantes universales serían otras, y... en tal caso, ¿estaríamos nosotros aquí?.

Está claro que el sueño de todos los astrónomos, astrofísicos y cosmólogos del mundo, sería descubrir qué es, dónde está, y cómo se produjo esa materia oscura que sabemos que existe en grandes cantidades y sin embargo, no la podemos ver.

¡De nuevo nuestra ignorancia!

Materialismo

Creencia de que los objetos materiales y sus interacciones constituyen la realidad completa de todos los fenómenos, inclusive los fenómenos aparentemente insustanciales, como los pensamien-

tos y los sueños que en realidad, son el resultado de las conexiones eléctricas de nuestro cerebro, que siempre está activo, y aún en sueños, puede reflejar cuestiones de nuestra actividad cotidiana, de nuestros conocimientos, e incluso de ideas profundamente escondidas en la mente de cada uno de nosotros que aunque nos parezcan absurdos, en realidad relean nuestras preocupaciones, nuestros miedos e incluso nuestras ilusiones.

En los seres vivos racionales, lo material y lo espiritual van estrechamente unidos; lo uno contiene lo otro, que evolucionado en una parte muy concreta (el cerebro), crea lo que llamamos *alma*, que en realidad no es otra cosa que la amalgama de conocimientos y sentimientos que atesoramos a lo largo de nuestras vidas.

Adquirir un nuevo conocimiento de las cosas, profundizar en el saber de algo, nos produce una gran satisfacción.

Lograr hacer feliz a la persona amada (aun a costa de nuestro sacrificio personal) es una gran satisfacción.

Si conseguir el conocimiento nos cuesta el esfuerzo de la búsqueda, del estudio, del experimento, etc, y dar lo que desea o necesita el ser amado también nos cuesta un alto precio, ¿es que acaso somos masoquistas? Nada de eso; es que los seres humanos desde los tiempos más remotos saben a ciencia cierta una cosa: la vida se nos da para pagarla, y todo en ella tiene su precio. El saber sí ocupa lugar (muchas horas, días, semanas, meses y años de estudio). Si queremos conservar a la persona que amamos, día a día tenemos que ganar su cariño; nada está asegurado.

Otra vez me ha pasado; sin que me de cuenta de ello, de un tema me puedo pasar a otro y seguir, seguir, seguir como aquellas pilas. Perdonen Uds.

Mecánica

Ciencia que estudia las interacciones entre la materia y las fuerzas que actúan sobre ella. La estática se ocupa de la acción de las fuerzas cuando no hay cambios en el momento, mientras que la dinámica se ocupa de los casos en los que sí hay cambios en el momento. La cinemática es el estudio de los movimientos de los cuerpos sin referencia a las fuerzas que afectan al movimiento.

Estas ciencias clásicas se ocupan de los cuerpos macroscópicos en el estado sólido, mientras que la mecánica de fluidos es la ciencia de las interacciones entre fuerzas y fluidos.

También tenemos otras ramas de la mecánica, pero aquí (física, astronomía, cosmología), procede explicar sólo algunas.

Mecánica cuántica

Sistema de mecánica desarrollada a partir de la teoría cuántica, que en el año 1.900 predijo Max Planck (posteriormente desarrollada por Werner Heisemberg, el mismo Einstein, Schrödinger, Bohr, Dirac, Feynman y otros) y que es usada para explicar las propiedades y los fenómenos que están presentes en los átomos y moléculas de materia.

Usando el *cuanto de energía* como punto de partida, incorpora el principio de indeterminación de Heisemberg y la longitud de onda de De Broglie para establecer la dualidad onda-corpúsculo, en la cual está basada la ecuación de Schrödinger.

Esta forma de mecánica cuántica se llama *mecánica ondulatoria*. Un formalismo alternativo pero equivalente, es la mecánica matricial, basada en operadores matemáticos.

Einstein, basado en el trabajo de Planck sobre la radiación de cuerpo negro que se emitía por pequeños paquetes de energía de manera discontinua, a los que llamó *cuantos*, realizó uno de sus mejores trabajos y contribuciones a la ciencia, que todos conocen como "efecto fotoeléctrico", en el que llamó *fotón* al cuantito de luz, y fue precisamente por este trabajo, publicado en 1.905, por el que le concedieron el premio Nobel de física (cosa que no todos conocen), en lugar de por su teoría relativista. Su efecto fotoeléctrico ocurre en las frecuencias ultravioletas o superiores, pero para algunos materiales (que tienen bajas funciones de trabajo) ocurre con luz.

La energía cinética máxima del foto-electrón, E_m , está dada por la ecuación de Einstein

$$E_m = hf - \Phi$$

La mecánica matricial, como antes dije, es una variante de la mecánica cuántica pero usando matrices y constituyó la primera formulación de la mecánica cuántica (establecida por Werner Heisenberg en 1.925). Fue desarrollada por Heisenberg y Max Born y el físico alemán Pascual Jordan (1.902 - 1.980). Erwin Schrödinger demostró en 1.926 que era equivalente a la formulación de la mecánica ondulatoria de la mecánica cuántica en la que las partículas unas veces se comportan como ondas y otras veces como partículas.

Megapársec

Un millón de pársecs (10^6 pc)

Mesones

Mirar *hadrones*.

MeV

Un millón de electrón-voltios (10^6 eV)

Microondas

Radiación de radio con longitudes de onda de alrededor de 10^{-4} a 1 metro, iguales a 10^9 y 10^{13} hertzios.

Microondas de fondo

Referida a la radiación de fondo de microondas que inunda todo el universo como consecuencia de la *Gran Explosión* (Big Bang).

Es isótropa; es una emisión de radio de microondas proveniente de todas las direcciones y que corresponde a una curva de cuerpo negro. Sus propiedades coinciden con las predichas por la teoría del Big Bang, como habiendo sido generadas por fotones liberados del Big Bang cuando el universo tenía menos de un millón de años de antigüedad.

La teoría del Big Bang también supone la existencia de radiaciones de fondo de neutrinos y gravitatoria, aunque aún no existen los medios para detectarlas.

Cuando en casa ponemos la tele y no tenemos sintonizada ninguna emisora o canal, lo que aparece en la pantalla es lo que familiarmente llamamos *nieve*, que en realidad, es radiación de fondo de microondas captada por la antena de nuestra tele.

Minkowski, espacio de (continuo espacio-tiempo)

Geometría que incluye las tres dimensiones espaciales y una cuarta dimensión temporal. En física newtoniana, el espacio y el tiempo se consideraban como entidades separadas y el que los sucesos fueran simultáneos o no era materia que se consideraba como obvia para cualquier observador capacitado.

En el concepto de Einstein del universo físico, basado en el sistema de geometría inventado por H. Minkowski (1.864-1.909), el espacio y el tiempo estaban considerados como enlazados, de manera que dos observadores en movimiento relativo podían estar en desacuerdo sobre la simultaneidad de eventos distantes.

En la geometría de Minkowski, un suceso se considera como un punto de universo en un continuo de cuatro dimensiones.

H. Minkowski fue profesor de Einstein al que recordaba como el alumno vago y tarambana que no prestaba la atención debida en la clase. Sin embargo, cuando cayó en sus manos la publicación de la teoría de la relatividad especial, se dió cuenta al instante de que el universo tenía cuatro dimensiones, tres de espacio y una temporal, que le inspiró su geometría del espacio-tiempo.

Molécula

Parte más pequeña de un compuesto, estando una sustancia

formada por la combinación química de uno o más tipos de átomos. Por ejemplo, el agua está constituida por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno; por tanto, tiene la molécula H_2O .

Los átomos que conforman la molécula están unidos por las interacciones de sus electrones.

Momento angular

El producto de una masa por la velocidad angular de un objeto en rotación; similar al momento lineal.

En la mecánica cuántica, el momento angular está cuantizado, es decir, se mide en unidades indivisibles equivalentes a la constante de Planck, \hbar , dividida por 2π .

Monopolio magnético

Entidad magnética hipotética consistente en un polo norte o sur elemental aislado. Ha sido postulado como una fuente de campo magnético en analogía a la forma en que las partículas eléctricamente cargadas producen un campo eléctrico.

Se han diseñado numerosos experimentos ingeniosos para detectar los monopolos, pero hasta ahora, ninguno ha producido un resultado definitivo.

Los monopolos magnéticos son prácticos, y han sido predichos en ciertas teorías gauge con bosones de Higgs. En particular, algunas teorías de unificación y gran unificación predicen monopo-

los muy pesados (con masas del orden de 10^{16} GeV).

Los monopolos magnéticos también son predichos en las teorías de Kaluza-Klein, y en la teoría de supercuerdas.

Muón

Partícula de la familia de los leptones.

El muón es una copia exacta del electrón, excepto que es 207 veces más pesado que este.

Neutrinos

Partículas elementales con carga 0 y masa en reposo nula o casi nula. Los neutrinos viajan a muy altas velocidades que, si la masa en reposo es cero, igualan la velocidad de la luz.

Se clasifican como leptones y al igual que el grupo de electrones (electrón, muón y tau), los neutrinos conocidos son: neutrino electrónico, neutrino muónico y el neutrino tauónico.

Los neutrinos sólo tienen una interacción débil con la materia, y consecuentemente los neutrinos producidos en las reacciones nucleares de los centros de las estrellas pueden escapar sin colisionar con el material que está en su camino.

Ernest Rutherford descubrió que casi el 100 por 100 de la masa de un átomo estaba en el núcleo; el resto, más del 90% era espacio vacío, así que, los neutrinos, sin masa, atraviesan continuamente (miles de millones de ellos) el planeta Tierra y también

nuestros cuerpos, sin tocarlos.

El universo está inmerso en un mar de neutrinos que, desde las estrellas, salen despedidos por el espacio de manera isotrópica.

Neutrón

Partícula elemental presente en el núcleo de todos los átomos excepto en el isótopo más ligero del hidrógeno. Tiene una masa ligeramente mayor que el protón y carga 0.

Los neutrones son estables en los núcleos atómicos, pero fuera de ellos sufren desintegración beta para producir un protón, un electrón y un antineutrino. En la teoría hadrónica de Gell-Mann, los neutrones y protones están formados por 3 quarks, 1 quark *up* y 2 quarks *down*. Su masa es de 939'6 MeV.

Si está libre, fuera del núcleo atómico, su vida media es de quince minutos.

Descubierto por James Chadwick (1.891-1.974) en 1.932.

Neutrinos, estrella de

Objeto extremadamente pequeño y denso que se forma cuando una estrella masiva, al final de la secuencia principal (agotado su combustible nuclear), sufre una explosión de supernova del tipo II.

Durante la explosión, el núcleo de la estrella masiva se colapsa bajo su propia gravedad hasta que el núcleo de la estrella masiva queda comprimido a una densidad de 10^{17} Kg/m³. Los electrones y

los protones están tan juntos que pueden combinarse para formar neutrones.

El objeto resultante, consistente sólo en neutrones, se soporta frente a un mayor colapso gravitacional por la presión de degeneración de los neutrones, siempre que su masa no sea mayor que unas dos masas solares (límite de Oppenheimer-Volkoff).

Si el objeto fuese más masivo colapsaría hasta formar un agujero negro.

Una típica estrella de neutrones, con una masa poco mayor que la del Sol, tendría un diámetro de sólo unos 30Km; una densidad mucho mayor que la que habría en un terrón de azúcar con una masa igual al de toda la humanidad.

Cuanto mayor es la masa de una estrella de neutrones, menor es su diámetro.

Se cree que las estrellas de neutrones tienen un interior de neutrones superfluidos (es decir, neutrones que se compactan como un fluido de viscosidad 0), rodeados por una corteza sólida de más o menos 1 Km de grosor compuesta de elementos como el hierro.

Los púlsares son estrellas de neutrones magnetizadas en rotación que giran cada unos pocos segundos, siendo este el pulso que se detecta desde la Tierra y de ahí su nombre, *púlsar*.

Las binarias de rayos X masivas también se piensa que contienen estrellas de neutrones.

Newton

De símbolo N. Unidad del SI de fuerza, siendo la fuerza re-

querida para comunicar a una masa de 1 Kg una aceleración de 1 ms^{-2} .

Se llama así en honor a Sir Isaac Newton (1.642-1.727).

Newton, ley de gravitación de

Existe una fuerza de atracción entre dos cuerpos masivos cualesquiera en el universo. Para dos cuerpos puntuales de masa m_1 y m_2 separadas por una distancia d , la fuerza de atracción F está dada por:

$$F = m_1 m_2 G / d^2$$

donde G es la constante gravitacional.

Los cuerpos reales que tienen simetría esférica actúan como masas puntuales situadas en sus centros de masas.

I. Newton ha sido uno de los grandes científicos de la Historia de la Humanidad a la que él, con su genio y talento, ayudó a continuar avanzando. Sus contribuciones a la física, las matemáticas y la óptica son impagables.

Nodo

1. Física: punto de mínima perturbación en un sistema de ondas estacionarias.

2. Astronomía: cualquiera de los dos puntos en los que la órbita de un cuerpo celeste intercepta con un plano de referencia, habitualmente en el plano de la eclíptica o el ecuador celeste.

Notación binaria

Sistema de numeración que usa sólo dos dígitos diferentes, 0 y 1. En lugar de unidades, decenas, centenas, etc, como se usa en el sistema decimal, los dígitos en notación binaria representan unos, doses, cuatros, ochos, etc.

Por tanto, uno en notación binaria se representa por 0001; dos, por 0010; cuatro, por 0100; y ocho, por 1000.

Debido a que 0 y 1 se puede hacer corresponder con las condiciones de encendido y apagado de los circuitos eléctricos, la notación binaria es muy utilizada en ordenadores.

Nova

Estrella que durante el periodo de sólo unos pocos días, se vuelve 10^3 - 10^4 veces más brillantes de lo que era. Ocurren 10 ó 15 sucesos de ese tipo cada año en la Vía Láctea. Las novas se cree que son binarias próximas a las que uno de sus componentes es usualmente una enana blanca y la otra una gigante roja.

La materia se transfiere de la gigante roja a la enana blanca, en cuya superficie se acumula, dando lugar a una explosión termo-nuclear.

Núcleo

1. Corazón central de un átomo, que contiene la mayor parte de su masa. Está positivamente cargado y constituido por uno o más nucleones (protones y neutrones).

La carga positiva del núcleo está determinada por el número de protones que contiene (número atómico) y en el átomo neutro está compensado por un número igual de electrones, que se mueven alrededor del núcleo, y cuya carga eléctrica negativa anula o compensa a la positiva de los protones.

El núcleo más simple es el núcleo de hidrógeno, consistente en un único protón. Todos los demás núcleos contienen además uno o más neutrones.

Los neutrones contribuyen a la masa atómica, pero no a la carga nuclear.

El núcleo más masivo que se encuentra en la naturaleza es el uranio-238, que contiene 92 protones y 146 neutrones. El símbolo utilizado para este núclido es $^{238}_{92}U$, indicando el número superior el número de nucleones y el número inferior, el número atómico.

En todos los núcleos, el número de nucleones (A) es igual a la suma del número atómico (Z) y el número de neutrones (N); es decir:

$$A = Z + N$$

2. Barra o estructura de material magnético que aumenta la inductancia de la bobina a la cual atraviesa. Los núcleos son utilizados en transformadores, electroimanes y rotores o estátores de máquinas eléctricas. Puede estar constituido por metal laminado, por ferrita o por partículas ferromagnéticas comprimidas en una matriz de un aglomerante aislante (núcleo de polvo).

3. Parte interior de un reactor nuclear, donde tiene lugar la reacción nuclear.

4. Dispositivo que constituye la memoria en ciertos tipos de

ordenadores.

5. Parte central de una estrella o planeta.

6. El centro galáctico.

Nucleones

Protones y neutrones; los constituyentes de los núcleos atómicos.

Nucleosíntesis, nucleogénesis

Fusión de nucleones para crear los núcleos de nuevos átomos más complejos. La nucleosíntesis tiene lugar en las estrellas, y a un ritmo más acelerado en las supernovas.

La nucleosíntesis primordial tuvo lugar muy poco después del Big Bang, cuando el universo era extremadamente caliente, y ese proceso fue el responsable de la abundancia de elementos ligeros por todo el cosmos, como el helio y el hidrógeno, que en realidad es la materia primordial de nuestro universo. A partir de estos elementos se obtienen todos los demás en los procesos estelares de fusión.

Omega

Índice de densidad de materia del universo, definido como la razón entre la actual densidad y la densidad crítica requerida para

"cerrar" el universo y, con el tiempo, detener su expansión.

Para la materia oscura se dirá "omega negro".

Si omega es mayor que 1, el universo se detendrá finalmente y las galaxias recorrerán a la inversa el camino recorrido para colapsar en una gran bola de fuego, el Big Crunch; estaríamos en un universo cerrado.

Si omega es menor que 1, el universo será abierto. Nos expandiremos para siempre y, en tal caso, el alejamiento indefinido de las galaxias producirá el enfriamiento del cosmos hasta alcanzar una temperatura del cero absoluto (-273°C); la muerte técnica del universo.

Se dice que un universo con exactamente omega 1, la densidad crítica ideal, estará alrededor de 10^{-29} g/cm³ de materia, lo que está descrito por el modelo de universo de Einstein-de Sitter.

En cualquier caso, sea cual fuere omega, no parece muy atractivo el futuro de nuestro universo que, según todos los datos que tenemos, acabará en el hielo o en el fuego, y en cualquiera de estos casos... ¿dónde nos meteremos?

Onda, función

Función denotada por $\Psi(x,y,z)$, que es solución de la ecuación de Schrödinger en la mecánica cuántica. La función de ondas es una expresión matemática que depende de las coordenadas de una partícula en el espacio.

Si la función de ondas (ecuación de Schrödinger) puede ser resuelta para una partícula en un sistema dado (por ejemplo, un electrón en un átomo), entonces, dependiendo de las colisiones en

la frontera, la solución es un conjunto de soluciones, mejor de funciones de onda permitidas de la partícula (autofunciones); cada una correspondiente a un nivel de energía permitido.

El significado físico de la función de ondas es que el cuadrado de su valor absoluto en un punto, $|\Psi|^2$, es proporcional a la probabilidad de encontrar la partícula en un pequeño elemento de volumen, $dxdydz$, en torno a ese punto. Para un electrón de un átomo, ésto da lugar a la idea de orbitales atómicos moleculares.

$$\nabla^2\Psi + 8\pi^2m(E-U)\Psi/h^2 = 0$$

donde Ψ es la función de ondas, ∇^2 es el operador Laplace, h es la constante de Planck, m es la masa de la partícula, E la energía total y U la energía potencial.

Onda-partícula, dualidad

Principio en virtud del cual las ondas que transportan energía pueden tener un aspecto corpuscular y las partículas pueden tener un aspecto ondulatorio. Cuál de los dos modelos es el más apropiado dependerá de las propiedades que el modelo busca explicar.

Por ejemplo, las ondas de radiación electromagnéticas deben ser imaginadas como partículas, llamadas fotones, para explicar el efecto fotoeléctrico, mientras que los electrones necesitan ser imaginados como ondas de De Broglie en la difracción de electrones.

Ondas

Propagación de la energía mediante una vibración coherente.

Está referido a la perturbación periódica en un medio o en el espacio. En una onda viajera (u onda progresiva) la energía es transferida de un lugar a otro por las vibraciones.

En una onda que atraviesa la superficie del agua, por ejemplo, el agua sube y baja al pasar la onda, pero las partículas del agua en promedio no se mueven. Este tipo de onda se denomina onda transversal, porque las perturbaciones están en ángulo recto con respecto a la dirección de propagación. La superficie del agua se mueve hacia arriba y abajo mientras que la onda viaja a lo largo de la superficie del agua.

Las ondas electromagnéticas son de este tipo con los campos eléctricos y magnéticos, variando de forma periódica en ángulo recto entre sí y a la dirección de propagación.

En las ondas de sonido, el aire es alternativamente comprimido y rarificado por desplazamiento en la dirección de propagación. Dichas ondas se llaman longitudinales.

Las principales características de una onda es su velocidad de propagación, su frecuencia, su longitud de onda y su amplitud. La velocidad de propagación es la distancia cubierta por la onda en la unidad de tiempo. La frecuencia es el número de perturbaciones completas (ciclos) en la unidad de tiempo, usualmente expresada en hertzios. La longitud de onda es la distancia en metros entre puntos sucesivos de igual fase de onda. La amplitud es la diferencia máxima de la cantidad perturbada medida con referencia a su valor medio.

Generalmente, la amplitud (a) es la mitad del valor entre picos. Existe una relación simple entre la longitud de onda (λ) y la frecuencia (f): $\lambda = c/f$, donde c es la velocidad de propagación. La energía transferida por la onda sinuosidad progresiva y es proporcional a a^2f^2 .

Pronto oiremos que Kip S. Thorne ha detectado y medido las ondas gravitacionales de los agujeros negros.

Las ondas gravitacionales son aquellas que se propagan a través de un campo gravitacional.

La predicción de que una masa acelerada radia ondas gravitacionales (y pierde energía) proviene de la teoría general de la relatividad.

En la actualidad, se están desarrollando experimentos encaminados a detectar y medir estas ondas y a la cabeza del proyecto, como he dicho, está el experto en agujeros negros, el físico y cosmólogo norteamericano amigo de Stephen Hawking, Kip S. Thorne, que está buscando las pulsaciones de estos monstruos del espacio, cuya energía infinita (según él) algún día podrá ser aprovechada por la humanidad cuando la tecnología lo permita.

Aunque podríamos continuar hablando sobre onda continua, onda cósmica, onda cuadrada, onda de choque, onda de espín (magnón), onda de tierra, onda estacionaria, onda ionosférica, onda portadora, onda sinuosidad, onda viajera, onda sísmica, onda submilimétrica, onda de ecuación, etc, sería salirse del objeto perseguido aquí, así que mejor lo dejamos en este punto.

Oort, nube de; constante de

La nube de Oort está referida a un halo aproximadamente esférico de núcleos cometarios que rodea al Sol hasta quizás unas 100.000 UA* (más de un tercio de la distancia a la estrella más próxima). Su existencia fue propuesta en 1.950 por J. H. Oort (1.900-1.992), astrónomo holandés, para explicar el hecho de que estén continuamente acercándose al Sol nuevos cometas con órbi-

tas altamente elípticas y con todas las inclinaciones.

La nube Oort sigue siendo una propuesta teórica, ya que no podemos en la actualidad detectar cometas inertes a tan grandes distancias. Se estima que la nube contiene unos 10^{12} cometas restantes de la formación del Sistema Solar. Los miembros más distantes se hallan bastante poco ligados por la gravedad solar.

Puede existir una mayor concentración de cometas relativamente cerca de la eclíptica, a 10.000 - 20.000 UA* del Sol, extendiéndose hacia adentro para unirse al Cinturón de Kuiper. Los cometas de la Nube de Oort se ven afectados por la fuerza gravitatoria de las estrellas cercanas, siendo perturbadas ocasionalmente poniéndolos en órbitas que los llevan hacia el Sistema Solar interior.

La constante de Oort está referida a dos parámetros definidos por J. H. Oort para describir las características más importantes de la rotación diferencial de nuestra galaxia en la vecindad del Sol. Son usualmente expresadas en unidades de kilómetros por segundo por kilopársec. Los dos parámetros están dados por los símbolos A y B . Restando B de A se obtiene la velocidad angular del estándar local de reposo alrededor del centro de la galaxia, que corresponde al periodo de unos 200 millones de años.

*UA: Unidad Astronómica, que es la distancia que nos separa del Sol y vale 150.000.000 Km.

Órbita

En astronomía es el camino a través del espacio de un cuerpo celeste alrededor de otro. Para un cuerpo pequeño que se mueve en el campo gravitacional de otro, la órbita es una cónica. La mayoría de esas órbitas son elípticas y la mayoría de las órbitas planetarias en el Sistema Solar son casi circulares. La forma y tamaño de una

órbita elíptica se determina por su excentricidad, e , y la longitud de su semieje mayor, a .

En física, la órbita esta referida al camino de un electrón al viajar alrededor del núcleo del átomo.

Paradoja de los gemelos

La paradoja es una proposición contradictoria. Las paradojas son más útiles cuando parece más probable que sean verdaderas, pues es entonces cuando mejor sirven para revelar los efectos de los datos o el razonamiento que originó su aparición.

Dicho lo anterior, pasemos a explicar la paradoja de los gemelos que surgió de la teoría de la relatividad especial de Einstein.

Si uno de un par de gemelos permanece en la Tierra mientras que el otro gemelo hace un viaje a las estrellas distantes a velocidades cercanas a la de la luz y a continuación regresa a la Tierra, los gemelos habrán envejecido de forma diferente.

El gemelo que permanece sobre la Tierra habrá envejecido considerablemente más que el gemelo viajero de las estrellas.

Esta paradoja puede explicarse por la geometría de Minkowski (espacio-tiempo). La línea de universo del gemelo que permaneció en casa corría más rápida en el tiempo que la línea de universo del gemelo que viajó a la velocidad próxima a la de la luz que, ralentizó el tiempo en un factor

$$\sqrt{1 - (v^2 / c^2)}$$

que demuestra que el tiempo transcurrido para el gemelo que

permanece sobre la Tierra es mayor que el transcurrido para el gemelo astronauta que, por los efectos relativistas de la velocidad más alta, ha sido frenado y transcurre más lentamente.

Es curioso que el propio gemelo viajero y sus compañeros de viaje no se den cuenta de que su tiempo es más lento. Ellos miran sus relojes y ven como sus manecillas se mueven como siempre, pero en realidad no es así; dentro de la nave todo marcha y se mueve a cámara lenta, sin embargo, sólo puede ser detectado por un observador exterior que pudiera estar contemplándolos desde fuera.

La relatividad especial y sus curiosas consecuencias debidas a la velocidad han sido más que comprobadas en múltiples experimentos, como por ejemplo el aumento de masa de los cuerpos que viajan a estas velocidades relativistas (comprobado por el aumento de masa de un muón en el acelerador de partículas). Es la consecuencia de $E=mc^2$ (energía igual a masa).

Paralaje

Desplazamiento aparente de un objeto distante (con respecto a un fondo aún más distante) cuando se observa desde dos posiciones diferentes. Si dicho objeto se observa desde dos puntos en los dos extremos de una línea, que forma la base, el ángulo entre líneas que unen al objeto y los extremos de la línea de la base es el ángulo de paralela.

Si la línea de la base es la distancia entre los dos ojos de un observador, el ángulo se llama paralaje binocular.

Podemos decir que es el desplazamiento angular en la posición aparente de un cuerpo celeste cuando se observa desde dos puntos diferentes. La paralaje diurna resulta de la rotación diaria de la Tierra, siendo el cuerpo celeste observado desde la superficie de

la Tierra en vez de desde dentro de su centro. La paralaje anual es causada por el movimiento de la Tierra alrededor del Sol, siendo el cuerpo celeste observado desde la Tierra en vez desde el centro Sol. La paralaje secular está causada por el movimiento del Sistema Solar relativo a las estrellas fijas.

Pársec

De símbolo pc. Unidad básica de distancia estelar, correspondiente a una paralaje trigonométrica de un segundo arco (1"). En otras palabras, es la distancia a la que una unidad astronómica subtende un arco de un segundo en su ángulo.

El pársec es igual a 3'2616 años-luz, 206.265 UA, o $30'857 \times 10^{12}$ Km.

Para las distancias a escalas galácticas e intergalácticas, se emplea el kilopársec (Kpc) y el megapársec (Mpc).

Partícula alfa

(Partícula α). Núcleo de helio-4 emitido por un núcleo mayor durante el curso de un tipo de desintegración nuclear, conocido como desintegración alfa. Como un núcleo de helio-4 está constituido por dos protones y dos neutrones ligados como una entidad estable, la pérdida de una partícula alfa implica un descenso de 4 en el número másico y de 2 en el número atómico, como ocurre por ejemplo, en la desintegración del núcleo de uranio-238 en un núcleo de torio-234. Un haz de partículas alfa se conoce como un rayo alfa o radiación alfa.

Partícula beta

(Partícula β). Partícula emitida en una desintegración beta, o bien un electrón o bien su antipartícula, el positrón.

Partícula elemental

Constituyente fundamental de la materia; también conocido como partícula subatómica. Las partículas elementales se dividen en dos clases principales o familias, hadrones (bariones y mesones) y leptones.

Los hadrones bariones están compuestos por partículas aún más pequeñas que se llaman quarks, de manera que protones y neutrones están hechos por 3 quarks, mientras que los hadrones mesones, como los kaones y piones están formados por dos quarks.

Los leptones, que no están compuestos por quarks y que aparentemente no poseen estructura interna, son el electrón, muón y partícula tau, todas con sus correspondientes neutrinos, electrónico, muónico y tauónico.

Todas estas partículas, tanto leptones como hadrones, tienen su antipartícula, como por ejemplo el positrón que es la antipartícula del electrón.

Las partículas elementales tienen como propiedades su carga, su espín y su masa en reposo. Pueden clasificarse por las interacciones en las que participan. Los hadrones participan en las interacciones fuertes y débiles y, si tienen carga, también en las electromagnéticas. Los leptones no participan en las interacciones fuertes.

Los quarks: *up, down, charmed, strange, top y bottom* se de-

notan por *u*, *d*, *c*, *s*, *t* y *b*. Tienen todos sus antiquarks que se denominan igual pero con una raya horizontal encima, por ejemplo up (*u*) sería \bar{u} .

Los quarks tienen cargas que son fracciones de la carga electrónica (+2/3 ó -1/3 de la carga electrónica). Aparecen en seis sabores (sin conexión con el gusto). Un protón esta formado por *uud* (dos quarks *up* y uno *down*).

Con el fin de evitar conflictos con el principio de exclusión de Pauli, se ha probado que es necesario añadir el concepto de carga de color a los seis sabores, así cada sabor de quarks aparece en los tres colores primarios, rojo, verde y azul.

La teoría de quarks completamente elaborada está ahora bien establecida por evidencias experimentales, pero ni los quarks ni los gluones han sido identificados nunca en los experimentos, y siendo así la teoría establecida en los años 60 por Murray Gell-Mann, está pendiente de verificación.

Existen más de doscientas partículas elementales y dar aquí las propiedades y nombres de todas ellas seguramente nos ocuparía todo el cuaderno, así que como una reseña de lo que son las partículas elementales, está bien así.

Partícula lambda

(Partícula λ). Barión de espín 1/2 eléctricamente neutro compuesto de un quark *up*, un quark *down* y un quark *strange*. La masa de la partícula lambda es de 1115'60 MeV y su tiempo de vida medio, $2'6 \times 10^{-10}$ s.

Partícula omega menos

(Partícula Ω^-). Barión de espín 3/2 formado por tres quarks *strange*. La existencia de la partícula Ω^- , así como sus propiedades, fue predicha por el físico norteamericano Murray Gell-Mann (1.929-) en 1.962 como parte de un esquema para clasificar bario-nes, llamado la óctuple vía. La partícula Ω^- fue más tarde descubierta experimentalmente, demostrando así la validez de la óctuple vía. Este descubrimiento fue históricamente muy importante en la comprensión teórica de las interacciones fuertes. La masa de la partícula omega menos es de 1672'6 MeV y su vida media es $0'8 \times 10^{-20}$ s. Esta partícula tiene una carga eléctrica de -1.

Partícula psi

(Partícula J). Mesón descubierto en 1.974 que dio lugar a la extensión del modelo quark y a la hipótesis de que existía un cuarto quark con la propiedad del encanto. Esta partícula se cree que está constituida por un quark *charmed* y su antiquark.

Partícula sigma

Barión de espín 1/2. Hay tres tipos de partículas sigma, denotados Σ^- , Σ^+ y Σ^0 , para la forma cargada negativamente, positivamente y neutra, respectivamente. La sigma tiene un contenido en quarks para la menos *dds*, para la neutra *dus*, y para la más *uus*. Las masas son: 1189'36 MeV para la sigma más, 1192'46 MeV para la sigma neutra, y 1197'34 MeV para la sigma menos; sus vidas medias son iguales a las de psi y omega menos, a excepción de la sigma neutra que es de 10^{-20} s.

Partícula tau

Es uno de los componentes de la familia de los leptones que está compuesta por el electrón, el muón y la partícula tau, todas ellas acompañadas por sus respectivos neutrinos asociados, el neutrino electrónico, el neutrino muónico y el neutrino tauónico. La partícula tau es exacta al electrón, a excepción que es 35.600 veces más masiva. Su carga, como la de sus hermanas el electrón y el muón, es negativa, de -1.

Partícula virtual

Par partícula-antipartícula que aparece de la nada y luego se aniquila rápidamente sin liberar energía. Las partículas virtuales pueblan la totalidad del espacio en enormes cantidades, aunque no pueden ser observadas directamente.

En estos procesos no se viola el principio de conservación de la masa y la energía siempre que las partículas virtuales aparezcan y desaparezcan lo suficientemente rápido como para que el cambio de masa o energía no pueda ser detectado. No obstante, si los miembros de una partícula virtual se alejan demasiado como para volverse a juntar, pueden convertirse en partículas reales, según ocurre en la radiación Hawking de un agujero negro; la energía requerida para hacer a las partículas reales es extraída del agujero negro.

La vida media de una partícula virtual aumenta a medida que disminuye la masa o energía involucrada. Así pues, un electrón y un positrón pueden existir durante unos 4×10^{-21} s, aunque un par de fotones de radio con longitud de onda de 300.000 Km pueden vivir hasta un segundo.

En realidad, lo que llamamos espacio vacío, está rebosante de

partículas virtuales que bullen en esa "nada" para surgir y desaparecer continuamente en millonésimas de segundo. ¡Los misterios del universo!

Píón

(Mesón π). Partícula elemental clasificada como mesón. Existe en tres formas: neutra, positiva y negativamente cargada. Los piones cargados se desintegran en muones y neutrinos; el píón neutro se desintegra en dos fotones de rayos gamma.

Planck, constante de

De símbolo h . Max Karl Ernest Ludwig Planck (1.858-1.947), físico alemán, fue uno de los grandes en la historia de la física. En el año 1.900, publicó un artículo de ocho páginas que sentó las bases de la mecánica cuántica. El trabajo trataba sobre la radiación de cuerpo negro (ley de Planck).

La constante de Planck es igual al cociente entre la energía E de un cuanto de energía y su frecuencia v : $E=hv$. Su valor es de $6'626176 \times 10^{-34}$ Js.

En física de partículas es más frecuente utilizar la constante de Planck racionalizada: $\hbar = h/2\pi = 1'054589 \times 10^{-34}$ Js.

La radiación de Planck que nos da la distribución de energía radiada por un cuerpo negro en paquetes discretos, discontinuos, que llamó cuantos, es:

$$I_v = 2hv^3c^{-2} / [\exp(hv/kT) - 1]$$

Planck, Era de

En la teoría del Big Bang, fugaz periodo de tiempo entre el propio Big Bang y el llamado tiempo de Planck, cuando el universo tenía 10^{-43} segundos de edad y la temperatura era de 10^{34} K.

Durante este periodo, se piensa que los efectos de la gravedad cuántica fueron dominantes. La comprensión teórica de esta fase es virtualmente inexistente.

Planck, longitud de

Escala de longitud a la que la descripción clásica de la gravedad deja de ser válida y debe ser tenida en cuenta la mecánica cuántica.

Está dada por $L_p = \sqrt{(G\hbar/c^3)}$, donde G es la constante gravitacional, \hbar es la constante de Planck racionalizada y c es la velocidad de la luz. Su valor es del orden de 10^{-35} m (veinte órdenes de magnitud menor que el tamaño del protón 10^{-15} m).

Planck, masa de

Masa de una partícula cuya longitud de onda Compton es igual a la longitud de Planck. Está dada por:

$$m_p = \sqrt{\hbar c / G}$$

donde \hbar es la constante de Planck racionalizada, c es la velocidad de la luz y G es la constante gravitacional. La descripción de una partícula elemental de esta masa, o partículas que interaccio-

nan con energías por partícula equivalente a ella (a través de $E=mc^2$), requiere una teoría cuántica de la gravedad.

Como la masa de Planck es del orden de 10^{-8} Kg (equivalente a una energía de 10^{19} GeV) y, por ejemplo, la masa del protón es del orden de 10^{-27} Kg y las mayores energías alcanzables en los aceleradores de partículas actuales son del orden de 10^3 GeV, los efectos de gravitación cuántica no aparecen en los laboratorios de física de partículas. Sin embargo, en el universo primitivo las partículas tenían energías del orden de la masa de Planck, de acuerdo con la teoría del Big Bang y es, por tanto, necesaria una teoría cuántica de la gravedad para estudiar las condiciones ahí.

Planck, tiempo de

Otra de las unidades de Planck, que está referida al tiempo que necesita un fotón (viajando a la velocidad de la luz, c) para moverse a través de una distancia igual a la longitud de Planck.

Está dada por $t_p = \sqrt{G\hbar/c^5}$, donde G es la constante de gravedad y \hbar es la constante de Planck racionalizada; c , como en las anteriores, es la velocidad de la luz en el vacío.

El valor del tiempo de Planck es del orden, de 10^{-43} s. En la cosmología del Big Bang, hasta un tiempo t_p después del instante inicial, es necesario usar una teoría cuántica de la gravedad (como ya dije antes) para describir la evolución del universo.

Aquí, antes de finalizar esta reseña, quiero recordar las unidades de Stoney, a quien Planck seguramente le debe algo.

Planck, unidades de

Sistema de unidades, usado principalmente en teorías cuánticas de la gravedad, en que longitud, masa y tiempo son expresadas en múltiplos de la longitud, masa, y tiempo de Planck, respectivamente.

Ésto equivale a fijar la constante gravitacional, la velocidad de la luz y la constante de Planck racionalizada iguales todas a la unidad. Todas las cantidades que tienen dimensiones de longitud, masa y tiempo se vuelven adimensionales en unidades de Planck. Debido a que en el contexto donde las unidades de Planck son usadas es normal emplear unidades gaussianas o unidades de Heaviside-Lorentz para las cantidades electromagnéticas, éstas también se vuelven adimensionales.

Plasma

Según algunos, el cuarto estado de la materia que consiste en electrones y otras partículas subatómicas sin ninguna estructura de un orden superior a la de los núcleos atómicos.

Se trata de un gas altamente ionizado en el que el número de electrones libres es aproximadamente igual al número de iones positivos. Como dije antes, a veces descrito como el cuarto estado de la materia, el plasma aparece en el espacio interestelar, en las atmósferas de las estrellas (incluyendo el Sol), en tubos de descarga y en reactores nucleares experimentales.

Debido a que las partículas en un plasma están cargadas, su comportamiento difiere en algunos aspectos a un gas. El plasma puede ser creado en un laboratorio calentando un gas a baja presión hasta que la energía cinética media de las partículas del gas sea comparable al potencial de ionización de los átomos o moléculas

de gas. A muy altas temperaturas, del orden de 50.000 K en adelante, las colisiones entre las partículas del gas causan una ionización en cascada de este. Sin embargo, en algunos casos, como en lámparas fluorescentes, la temperatura permanece muy baja al estar las partículas del plasma continuamente colisionando con las paredes del recipiente, causando enfriamiento y recombinación. En esos casos, la ionización es sólo parcial y requiere un mayor aporte de energía.

En los reactores termonucleares, es posible mantener una enorme temperatura del plasma confinándolo lejos de las paredes del contenedor, usando campos electromagnéticos.

El estudio de los plasmas se conoce como física de plasmas y en el futuro, dará muy buenos beneficios utilizando en nuevas tecnologías como la nanotecnología, que se nos viene encima y será el asombro del mundo.

Pluralidad de mundos

Hipótesis de que el universo contiene otros planetas habitados aparte de la Tierra.

Desde tiempos inmemoriales, grandes pensadores de los siglos pasados, dejaron constancia de sus pensamientos y creencia de que, allá arriba, en los cielos, otras estrellas contenían mundos con diversidad de vida, como en el planeta Tierra. Tales ideas han acompañado al hombre que, no en pocas oportunidades, fueron tachados de locos.

Hoy, con los conocimientos que poseemos, lo que sería una locura es precisamente pensar lo contrario, ¡que estamos solos!

La Vía Láctea (una sola galaxia de los cientos de miles de mi-

llones que pueblan el universo), tiene más de 100.000 millones de estrellas, miles de millones de Sistemas Solares, cientos de miles de planetas, muchos miles y miles de estrellas como el Sol de tamaño mediano, amarillas de tipo G.

¿Cómo podemos pensar que sólo el planeta Tierra alberga vida?

Protoestrella

Estrella en la fase más temprana de su vida, condensándose a partir de una nube de gas y polvo, antes del comienzo de la combustión nuclear. Su masa aumenta durante unos 100.000 años a medida que cae materia en ella de la nube circundante.

Una protoestrella no es visible a longitudes de onda ópticas porque el material que cae la oscurece, aunque es brillante en longitudes de onda infrarrojas.

Protogalaxia

Galaxia en proceso de formación. A pesar de la enorme técnica y sofisticación de los aparatos con que contamos para la observación del cosmos, no se ha podido encontrar ninguna protogalaxia cercana, lo cual indica que todas o la mayoría de las galaxias se formaron hace mucho tiempo.

Protón

Partícula masiva del grupo o familia de los hadrones que se

clasifica como barión. Está hecho por dos quarks *up* y un quark *down* y es, consecuentemente, una partícula masiva con 938'3 MeV, algo menos que la del neutrón. Su carga es positiva y su lugar está en el núcleo de los átomos, por lo que se les llama de manera genérica con los neutrones con la denominación de nucleones.

Púlsar

Fuente de radio desde la que se recibe un tren de pulsos altamente regular. Han sido catalogados más de 600 púlsares desde que se descubriera el primero en 1.976. Los púlsares son estrellas de neutrones en rápida rotación, con un diámetro de 20-30 Km. Las estrellas se hallan altamente magnetizadas (alrededor de 10^8 teslas), con el eje magnético inclinado con respecto al eje de rotación. La emisión de radio se cree que surge por la aceleración de partículas cargadas por encima de los polos magnéticos.

A medida que rota la estrella, un haz de ondas de radio barre la Tierra, siendo entonces observado el pulso, de forma similar a un faro.

Los periodos de los pulsos son típicamente de 1 s, pero varían desde los 1'56 ms (púlsares de milisegundo) hasta los 4'3 s. Estos periodos rotacionales van decreciendo a medida que la estrella pierde energía rotacional, aunque unos pocos púlsares jóvenes son propensos a súbitas perturbaciones conocidas como ráfagas.

Las medidas precisas de tiempos en los púlsares han revelado la existencia de púlsares binarios, y un púlsar, PSR 1257+12, se ha demostrado que está acompañado de objetos de masa planetaria. Han sido detectado objetos ópticos (destellos) procedentes de unos pocos púlsares, notablemente los púlsares del Cangrejo y Vela.

Se crean en explosiones de supernovas de estrellas supergi-

gantes y otros a partir de enanas blancas. Se piensa que puedan existir cien mil en la Vía Láctea.

Quark

Partícula elemental que se constituyen en tripletes para formar hadrones, tales como los báriones llamados protones y neutrones, mientras que los hadrones llamados mesones, están formados por un quark y un antiquark.

En la teoría quark, por tanto, las únicas partículas elementales son los leptones y los quarks. Al contrario que los protones y electrones que poseen cargas exactamente iguales en valor absoluto pero de signos opuestos, los quarks tienen cargas que son fracciones de la carga electrónica (+2/3 ó -1/3).

Los quarks aparecen en seis sabores (sin conexión con el gusto):

- up (u ; +2/3 de carga).
- down (d ; -1/3).
- charmed (c , +2/3).
- strange (s ; -1/3).
- top (t ; +2/3), y,
- botton (b ; -1/3).

El protón, siendo un bárion, está constituido por tres quarks, uud ($2/3+2/3-1/3=1$) y el neutrón por udd ($2/3-1/3-1/3=0$).

Dejo aquí la explicación de los quarks para no complicar en demasiado la cuestión, ya que ahora tendríamos que entrar a explicar los sabores y los colores, lo cual, para un no versado en estas cuestiones no resultaría fácil de entender, y este glosario no es para expertos.

De todas las maneras no quiero dejar pasar la oportunidad de dejar aquí mi idea, muy particular, de que más allá de los quarks, existen partículas cien mil veces más pequeñas que, como filamentos dorados y vibrantes, se mueven a la velocidad de la luz y, para mí, serán las auténticas partículas elementales de la materia, claro que, de momento, no existen medios ni energías capaces de comprobar este hecho. Pero ahí queda la idea.

Quasars

Objeto con un alto desplazamiento al rojo y con apariencia de estrella, aunque es probablemente el núcleo activo muy luminoso de una galaxia muy distante.

El nombre es una contracción del inglés *quasi stellar*, debido a su apariencia estelar. Los primeros quasars descubiertos eran intensas fuentes de radio.

Debido a las grandes distancias indicadas por el desplazamiento al rojo del núcleo debe ser hasta 100 veces más brillante que la totalidad de una galaxia normal. Además, algunos quasars varían en brillo en una escala de tiempo de semanas, indicando que esta inmensa cantidad de energía se origina en un volumen de unas pocas semanas-luz de longitud. La fuente puede, por tanto, ser un disco de acreción alrededor de un agujero negro de 10^7 o 10^8 masas solares.

El primer quasar en ser identificado como tal, en 1.963, fue la radiofuent 3C 273 con un desplazamiento al rojo de 0'158, siendo todavía el quasar más brillante ópticamente hablando observado desde la Tierra, con magnitud 13. Miles de quasar han sido descubiertos desde entonces. Algunos tienen desplazamiento al rojo tan grandes como 4'9, implicando que lo vemos tal como eran cuando

el universo tenía sólo una décima parte de la edad actual.

En esta brevísimaa reseña no puede dejar constancia de todo lo que se sabe sobre quasars, sin embargo, dejamos los rasgos más sobresalientes para que el lector obtenga un conocimiento básico de estos objetos estelares.

Para finalizar la reseña diré que algunas galaxias aparentemente normales pueden contener remanentes de actividad quasar en sus núcleos, y algunas galaxias Seyfert y galaxias Markarian tienen núcleos que son intrínsecamente tan brillantes como algunos quasars.

Existen algunas evidencias de que los quasars aparecen en los núcleos de las espirales, y es esa interacción con una galaxia vecina la que proporciona gas o estrellas al núcleo formado por un agujero negro masivo, alimentando así la emisión del quasar. Salvo mejor parecer.

Radiación cósmica de fondo

Antes hemos comentado por alguna parte que se trata de emisión radio de microondas proveniente de todas las direcciones (isotrópica) y que corresponde a una curva de cuerpo negro.

Estas propiedades coinciden con las predichas por la teoría del Big Bang, como habiendo sido generada por fotones liberados del Big Bang cuando el universo tenía menos de un millón de años (*universo bebé*) de antigüedad.

La teoría del Big Bang también supone la existencia de radiaciones de fondo de neutrinos y gravitatoria, aunque aun no tenemos los medios para detectarlas. Sin embargo, los indicios nos confirman que la teoría puede llevar todas las papeletas para que le toque

el premio.

Últimamente se ha detectado que la radiación de fondo no está repartida por igual por todo el universo. ¡Ya veremos!

Radiación, teoría cuántica de la

Teoría que estudia la emisión y la absorción de fotones de radiación electromagnética por los sistemas atómicos usando la mecánica cuántica. Los fotones son emitidos por los átomos cuando hay una transición de un estado excitado al estado fundamental.

Si un átomo se expone a una radiación electromagnética externa puede haber una transición desde el estado fundamental a un estado excitado por absorción de un fotón

Un átomo excitado puede perder la energía que ha ganado por emisión estimulada. La teoría cuántica de la radiación fue indicada por Einstein en 1.916-17, como una extensión de la ley de radiación de Planck, con la deducción de los coeficientes de Einstein.

La teoría cuántica de la radiación es la base de la teoría que subyace en el funcionamiento de los láseres y máseres (gracias a Einstein).

Radiactividad

Desintegración espontánea de ciertos núcleos atómicos acompañada de la emisión de partículas alta (núcleos de helio), partículas beta (electrones, positrones) o radiación gamma (ondas electromagnéticas).

La radiactividad natural es el resultado de la desintegración espontánea de radioisótopos que aparecen en la naturaleza.

Muchos radioisótopos pueden ser clasificados dentro de tres series radiactivas. El ritmo de desintegración no está influenciado por los cambios químicos o por cambios normales en el entorno. Sin embargo, la radiactividad puede estar inducida en muchos núcleos mediante bombardeo de neutrones u otras partículas.

Es fascinante profundizar en los efectos que pueden causar en algunos elementos la radiación o radiactividad natural; en el uranio, por ejemplo, que como consecuencia de ella en 14.000 años se convierte en plomo. Deja de ser lo que era y se transforma en otra cosa diferente. ¿Evolución?, ¿entropía?, ¿los misterios que, incansable, perseguimos?

Radiométrica, datación

La datación por radiocarbono es la determinación de la edad de una sustancia que contiene carbono radiactivo por medio de su vida media radiactiva.

La radiación-métrica o radiométrica para datar es la que determina la edad de objetos (como por ejemplo, de las rocas de la Tierra y la Luna) mediante la vida media de los elementos inestables que contienen.

Por estos sistemas se han datado rocas con una edad de 3.500 millones de años (casi la edad total de la Tierra).

Rayos X

Radiación electromagnética de longitud de onda más cortas que la radiación ultravioleta que es producida bombardeando átomos con partículas cuánticas de alta energía.

El rango de longitud de onda es de 10^{-11} m a 10^{-9} m. Los átomos de todos los elementos emiten un espectro de rayos X característico cuando son bombardeados por electrones. Los fotones de rayos X son emitidos cuando los electrones incidentes arrancan un electrón de un orbital interno del átomo.

Cuando esto ocurre, un electrón exterior cae en la capa interna para reemplazarlo, perdiendo energía potencial (ΔE) al hacerlo. La longitud de onda λ de los fotones emitidos está dada por $\lambda = ch/\Delta E$, donde c es la velocidad de la luz y h es la constante de Planck.

Los rayos X pueden atravesar muchas formas de materia y son, por tanto, usados en medicina y en la industria para examinar estructura internas (en los seres vivos la exposición a estos rayos no deben ser continua, ya que produce mutaciones en las células vivas). Los rayos X son producidos para estos propósitos en tubos de rayos X.

Las mayores fuentes productoras de rayos X que se han detectado en el universo, son las provenientes de los agujeros negros.

Relatividad, teoría de la

Teoría para analizar el movimiento de los cuerpos, diseñada para explicar las desviaciones de la mecánica newtoniana que ocurren a muy altas velocidades relativas. Esta teoría es una de las dos

propuestas por Albert Einstein (1.879-1.955).

La teoría especial fue propuesta en 1.905 y se refería a sistemas de referencia inerciales (no acelerados).

Asume que las leyes de la física son idénticas en todos los sistemas de referencia y que la velocidad de la luz en el vacío, c , es constante en todo el universo y es independiente de la velocidad del observador.

La teoría desarrolla un sistema de matemáticas con el fin de reconciliar estas afirmaciones en aparente conflicto. Una conclusión de la teoría es que la masa de un cuerpo, m , aumenta con su velocidad, v , de acuerdo con la relación:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

donde m_0 es la masa en reposo del cuerpo. Einstein también concluyó que si un cuerpo pierde energía L , su masa disminuirá en L/c^2 . Einstein generalizó esta conclusión al importante postulado de que la masa de un cuerpo es una medida de su contenido en energía, de acuerdo con su ecuación $m=E/c^2$ que, en su versión más conocida es $E=mc^2$.

Cuando Max Planck (por aquel entonces director de la revista científica que publicó el trabajo de Einstein), leyó la teoría de la relatividad especial, enviada por un desconocido llamado Albert Einstein, oficial de tercera en la oficina de patentes de Berna (Suiza), de inmediato se dio cuenta de que el mundo de la física, a partir de aquel momento, sería diferente. Planck fue de los pocos que en ese primer momento comprendió los conceptos nuevos y la grandiosidad de aquella teoría.

No todos admitieron que el tiempo caminaba más lentamente para alguien que viajara a velocidades cercanas a la de la luz, que

los objetos aumentaban su masa a medida que se acercaban a dicha velocidad que Einstein llamó c , que c era la velocidad límite de nuestro universo, que la masa y la energía eran dos aspectos de una misma cosa.

Todos esos conceptos nuevos que cambiaron el mundo, no sólo de la física, también lo cambió en el campo de la filosofía; nada se podía considerar como inamovible, todo era relativo, dependiendo de quien sea el que valore la cuestión de que se trate.

Finalmente, el mundo de la física, comprobados experimentalmente todos y cada uno de los aspectos de la teoría relativista, se rindió ante Einstein a quien reconocieron, sin tapujos, sus enormes méritos.

Pero Einstein, en aquellos años dorados en que su mente estaba poseída por la más maravillosa inspiración, no estaba satisfecho. A su teoría le faltaba algo, ya que no incluía la gravedad.

En 1.907, le llegó la inspiración. Sentado en su mesa de la oficina de patentes, de pronto, se le ocurrió pensar en alguien que dentro de una cabina de ascensor cayera en caída libre. ¿Qué sensación tendría? A partir de este concepto elabora en su mente una nueva teoría con la que trabajó de manera incansable durante años.

Todo en su cabeza estaba perfectamente definido y, sin embargo, no encontraba la manera de formularlo. No sabía qué matemáticas aplicar para que de manera fiel expresara sus pensamientos. Desesperado, escribió a su amigo Grossman, Marcel, a quien pidió ayuda explicándole su problema que, como matemático que era, entendió perfectamente.

Al poco tiempo, Einstein, recibió un paquete desde Berlín. Su amigo Marcel contestaba a su llamada de auxilio y le enviaba material diverso que, a su entender, le podría valer para salir de su

atolladero.

Einstein, tembloroso, abrió el paquete y miró el contenido de libros y documentos diversos. De entre aquel conjunto le llamó la atención unos documentos que según podía leerse en la portada, estaban referidos a una conferencia sobre geometría curva que, 60 años antes, había dado un tal Riemann.

Einstein pasó aquella portada y comenzó a leer la conferencia. A medida que avanzaba (según contó más tarde) sentía como se helaba la sangre en sus venas; no daba crédito a lo que tenía ante sus ojos. Aquel genio matemático llamado Riemann estaba reflejando lo que él llamaba *tensor métrico* (después, tensor métrico de Riemann), que era la herramienta matemática más poderosa que imaginarse pueda, y Einstein se dio perfecta cuenta de que sus problemas habían terminado.

Trabajó incansable con el tensor métrico de Riemann y, finalmente, su teoría general de la relatividad, en 1.915, vio la luz, y Einstein pudo extender su trabajo anterior para incluir sistemas acelerados, que condujo a su análisis de la gravitación.

Interpretó el universo como un continuo espacio tiempo de cuatro dimensiones en el que la presencia de una masa curva el espacio de forma que se crea un campo gravitacional. Las pequeñas diferencias entre la interpretación de Newton de la gravitación y la de Einstein han constituido una manera de comparar las dos teorías. Por ejemplo, el movimiento del planeta Mercurio, que se pensaba que era anómalo en el marco de la mecánica newtoniana, puede ser explicado por la relatividad. Es más, la predicción de Einstein de que los rayos de luz que pasan próximos al Sol serían doblados por su campo gravitacional también ha sido confirmada mediante experimentos durante eclipses solares.

Pero la teoría general de la relatividad no es una simple teoría

de la gravedad, es mucho, muchísimo más.

A partir de las ecuaciones de campo de Einstein en su teoría general de la relatividad, Schwarzschild dedujo la existencia de los agujeros negros (radio crítico de un cuerpo de masa dada que debe ser superada para que la luz no pueda escapar de ese cuerpo. Es igual a $2GM/c^2$); Kip S. Thorne, encontró en estas ecuaciones que sería posible (teóricamente al menos), viajar en el tiempo a través de un agujero de gusano; Kaluza elevó las cuatro dimensiones de Einstein utilizando las ecuaciones relativistas y formuló su teoría (Kaluza-Klein) que unificaba la relatividad general de Einstein (la gravedad) con la teoría de Maxwell (el electromagnetismo); se demostró que en presencia de masa (planetas, estrellas, galaxias, etc) el espacio se curva y el tiempo se distorsiona.

Einstein revolucionó la cosmología y nos puso delante de los ojos lo que, en realidad, ocurre en nuestro universo.

Se dice que las ecuaciones de Einstein son bellas. ¿Pueden ser bellas unas ecuaciones?

Bueno, cuando los físicos hablan de belleza de una ecuación, en realidad se están refiriendo a una ecuación sencilla, de pocos términos numéricos que, sin embargo, nos está diciendo muchas y profundas verdades.

También tengo que mencionar aquí que, en la nueva teoría de supercuerdas, Einstein está presente; es como algo que asombra a todos, sin que nadie las llame, como por arte de magia, las ecuaciones de Einstein de la relatividad general, surgen y hacen acto de presencia como diciendo "tengo que estar aquí para que la teoría de "Todo" sea posible; sin mí no podréis formularla".

Es posible que en la anterior reseña me pasara un poco y me extendiera más de la cuenta, sin embargo, hay cuestiones y matices a los que no podía dar la espalda, y para hacer justicia, he tenido

que contarla así. De todas formas, creo que el lector tendrá alguna idea mejor y más completa de la teoría relativista después de conocer mi reseña.

Relativista

Cercano a la velocidad de la luz. Las partículas que se mueven a estas velocidades muestran los efectos predichos por Einstein en su teoría de la relatividad especial (aumento de masa, retardo del tiempo, etc) que deben tomarse en cuenta combinando la relatividad con la teoría cuántica para efectuar predicciones exactas.

Independientemente de la explicación anterior, tengo que dejar constancia aquí del hecho irrefutable a que nos conduce la barrera de la velocidad de la luz en nuestro universo: nada puede correr más rápido que la luz.

Como eso es así, la Humanidad tiene planteado, a muy largo plazo, un reto muy, muy difícil. Si de verdad queremos viajar a las estrellas, el único camino está en vencer la barrera de la velocidad de la luz.

Los posibles sistemas solares que contengan planetas habitables, están a muchos años-luz de distancia de nosotros. ¿Cómo iremos allí? ¿Varias generaciones viajando hasta llegar? ¿En naves ciudades? ¿Cómo evitaremos la mutación de estar tantos y tantos años en el espacio?

Lo único que se me ocurre es vencer la velocidad de la luz para llegar a lugares muy lejanos de una manera rápida.

¿Salto cuántico? ¿Agujero de Gusano?

¿Quién puede saberlo ahora, en los comienzos del siglo XXI?

Estamos en la era bebé de los viajes espaciales. Probamos con robots y es posible que en 20 ó 25 años el hombre pueda ir al planeta Marte, o lo que es lo mismo, la era de piedra de los viajes espaciales.

Como veréis otra vez me he salido del guión y de lo que de manera específica tenía que explicar, me he pasado a cuestiones diferentes y complejas que deben ser desarrollados en otros términos muchos más amplios.

Así es más ameno ¿No?

Renormalización

Cuando los físicos plantean cuestiones y buscan las respuestas, utilizan las matemáticas y ocurre que, en mecánica cuántica, no es infrecuente que aparezcan infinitos sin sentido en las ecuaciones, así que, se inventaron un procedimiento matemático mediante el cual se introducen otros infinitos que anulan a los indeseados.

A ese procedimiento le llaman renormalización, que es la técnica usada en teoría cuántica de campos relativistas para trabajar con el hecho de que los cálculos en teoría de perturbaciones dan lugar a infinitos más allá del primer término.

La renormalización fue usada por primera vez en electrodinámica cuántica, donde los infinitos se eliminaban tomando la masa y la carga observada del electrón como parámetros "renormalizados" en vez de la masa y la carga "desnuda".

Las teorías para las que existen resultados finitos para todos los cálculos en teoría de perturbaciones, tomando un número finito de parámetros de los experimentos y usando renormalización, son

llamadas renormalizables.

Las teorías que necesitan un número infinito de parámetros se dice que son no renormalizables y se consideran como inaceptables como teoría física completa y consistente.

Las teorías gauge que describen las interacciones fuerte, débil y electromagnética son renormalizables. La teoría cuántica de las interacciones gravitacionales es una teoría no renormalizable, que quizás indica que la gravedad debe ser unificada con otras interacciones fundamentales antes de poder tener una teoría cuántica de la gravedad consistente.

Richter, escala de

Escala logarítmica inventada en 1.935 por C. F. Richter (1.900-1.985) para comparar la magnitud de los terremotos. La escala varía entre 0 y 10, estando el valor de la escala de Richter relacionado con el logaritmo de la amplitud del movimiento de la tierra dividido por el periodo de la onda dominante, sujeta a ciertas correcciones.

En esta escala, un valor de 2 puede apenas ser sentido como un temblor, y el daño a los edificios ocurre para valores mayores que 6. Claro que en el resultado final tiene mucho que ver la conformación del terreno; en un terremoto de igual intensidad o escala, el daño estará directamente relacionado con: suelo rocoso = mucho daño, suelo arenoso y de marisma = poco daño.

El mayor terremoto registrado tuvo una magnitud de 8'9 en la escala de Richter. Del que todo el mundo se acuerda (de oídas), es del terremoto de San Francisco en EEUU, de consecuencias devastadoras.

Salto cuántico

La desaparición de una partícula subatómica (por ejemplo un electrón) en un lugar y su simultánea aparición en otro. La rareza contraria a la intuición del concepto proviene en parte de las limitaciones del lenguaje de partículas para describir un fenómeno que es también, en muchos aspectos una onda.

Pero cuando el electrón desaparece en su orbital para de inmediato aparecen en otro más alto, lo hace sin recorrer la distancia que los separa, y el fenómeno ocurre porque el fotón ha sido golpeado por un fotón altamente ionizado que le transcribe su energía.

Schrödinger, ecuación de

Ecuación usada en mecánica ondulatoria cuya solución es la función de ondas de la partícula. La ecuación de Schrödinger independiente del tiempo es:

$$\nabla^2\Psi + 8\pi^2m(E-U)\Psi/h^2 = 0$$

donde Ψ es la función de ondas, ∇^2 es el operador de Laplace, h es la constante de Planck, m es la masa de la partícula, E es la energía total y U es la energía potencial.

Fue propuesta por el físico austriaco Edwin Schrödinger (1.887-1.961), quien fue el que más contribuyó al desarrollo de la mecánica ondulatoria y, precisamente esta ecuación, la elaboró como un reto al principio de indeterminación de Heisenberg, que nos demostró el hecho cierto de que si sabemos donde está la partícula no sabemos a donde se dirige y viceversa. Schrödinger, con su ecuación, nos da la oportunidad de encontrar con el mayor número de probabilidades posibles, el lugar en el que se encuentra la parti-

cula.

Creo recordar que en alguna parte de este mismo trabajo ya he plantificado esta misma ecuación. Es posible, ya que mi manera de realizar estos escritos es el de estar siempre corriendo, sobre todo con mi mente, mucho más rápida que mi mano escritora.

Serie principal

Curva del diagrama de Hertzsprung-Russell a lo largo de la que se sitúan la mayoría de las estrellas.

Se dice que una estrella está en la secuencia principal en una etapa de su vida si brilla convirtiendo hidrógeno en helio en su centro o núcleo.

SETI

Search for Extraterrestrial Intelligence o Búsqueda de Inteligencia Extraterrestre usando radiotelescopios para escuchar señales transmitidas por seres inteligentes de otros mundos.

Sin suerte hasta el día de hoy.

Simetría

Conjunto de invariancias de un sistema. Al aplicar una transformación de simetría sobre un sistema, el sistema queda inalterado. La simetría es estudiada matemáticamente usando teoría de

grupos.

Algunas de las simetrías son directamente físicas. Algunos ejemplos son las reflexiones y las rotaciones en las moléculas y las translaciones en las redes cristalinas.

Las simetrías pueden ser discretas (es decir, cuando hay un número finito de transformaciones de simetría), como el conjunto de rotaciones de una molécula octaédrica, o continuar (es decir, cuando no hay un número finito), como el conjunto de rotaciones de un átomo o núcleo.

Existen simetrías más generales y abstractas, como la invariancia CPT y las simetrías asociadas a las teorías gauge.

Hablamos de simetría rota cuando se da una situación en la que el estado fundamental de un sistema de muchos cuerpos o el estado de vacío de una teoría cuántica de campos relativistas tiene una simetría menor que el hamiltoniano o lagrangiano que define el sistema.

Algunos ejemplos en física del estado sólido son el antiferromagnetismo y la superconductividad. En física de partículas, el modelo de Weinberg-Salam (teoría electrodébil) es un importante ejemplo de teoría cuántica de campos relativistas con simetría rota.

Cuando se comenta sobre la simetría rota, de inmediato, en mi cabeza aparece la imagen de un universo primigenio, opaco, donde el plasma lo invade todo y las temperaturas eran enormes. Reinaba una sola fuerza y la simetría del sistema era total. Cuando el universo comenzó a enfriarse se desprendieron del plasma los quarks que se juntaron para construir protones y neutrones que, a su vez, también se juntaron para formar núcleos, y los núcleos positivos como eran atrajeron a los electrones libres (negativos) para formar átomos.

La simetría quedó rota, la opacidad se convirtió en transparencia que dio paso a los fotones de luz. La única fuerza reinante entonces se rompió y se convirtió en las que ahora conocemos, y 200 millones de años más tarde aparecieron las primeras estrellas.

Singularidad

Punto de curvatura infinita del espacio donde las ecuaciones de la relatividad general pierden su validez. Un agujero negro es una singularidad; lo mismo, quizás, el universo en el primer momento del tiempo.

Se dice que es el punto matemático en el que ciertas cantidades físicas alcanzan valores infinitos. Así lo demuestra la relatividad donde sus ecuaciones nos dice que la curvatura del espacio-tiempo se hace infinita en un agujero negro, o lo que es lo mismo, en ese punto que llamamos singularidad, el espacio y el tiempo, dejan de existir.

El Big Bang surgió de una singularidad donde la densidad y la temperatura de la materia eran infinitas.

Sólidos platónicos

Los cinco poliedros regulares (el tetraedro, el octaedro, el hexaedro, el icosaedro y el dodecaedro) considerados por Platón como la encarnación de ideales estéticos y racionales.

Sombra, materia en la

Clase teórica de partículas cuya existencia ha sido conjeturada por la teoría de la supersimetría, y que participan en pocas de las cuatro fuerzas fundamentales conocidas, si es que participan en alguna.

Es concebible que puedan existir planetas, estrellas y galaxias de materia en la sombra sin que percibamos su presencia.

Subatómica, partícula

Unidades fundamentales de la materia y la energía. Pueden ser clasificadas en fermiones, que tienen espín semientero y obedecen al principio de exclusión de Pauli, y bosones, que tienen espín entero y no obedecen al principio de exclusión.

El término partícula es metafórico, ya que todas las partículas subatómicas también manifiestan aspectos de conducta ondulatoria.

Suma de historias

Interpretación probabilística del pasado de un sistema, en la que se toma en cuenta la indeterminación cuántica y se reconstruye la historia en términos de cada camino posible y su probabilidad relativa.

Supercuerdas, teoría de

Teoría unificada de las interacciones fundamentales que incorpora supersimetría y en la que los objetos básicos son objetos unidimensionales (supercuerdas). Se piensa que las supercuerdas tienen una escala de longitud de unos 10^{-35} m y, como distancias muy cortas están asociadas a energías muy altas, tienen una escala de energía del orden de 10^{19} GeV, que está muy por encima de la energía de cualquier acelerador que hoy pueda construirse. La teoría de supercuerdas nos sitúa en la distancia y energía de Planck.

Las cuerdas asociadas con los bosones sólo son consistentes como teorías cuánticas en un espacio-tiempo de 26 dimensiones; aquellas asociadas con los fermiones sólo lo son en un espacio-tiempo de 10 dimensiones: Se piensa que las cuatro dimensiones microscópicas surgen por un mecanismo de Kaluza-Klein, estando las restantes dimensiones "enrolladas" para ser muy pequeñas en el límite de Planck.

Una de las características más atractivas de la teoría de supercuerdas es que dan lugar a partículas de espín 2, que son identificadas con los gravitones, el bosón intermediario de la gravedad que aún no ha sido descubierto. Por tanto, una teoría de supercuerdas automáticamente contiene una teoría cuántica de la fuerza gravitatoria que, largamente buscada por los físicos, hasta ahora no había aparecido.

También se piensa (esas son las señales encontradas) que las supercuerdas están libres de infinitos que no pueden ser eliminados por renormalización, que plagan todos los intentos de construir una teoría cuántica de campos que incorpore la gravedad. Hay algunas evidencias de que las supercuerdas están libres de infinitos, pero aún no hay una prueba definitiva.

Aunque no hay una evidencia directa de supercuerdas (la energía necesaria de 10^{19} GeV no está a nuestro alcance), algunas

características de las supercuerdas son compatibles con los hechos experimentales observados en las partículas elementales, como la posibilidad de que las partículas no respeten la paridad, lo que en efecto ocurre en las interacciones débiles.

Finalizo la reseña dejando constancia de que esta teoría, la más avanzada hasta el momento, ha desembocado en lo que llaman la teoría M, expuesta por Edgar Witten, que unifica en una sola todas las teorías anteriores (supersimetría, supergravedad, cuerda, cuerda heterótica, etc), que se derivan a su vez de la teoría de 5 dimensiones expuesta por Kaluza y Klein que, a su vez, se deriva de la teoría de la relatividad general ¡otra vez Einstein!

Supersimetría

Conjunto de teorías que tratan de identificar relaciones simétricas que vinculan fermiones y bosones, es decir, partículas de espín semientero, como electrones, protones y neutrinos, y los de espín entero, como fotones y gluones (también gravitones).

Si se consigue construirla, una teoría plenamente lograda de la supersimetría proporcionaría una explicación unificada de las cuatro fuerzas fundamentales y podría aclarar también la evolución más temprana del universo.

La supersimetría, en realidad, ha sido ya superada y ha pasado a formar parte de otra teoría mayor y más compleja que, como se reseña en el apartado anterior, bajo el nombre de teoría de supercuerdas, engloba tanto la supersimetría como a otras teorías.

El problema de la teoría unificada de supercuerdas estriba en que, de momento, nadie ha sido capaz de desarrollar las matemáticas necesarias para continuarla y, al parecer, aún no han sido in-

ventadas; ni ese genio llamado Witten, las conoce.

Siendo así la situación, parece que tendremos que esperar que surja un Riemann, un Ramanujan, o incluso, ¿por qué no?, un genio del calibre de Albert Einstein para que nos saque del apuro en que está, actualmente, la teoría de supercuerdas o M.

Tensor métrico

En éste glosario dirigido a personas no técnicas en física ni en matemáticas, no se puede hacer una exposición tan compleja como lo que es un tensor.

Cuando nos referimos al tensor métrico estamos mencionando un aparato matemático de la geometría diferencial, *Tensor de Curvatura*, que es una de las nociones métricas más importantes. Un tensor de curvatura es una generalización de la curvatura de Gauss a dimensiones más altas (Tensor de Riemann y Tensor de Ricci).

Fue Riemann quien introdujo una manera de describir completamente la curvatura de cualquier número de dimensiones mediante una maravilla a la que hoy conocemos como *Tensor de Riemann*. Gracias a ésta herramienta, pudo Einstein después de 9 años de espera, formular matemáticamente su teoría de la relatividad general, para la que no encontraba las matemáticas adecuadas hasta que leyó la conferencia que Riemann había dado 60 años antes.

Teoría

Exposición razonablemente coherente de una amplia gama de fenómenos que comúnmente se explica por una hipótesis. Las teo-

rías, como he indicado en alguna parte de esta misma libreta, son también tanto epónimas como descriptivas de la materia a la que se refieren (por ejemplo, teoría de Einstein de la relatividad o la teoría de Darwin de la evolución).

Hay muchas teorías que, aunque se siguen denominando así (tal es el caso de las dos versiones de la teoría relativista), en realidad, dejaron hace mucho de ser teorías para convertirse en leyes, ya que todas sus predicciones han sido demostrados experimentalmente, con lo cual, subió al escalón superior (primero es hipótesis, después teoría y finalmente ley).

Tiempo

Dimensión que distingue el pasado, el presente y el futuro.

En la relatividad, se describe el tiempo como una dimensión geométrica, análoga a las dimensiones del espacio.

No se puede despachar este apartado con la simple explicación anterior; el tiempo es tan complejo que se necesitaría un tratado para intentar explicarlo. En uno de mis recientes trabajos que, casualmente denomino en portada "Pasado, presente y futuro... Una ilusión llamada Tiempo", trato de explicar, bajo distintos puntos de vista, lo que es en realidad el tiempo, aunque me temo que mi capacidad no sea suficiente para desarrollar (como quisiera) un tema tan difícil.

Tiempo de vuelta al pasado

Fenómeno que, a causa de la velocidad finita de la luz, cuanto más distante está un objeto observado, tanta más antigua es la in-

formación que se recibe de él.

Una galaxia situada a mil millones de años-luz, por ejemplo, es vista como era hace mil millones de años, ya que ese es el tiempo que su luz ha tardado en llegar a nosotros, así que resulta físicamente imposible el ver esa galaxia como es hoy, lo que vemos es como fue entonces, hace ahora 1.000 millones de años.

En este aspecto, los astrónomos y cosmólogos son unos privilegiados; pueden viajar en el tiempo para ver estrellas y objetos estelares que, seguramente, hace miles de años que ya no existen.

Topología

Rama de la geometría que se ocupa de las propiedades de los objetos geométricos que permanecen inalteradas bajo deformaciones continuas, como el doblado o el estirado. Las técnicas matemáticas que emplean la topología son de gran importancia en las teorías modernas de las interacciones fundamentales, como por ejemplo, la teoría de supercuerdas.

Tritio

De símbolo T. Isótopo del hidrógeno con numero másico 3; es decir, el núcleo contiene 2 neutrones y 1 protón. Es radiactivo (vida media 12'3 años), desarrollando desintegración beta a helio-3.

El tritio es usado en el etiquetado.

Túnel cuántico

Salto cuántico a través de una barrera.

Efecto en el que los electrones son capaces de atravesar un túnel a través de una barrera de potencial estrecha hacia una región que estaría prohibida si los electrones fuesen tratados como partículas clásicas.

El que haya una probabilidad finita de que un electrón haga un túnel entre una región clásicamente permitida a otra, surge como consecuencia de la mecánica cuántica.

El efecto es usado en el diodo túnel. La desintegración alfa es un ejemplo de proceso de efecto túnel.

Unidad astronómica

UA.

Unidad de masa atómica

Unidad de masa utilizada para expresar masas atómicas relativas. Es 1/12 de la masa de un átomo del isótopo de carbono-12 y es igual a $1'66033 \times 10^{-27}$ Kg. Esta unidad reemplazó tanto a las unidades de masa físicas como químicas, basadas en el oxígeno-16, y es a veces llamada la unidad de masa unificada o daltón.

Unidad fundamental

Unidad que es definida arbitrariamente en vez de ser definida por combinaciones simples de otras unidades. Por ejemplo, el amperio es una unidad fundamental del sistema SI definida a partir de la fuerza producida entre dos conductores que transportan corriente; mientras que el coulombio es una unidad derivada, definida como la cantidad de carga transportada por un amperio en un segundo.

Unidades c.g.s.

Sistema de unidades basadas en el centímetro, el gramo y el segundo. Derivadas del sistema métrico, fueron inadecuadamente adaptadas para su uso con cantidades térmicas (basadas en la caloría, unidad definida de forma inconsistente) y con las cantidades eléctricas (donde eran utilizados dos sistemas, basados respectivamente en la permitividad unidad y la permeabilidad unidad de vacío).

Para muchos fines científicos, las unidades c.g.s han sido ahora reemplazadas por las unidades SI.

Unidades del SI

Système International d'Unités: Sistema Internacional de Unidades, ahora recomendado para la mayoría de los propósitos científicos. Siendo un sistema coherente y racionalizado derivado de las unidades m.k.s., las unidades del SI han reemplazado (como dije antes) ahora a las c.g.s y a las unidades imperiales para muchos propósitos.

El sistema tiene siete unidades base y dos unidades dimensionales (antes llamadas unidades suplementarias), de las que todas las demás unidades pueden ser derivadas.

Hay 18 unidades derivadas con nombres especiales. Cada unidad tiene un símbolo acordado (una letra mayúscula o una letra inicial mayúscula si se llama en honor de un científico, y si no, el símbolo consiste en una o dos letras minúsculas).

Los múltiplos decimales de las unidades se indican con una serie de prefijos; siempre que sea posible debe ser usado un prefijo que represente 10 elevado a una potencia que es múltiplo de tres.

Existen otros grupos de unidades tales como:

- Unidades coherentes
- Unidades de radiación
- Unidades electromagnéticas
- Unidades electrostáticas
- Unidades fundamentales
- Unidades gaussianas
- Unidades geometrizadas
- Unidades imperiales
- Unidades m.k.s.
- Unidades naturales
- Unidades p.L.s.
- Unidades racionalizadas
- Unidades suplementarias
- Unidades adimensionales

Unificada, teoría

En física de partículas, toda teoría que expone relaciones en-

tre clases aparentemente dispares de partículas. Más generalmente teoría que reúne una amplia gama de fenómenos fundamentales pero diferentes bajo un solo principio, como el descubrimiento de Maxwell de que la luz y el magnetismo son aspectos de una sola fuerza magnética.

Las teorías unificadas han sido, desde hace décadas, el sueño de los físicos. Todos han tratado de unificarlo todo en una sola teoría (La Gran Teoría Unificada) que explique las partículas, las fuerzas fundamentales y el universo mismo.

Universo; universo abierto, cerrado, plano, curvo

Modelos cosmológicos en los que, el universo, en función de la masa crítica (cantidad de materia que contenga), será de una u otra forma.

Son conocidos los modelos de universos de Friedman y también el universo de Einstein-De Sitter. Friedman nos dice que si la densidad crítica es menor que la ideal, el universo se expandirá para siempre; si es menor, la gravedad frenará su expansión y todas las galaxias volverán sobre sus pasos hasta reunir, en un solo punto, toda la materia del universo en una enorme bola de fuego, el Big Crunch. El modelo de Einstein-De Sitter, por el contrario, nos presenta un universo con exactamente la masa crítica ideal; el universo plano que se expandirá por toda la eternidad.

En cualquiera de los casos, el final no es muy alentador para nosotros, o morimos por el calor o por el frío. Claro que, para cuando eso tenga que ocurrir, seguramente ya no estaremos aquí.

Uranio

De símbolo U. Elemento metálico radiactivo blanco perteneciente a los actínidos; n.a. 92, m.a.r. 238'03, d.r. 19'09 (20°C), p.f. $1.132 \pm 1^\circ\text{C}$, p.e. 3.818°C .

Aparece en la uranita, de la cual el metal es extraído por un proceso de intercambio de iones. Se encuentran tres isótopos en la naturaleza: uranio-238 (99'28%), uranio-235 (0'7%) y uranio-234 (0'006%).

Como el uranio-235 desarrolla fisión nuclear con neutrones lentos, es el combustible usado en los reactores nucleares y armas nucleares; por ello, el uranio ha adquirido una enorme importancia técnica, energética y, política desde su descubrimiento en 1.789 por M. H. Klaproth.

Siendo el uranio-235 (el mejor combustible nuclear) muy escaso, el hombre inventado un sistema que convierte el uranio-238 (no es combustible nuclear) el más abundante en la naturaleza, mediante un proceso especial, en plutonio-239 (que sí es combustible nuclear).

Vacío

Espacio en el que hay una baja presión de un gas, es decir, relativamente pocos átomos o moléculas. Un vacío perfecto no contendría ningún átomo o molécula, pero no se puede obtener, ya que todos los materiales que rodean ese espacio tiene una presión de vapor finita. En un bajo vacío, la presión se reduce hasta 10^{-2} pascales, mientras que un alto vacío tiene una presión de $10^2 - 10^7$ pascales. Por debajo de 10^{-7} pascales se conoce como un vacío ultraalto.

Vacío theta

De símbolo θ . Estado de vacío de un campo gauge no abeliano (en ausencia de campos fermiónicos y campos de Higgs).

En la vacío theta hay un número infinito de estados degenerados con efecto túnel entre estos estados. Esto significa que la vacío theta es análogo a una función de Bloch en un cristal. Esto puede ser derivado tanto como un resultado general o bien usando técnicas de instantón.

Cuando hay un fermión sin masa, el efecto túnel entre estados queda completamente suprimido. Cuando hay campos fermiónicos con masa pequeña, el efecto túnel es mucho menor que para campos gauge puros, pero no está completamente suprimido.

El vacío theta es el punto de partida, para comprender el estado de vacío de las teorías gauge fuertemente interaccionantes, como la cromodinámica cuántica.

Valor cuadrático medio

Valor típico de una cantidad continuamente variable, como una corriente eléctrica alterna, medida de una forma similar a partir de muchas muestras tomadas a intervalos regulares de tiempo durante un ciclo.

Teóricamente esto demuestra que es igual el valor efectivo, es decir, el valor de la corriente continua equivalente que produciría la misma disipación de carga en una resistencia dada.

Para una corriente sinuosidad es igual a $I_m/\sqrt{2}$, donde I_m es el valor máximo de la corriente.

Van Allen, cinturones de

Cinturones que son fuentes intensas de radiación y que rodean la Tierra, consistentes en partículas cargadas de alta energía atrapadas en el campo magnético de nuestro planeta, y en el que siguen trayectorias aproximadamente helicoidales.

Fueron descubiertos en 1.958 por James Van Allen (1.914-2.006) como resultado de experimentos con detectores de radiación transportados por el satélite *Explorer*.

Van del Waals, fuerza de

Fuerza atractiva entre átomos o moléculas, llamada así en honor de J. D. Van der Waals (1.837-1.923). La fuerza explica el término a/V^2 en la ecuación de van der Walls que se denota: $k=n^2a/V^2$, donde a es una constante (la ecuación refleja de forma precisa el comportamiento de los gases reales).

Estas fuerzas son mucho más débiles que las que surgen por los enlaces de valencia y son inversamente proporcionales a la séptima potencia de la distancia entre los átomos o moléculas.

Son las fuerzas responsables del comportamiento no ideal de los gases y de la energía de la red de cristales moleculares.

Hay tres factores que causan estas fuerzas:

- a) Interacciones dipolo-dipolo, es decir, interacciones electrostáticas entre momentos dipolares permanentes.
- b) Interacciones dipolo-dipolo inducido, en las que el dipolo de una molécula polariza a una molécula vecina.

c) Fuerzas de dispersión que surgen por pequeños dipolos instantáneos en los átomos.

Velocidad de escape

Ver Escape, velocidad de. Igual a GMm/r . Si se quiere que un cohete escape del campo gravitacional, debe tener una energía cinética que exceda esta energía potencial; es decir, la energía cinética $mv^2/2$ debe ser mayor que GMm/r , ó $V > \sqrt{2GM/r}$. Este es el valor de la velocidad de escape.

Insertando valores numéricos para la Tierra y la Luna en esta relación, da una velocidad de escape de la Tierra de 11.200 ms^{-1} , y para la Luna, de 2.370 ms^{-1} (11 Km 200 m segundo para la Tierra y 2 Km 370 m para la Luna).

Velocidad de la luz

De símbolo c. Velocidad a la que viaja la radiación electromagnética. La velocidad de la luz en el vacío es:

$$2'99792458 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

Cuando la luz atraviesa un medio material, su velocidad se reduce. La velocidad de la luz en el vacío es la velocidad más alta alcanzable en el universo (ver relatividad).

Es una constante universal y es independiente de la velocidad del observador o de la velocidad de la fuente; su velocidad es invariante en cualquier circunstancia. Desde 1.983 forma parte de la definición de metro que es la longitud del camino recorrido por la luz

en el vacío durante un intervalo de tiempo de:

$$1/(2'99792458 \times 10^8) \text{ segundos}$$

Velocidad del sonido

De símbolo c_s . Las ondas sonoras se propagan en un medio material. En el aire a 20°C, el sonido viaja a 344 ms^{-1} ; en el agua a 20°C, viaja a 1.461 ms^{-1} ; y en el acero a 20°C, viaja a 5.000 ms^{-1} .

La velocidad del sonido en un medio depende del módulo de elasticidad del medio (E) y de su densidad (ρ), de acuerdo con la relación $C_s = \sqrt{E / \rho}$.

Para ondas longitudinales en un sólido estrecho, E es el módulo de Young; para un líquido, E es el módulo de elasticidad de volumen; y para un gas $E = \gamma P$, donde γ es el cociente entre las capacidades caloríficas específicas principales y P es la presión del gas.

Para un gas ideal, la relación tiene forma $C_s = \sqrt{\gamma r T}$, donde r es la constante de los gases por unidad de masa y T es la temperatura termodinámica. Esta ecuación muestra como está relacionada la velocidad del sonido en un gas con su temperatura. Esta relación puede escribirse:

$$C_s = C_0 \sqrt{(1 + t / 273)}$$

donde C_0 es la velocidad del sonido en un gas particular a 0°C y t es la temperatura en °C.

Velocidad orbital

Velocidad de un satélite, nave espacial u otro cuerpo que viaja en órbita alrededor de la Tierra o de cualquier otro cuerpo celeste. Si la órbita es elíptica, la velocidad orbital, V , está dada por

$$V = \sqrt{gR^2(2/r - 1/a)}$$

donde g es la aceleración en caída libre, R es el radio del cuerpo central, a es el semieje mayor de la órbita y r es la distancia entre el cuerpo central y el centro de masas del sistema. Si la órbita es circular, $r = a$ y $V = \sqrt{gR^2 / r}$

Velocidad relativista

Velocidad lo suficientemente grande como para hacer que la masa de ese cuerpo sometido a semejante velocidad, cercana a c , sea significativamente mayor de lo que sería su masa en reposo. Es generalmente expresada como una proporción cercana a la velocidad de la luz.

La masa relativista esta referida al incremento de masa que toma un cuerpo cuando es acelerado a velocidades cercanas a la de la luz, me explico:

$E=mc^2$ nos dice que la masa es energía concentrada, así que masa y energía son dos aspectos de una misma cosa. Si la masa se convierte en energía, con lógica, podemos pensar que la energía se convierte en masa.

Empujamos un cuerpo cada vez más hasta alcanzar velocidades cercanas a la de la luz que, como ya dije, es la velocidad límite del universo. Como esta velocidad no se puede superar, la energía

que estamos dando al cuerpo se traduce en el aumento de la masa de ese cuerpo que al no poder ser acelerado más absorbe la energía y la convierte en masa.

Vida media

Tiempo promedio que está una partícula elemental o núcleo radiactivo en un cierto estado hasta que ocurre la desintegración, o tiempo que está un átomo en un estado excitado hasta que decae en un nivel menor de energía.

Se suele decir del tiempo que tarda en desintegrase la mitad de una determinada cantidad de material radiactivo.

Weinberg-Salam, modelo de

Modelo WS. Ver fuerza electrodébil.

Yang-Mills, teoría de

Ver teoría gauge.

Zeeman, efecto

Separación de las líneas de un espectro cuando la fuente del espectro es sometida a un campo magnético. Fue descubierto en 1.896 por P. Zeeman (1.865-1.943).

Zoo, hipótesis del

Hipótesis de que la vida en la Tierra ha sido detectada por extraterrestres inteligentes que tienen escrúpulos en visitarnos porque no desean interferir en nuestro desarrollo.

En las condiciones actuales, parece difícil que esto pueda ser así y que, a pesar de nuestra tecnología actual no los podamos detectar. Lo que no quiere decir que ese tipo de seres inteligentes no puedan existir en alguna galaxia lejana.