

---

## PRONTUARIO DE LA FÍSICA DE LAS PARTÍCULAS ATÓMICAS

Francisco Agustín Iñigo Muñoz

El trabajo que viene a continuación es una recopilación de conceptos y nombres actuales de lo relativo a la física de las partículas atómicas y subatómicas. En esta mi larga jubilación he tenido tiempo para meterme un poco en el mundo de la mecánica cuántica. Nuestra formación profesional descansaba en el mundo de la mecánica clásica de Newton, anterior al siglo XX. Actualmente la ciencia y sus aplicaciones están de cara a la mecánica cuántica. El cambio está siendo tremendo y fruto de todas estas teorías hemos vivido el logro, enorme por su interés para los científicos, del encuentro esperado del "bosón de Higgs".

*Para entender algo y poder leer algún libro actual de los físicos cuánticos, necesitaba una especie de "prontuario" para soportar páginas inteligibles y esta relación reducida y limitada me ha ayudado para satisfacer mi curiosidad y tratar de superar mi falta de preparación.*

*Quiero también compartirlo con los lectores curiosos de la web [www.ontejas.org](http://www.ontejas.org)*

---

**Electrón:** *Partícula elemental estable del género de los leptones. Carga negativa. Forma parte de la parte exterior de los átomos.*

**Leptón:** *Cada una de las partículas elementales de la masa, en general inferior a los mesones. Son leptones: los neutrinos, los electrones y los muones.*

**Fotón:** *Cantidad indivisible de energía que interviene en los procesos de emisión y absorción de la radiación electromagnética.*

**Mesón:** *Cada una de las partículas elementales de masa comprendida entre la de los leptones y las de los bariones que intervienen en los procesos de interacción fuerte. Pertenecen a esta clase los piones y los kaones.*

**Piones:** *Partícula elemental inestable del género de los mesones. Su carga eléctrica es igual al electrón o nula. Se desintegran en un muón y un neutrino. El pión neutro se desintegra preferentemente en dos fotones.*

**Neutrón:** *Nucleón cuya carga eléctrica es casi nula. Interviene en la constitución de los núcleos atómicos y es inestable fuera de ellos. Puede dar lugar a un protón, un electrón y un antineutrino.*

**Kaón:** *Partícula elemental inestable del género de los mesones. Pertenecer a la clase de partículas extrañas.*

**Muón:** *Partícula elemental inestable del género de los leptones. Se desintegra dando lugar a un electrón, un neutrino y un antineutrino.*

**Sinón:** *Cuanto de luz. Sinónimo de fotón.*

**Neutrino:** *Partícula elemental estable del género de los leptones. Su masa y su carga eléctrica son nulas. Hay dos tipos: el electrónico y el muónico, que nacen asociados a un electrón o a un muón respectivamente.*

**Bosón:** Cada una de las partículas tales que, si varias de ellas idénticas intervienen en un sistema, la función de onda que lo describe ha de ser simétrica en las coordenadas de las mismas. Tienen *espín* nulo o entero. Son *bosones*: los *fotones* y los *mesones*.

**Constante de Planck:** *Constante igual al valor mínimo posible de la magnitud dinámica de acción.* Se simboliza por (**h**). Es sinónimo de *cuanto de acción*.

**Modelo standard de Eddington:** *Modelo estelar* en el que la energía es transportada por radiación a través de toda su masa, siendo constante la razón de la presión de radiación a la presión del gas.

**Pión:** *Partícula elemental inestable del género de los mesones.* Los *piones* cargados se desintegran preferentemente en un *muón* y un *neutrino*. El *pión neutro* se desintegra preferentemente en dos *fotones*. Su carga eléctrica es igual a la del *electrón* o nula.

**Materia:** *Agrupación de partículas elementales,* como consecuencia de sus interacciones energéticas.

**Antimateria:** *Materia formada por antipartículas.*

**Antipartícula:** *Partícula elemental* cuya masa en reposo, espín y módulo del isoespín son iguales a los de la partícula correspondiente, pero que cuyos valores de carga, paridad y otras magnitudes características son opuestos. Dícese: *antiprotón, antineutrón,* etc.

**Espín:** *Momento angular intrínseco de un sistema.* Se aplica especialmente a las partículas elementales y a los núcleos.

**Isospín:** *Número cuántico* asociado a la existencia de partículas elementales que tienen el mismo número bariónico, espín y paridad, una masa aproximadamente igual y que difieren en la carga eléctrica.

**Barión:** Cada una de las *partículas elementales* de masa igual o superior a la del núcleo y que intervienen en los procesos de interacción fuerte. Comprende los *nucleones* y los *hiperones*.

**Hiperón:** *Barión* cuya masa es superior a la del nucleón. Son inestables.

**Nucleón:** *Partícula elemental constitutiva de los núcleos atómicos.* Se presenta en dos estados distintos que son el *protón* y el *neutrón*.

**Protón:** *Partícula* cuya carga eléctrica es positiva. Interviene en la constitución de todos los núcleos atómicos, y constituye por sí sola el núcleo del hidrógeno. *Es sinónima del ión hidrógeno.*

**Quarck:** Cada una de las *partículas elementales hipotéticas* cuya carga eléctrica sería 1/3 ó 2/3 de la del *electrón* o de la del *protón*.

**Ión:** *Átomo* o agrupación de átomos que han perdido o ganado uno o más electrones.

**Plasma:** Estado de la materia que contiene prácticamente el mismo número de electrones que de iones positivos. *Cuarto estado de la materia.* Se forma cuando los *electrones* son arrancados de los átomos y quedan libres junto a los *protones*.

**Positrón:** *Antipartícula del electrón.* Por tanto tiene igual masa que éste e igual carga eléctrica, pero positiva. *Sinónimo de electrón positivo.*

**Púlsar:** Objeto celeste de pequeño diámetro que emite en radiofrecuencias con un periodo muy regular comprendido entre 0,03 y 3 segundos. Se identifica con estrellas de neutrones en rotación muy rápida, con campos magnéticos en su superficie entre  $10^{10}$  y  $10^{14}$  gauss, que emiten en las frecuencias indicadas en determinados puntos de la superficie.

**Materia oscura:** Partículas masivas sujetas a interacción débil.

**Gauss:** *Unidad cegesimal de inducción magnética.* Su símbolo es G y vale  $10^{-4}$  T.

**Masa:** *Cantidad de materia en un cuerpo,* su inercia o resistencia a la aceleración.

**Peso:** *Fuerza ejercida sobre un cuerpo por un campo gravitatorio.* Es proporcional, pero no idéntico a su masa.

**Radar:** Sistema que utiliza pulsos de radioondas para detectar la posición de objetos a partir del tiempo que un impulso tarda en llegar al objeto y regresar (tras haberse reflejado en él) al emisor.

**Rayos gamma:** *Rayos electromagnéticos* de longitud de onda muy corta, producidos en el debilitamiento radioactivo o por colisiones de partículas elementales.

**Cosmología:** Estudio del universo como un todo.

**Dualidad partícula-onda:** Concepto de la *mecánica cuántica* según el cual no existen diferencias fundamentales entre ondas y partículas; las partículas se pueden comportar a veces como ondas y éstas como partículas.

**Horizonte de sucesos:** *Frontera de un agujero negro.*

**Partícula virtual:** En mecánica cuántica partícula que nunca puede ser detectada directamente, pero cuya existencia tiene efectos medibles.

**Brana:** Cada uno de los objetos extensos que aparecen en la *teoría de cuerdas*.

**Teoría de las cuerdas:** Teoría de la física en la que las partículas son descritas como ondas en cuerdas. Las cuerdas sólo tienen longitud y ninguna otra dimensión.

**Big bang:** Singularidad inicial del universo.

**Big crunch:** Singularidad al final del universo.

**Singularidad:** Punto del espacio-tiempo cuya curvatura espacio-temporal (o cualquier otra magnitud física) se hace infinita.

**Antipartícula:** Cada tipo de partícula de materia tiene antipartícula correspondiente. Cuando una *partícula* choca con su *antipartícula*, se aniquilan mutuamente y sólo queda energía.

**Átomo:** Unidad básica de materia ordinaria, formada por un núcleo minúsculo (que consta de *protones* y *neutrones*) rodeado de *electrones* que giran a su alrededor.

**Campo:** Algo que existe en todos los puntos del espacio y del tiempo, en oposición a *partícula*, que en un instante dado sólo existe en un punto del espacio.

**Carga eléctrica:** Propiedad de una partícula por la cual puede repeler (o atraer) otras partículas que tengan una carga del mismo signo (o de signo opuesto).

**Radiación de Hawking:** Radiación de fondo de microondas. Radiación correspondiente al resplandor del universo primitivo caliente.

**Agujero negro:** Región del espacio-tiempo de la que nada, ni siquiera la luz, puede escapar debido a la intensidad de su gravedad.

**Teoría de la gran unificación (GUT):** Teoría que unifica las fuerzas electromagnéticas, nuclear fuerte y nuclear débil.

**Constante cosmológica:** Artificio matemático utilizado por *Einstein* para dar al espacio-tiempo una tendencia innata a expandirse.

**Principio antrópico:** Idea según la cual vemos el universo como lo vemos, porque si fuera diferente no estaríamos aquí para observarlo.

**Curvatura del espacio:** Resultado de la *teoría de la relatividad general*, según la cual la geometría del espacio-tiempo es modificada por la existencia de materia-energía, lo que a su vez influye en el movimiento de los cuerpos.

**Fórmula de Einstein:** Expresa la equivalencia entre la energía y la materia como el producto de la masa de ésta por el cuadrado de la velocidad de la luz en el vacío.

$$E = m \cdot c^2$$

**Gravedad:** Resultante de la fuerza de la gravitación y la fuerza centrífuga debida a la rotación del cuerpo considerado.

**Electromagnetismo:** Parte de la electricidad que estudia la relación entre los campos eléctrico y magnético.

**Entropía:** Magnitud de estado en un sistema termodinámico cuya variación en un proceso diferencial reversible es igual al calor absorbido del entorno dividido por la temperatura absoluta (**T**) del sistema. Expresa en cierto modo el grado de desorden del sistema.

**Entalpía:** Suma de la energía interna de un sistema y el producto de su volumen por la presión.

**Energía cinética:** Semiproducto de la masa de un cuerpo por el cuadrado de su velocidad en el instante considerado.

**Campo eléctrico:** Campo vectorial de fuerzas en el espacio ordinario de tres dimensiones en que la magnitud activa es la carga eléctrica.

**Campo magnético:** Campo que se pone de manifiesto por la fuerza que ejerce sobre una carga eléctrica en movimiento.

**Principio de la incertidumbre (Sinónimo de *principio de indeterminación*):** Aserto de la mecánica cuántica según el cual, en la determinación de dos variables conjugadas, el producto de los errores de medida de ambos es igual o mayor que la *constante de Planck*. Las parejas de variables a las que este principio se aplica con más frecuencia son: la posición y la cantidad de movimiento. O el tiempo y la energía.

**Fuerzas electromotrices:** Energía que suministra un generador por cada unidad de carga eléctrica que recorre el circuito.

**Fuerzas nucleares:** Fuerzas que mantienen unidos los nucleones de un núcleo atómico. Son muy intensas y de corto alcance. Débiles, fuertes y gravitatorias.

**Primer principio de la termodinámica:** Para los sistemas cerrados la energía aportada al sistema se transforma en un trabajo más un incremento de la energía del propio sistema.

**Segundo principio de la termodinámica:** No hay transformación termodinámica cíclica alguna que pueda absorber calor (**Q**) de un foco térmico a una temperatura (**T**) dada y pueda producir el equivalente de esa energía en trabajo (**W**).

**Desplazamiento hacia el rojo:** Enrojecimiento de la radiación de una estrella que se está alejando de nosotros, debido al *efecto Doppler*.

**Mecánica cuántica:** Teoría desarrollada a partir del *principio cuántico de Planck* y del *principio de incertidumbre de Heisenberg*.

**Radiación de fondo de microondas:** Radiación correspondiente al resplandor del universo primitivo caliente, actualmente hacia el rojo, que no se presenta como luz visible sino como microondas.

**Relatividad especial:** Teoría de *Einstein* basada en la idea de que las leyes de la ciencia deben ser las mismas para todos los observadores, sea cual sea su velocidad con que se mueven, en ausencia de campos gravitatorios.

**Relatividad general:** Teoría de *Einstein* basada en la idea de que las leyes de la ciencia deben ser las mismas para todos los observadores, sea cual sea su movimiento. Explica la fuerza de gravedad de la curvatura de un espacio-tiempo cuatridimensional.

**Plasma quark-gluón:** Los difíciles cálculos de la viscosidad del plasma quark-gluón se traducen en la respuesta en el horizonte de sucesos del agujero negro a deformaciones particulares, un cálculo técnico poco tratable.

**Campos cuánticos:** De la unión parcial de la mecánica cuántica y la relatividad general considerando campos cuánticos (la parte cuántica) que evolucionan en un ambiente espacio-temporal fijo pero curvo (la parte de relatividad general).

**Campos de neutrinos:** Uno de tantos campos nacidos de la teoría cuántica.

**Campos inflatón:** Campo hipotético que proporciona una base teórica para la cosmología inflacionaria.

**Inflatón:** La expansión rápida del espacio. Sinónimo de "infracción".

**Campos de Higgs:** Campos magnéticos invisibles que pueden llenar el espacio sin revelar directamente su presencia.

**Energía oscura:** En astronomía se desconoce el origen y la composición fundamental o las partículas detalladas de la energía oscura.

**Mecánica estadística:** Es la moderna encarnación de la termodinámica.

**Nada:** *Nozich* señalaba que dentro del su multiverso habría un universo que consiste en nada. Nada absolutamente. No hay espacio vacío, sino la nada.

**Teoría de topes:** Está en estudio. Algo derivado de la teoría de cuerdas.

**Universo paralelo o multiverso:** El arco de universos alcanza a nueve variaciones sobre este tema.

**Quasar:** Descubierta en 1963. Fuente cuasiestelar de radiofrecuencia. Posiblemente la altísima luminosidad se debería a la caída de materia a un agujero negro.

**Gluón:** Partícula de **espín 1** que sólo interactúa consigo misma y con los quarks.

**Tesla:** Su símbolo es **T**. Unidad de inducción magnética, y en función de las unidades del Sistema Internacional de Unidades, su expresión es **Wb/m<sup>2</sup>**. **Wb**, significa el flujo de inducción magnética en voltios segundo.

**CERN:** Organización europea de investigación nuclear. Con sede en Ginebra (Suiza).

**LHC:** Es el acelerador de partículas más potente del mundo y que pertenece al CERN. Su energía alcanza 8 *Tera electrón voltios*.

**Bosón de Higgs:** Es la última pieza que falta en la teoría que explica el universo visible. La nueva partícula puede arrojar luz sobre la materia y las energías oscuras.

**Ecuaciones de Maxwell:** Ecuaciones diferenciales que relacionan los cuatro campos vectoriales (eléctrico, magnético, desplazamiento eléctrico e imanación) con la densidad de carga eléctrica y la densidad de la corriente.

**Leyes del movimiento de Newton:** *Primera:* Todo cuerpo permanece en su estado de reposo o movimiento uniforme rectilíneo en tanto no actúa sobre él una fuerza que le obligue a cambiar su estado. (*Principio de la inercia*)

*Segunda:* La variación de cantidad de movimiento es proporcional a la fuerza motriz aplicada y ocurre en la dirección en que se aplica la fuerza. (*Principio fundamental de la dinámica*)

*Tercera:* Para cada acción existe siempre una reacción igual dirigida en sentido contrario, es decir las acciones mutuas entre dos cuerpos son siempre iguales y dirigidas en sentido contrario. (*Principio de la acción y la reacción*)

**Ecuación de Schrödinger de la mecánica cuántica:** Ecuación diferencial a la que obedece la función de onda asociada a una o varias partículas no relativistas.

**Espacio discreto:** La *conjetura de Greene* es que lleguen a hacerse o no alguna vez simulaciones asintientes, encontraremos que el mundo es fundamentalmente discreto.

**Monopolo magnético:** Una partícula hipotética, que tiene o bien el polo norte o bien el polo sur de un imán estándar, podría catalizar la expansión inflacionaria evitando las singularidades, pero hasta hoy nadie ha encontrado todavía una de esas partículas.

**Túnel cuántico:** La característica distintiva de la mecánica cuántica es que la rígida noción clásica de que no se puede penetrar una pared supuestamente de hierro u otro material, se traduce a menudo en la declaración cuántica más blanda según la cual "tiene una probabilidad de penetración pequeña pero no nula". Las fluctuaciones cuánticas de una partícula le permiten de vez en cuando materializarse súbitamente en el otro lado de la barrera, por lo demás impenetrable. El momento en el que este efecto túnel cuántico es aleatorio; lo más que podemos hacer es predecir la probabilidad de que tenga lugar durante un intervalo u otro. Si esperamos lo suficiente, las matemáticas dicen que la barrera será penetrada.

**Agujero blanco:** Es lo contrario del *agujero negro*. Es un objeto hipotético que escupe materia en lugar de arrastrarla a su interior.

**Cromodinámica cuántica:** Es la *teoría cuántica de campos* que describe la "sopa caliente" de quarks y gluones, que tiene gran valor para su constante de acoplamiento.

**Energía oscura:** "*Oscura*", nadie puede explicar el origen, la composición fundamental o las propiedades detalladas de la energía oscura. Hay quien utiliza los términos "*constante cosmológica*" y "*energía oscura*".

**Teoría cosmológica inflacionaria:** (Ver pág. 9) En la *teoría del big bang standard*, el universo se está expandiendo, pero debido al tirón atractivo de la gravedad el ritmo de la expansión se frena con el tiempo.

**Campos inflatón ( o inflación ):** Campo que hasta el presente es hipotético, pero proporciona una base teórica para la cosmología inflacionaria.

**Cosmología inflacionaria:** Modifica la *teoría del big bang* al importar un intenso brote de expansión enormemente rápida durante los primeros momentos del universo.

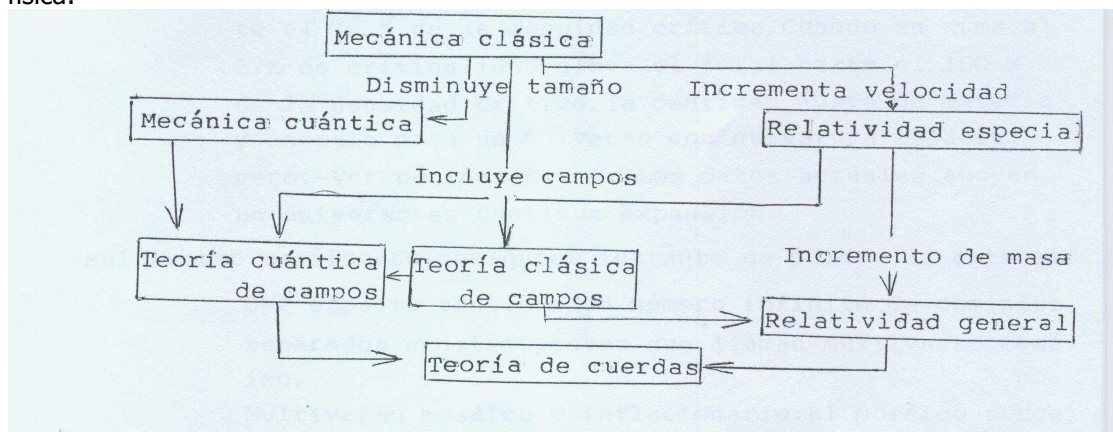
**Principio holográfico:** Una proyección holográfica de procesos que tienen lugar en alguna superficie lejana que nos rodea. Concibe que todo lo que experimentamos puede describirse de forma completa y equivalente, como las idas y venidas que ocurren en un lugar geométrico fino y remoto.

**Teoría cuántica de los campos (equivale a la cromodinámica cuántica):** Cuando la mecánica cuántica se combina con el concepto de campo, el resultado es la teoría cuántica de campos.

**Universo:** Conjunto de lo que existe. Conceptos: Abierto, cerrado, en expansión, de Einstein, de Einstein-de Sitter, estacionario, en expansión, de Friedmann, de Lamatre, oscilante, de Sitter.

**Multiverso:** Si el Cosmos es infinitamente grande, es hogar de infinitos mundos paralelos, algunos idénticos al nuestro, otros diferentes al nuestro y, muchos que no guardan ningún parecido en absoluto con nuestro mundo.

Representación gráfica de las relaciones entre los más importantes desarrollos teóricos en física:



**Versiones de universos paralelos:** Multiverso mosaico, multiverso inflacionario, multiverso brana, multiverso cíclico, multiverso paisaje, multiverso cuántico, multiverso holográfico, multiverso simulado, multiverso final.

**Principio cosmológico:** Si se examina el universo en la escala más grande, parece uniforme. Reduce a una única ecuación la complejidad matemática que supone el estudio de la materia y la energía dispersa a lo largo del cosmos.

**Campo akásico, de Ervin László:** Crea coherencia entre los distintos campos (electromagnético, gravitatorio, nuclear, cuántico, y el de Higgs) y explica los misterios que las diversas ciencias compartimentadas no son capaces de explicar. Por ejemplo: no se entendía como organismos complejos se transformaban en otra especie, capacidad sin la cual todavía seríamos algas marinas. El campo akásico está implicado en la evolución de los universos. Según **László**, el *big bang* se llama ahora el "*big bounce*" (el gran rebote). El campo akásico es holográfico, la información de toda imagen está en cualquier punto. Todo está conectado y nada desaparece.

**Principio de incertidumbre:** Muestra que cuanto más precisamente se mide la posición de un objeto, con menos precisión puede medirse su velocidad y viceversa. (*Ver pág. 5*)

Horizonte cósmico: **Dentro de cualquier horizonte cósmico sólo hay disponible un número finito de disposiciones de partículas diferentes.**

**Estado cuántico:** La entropía de un agujero negro (*el logaritmo del número de estados cuánticos distintos*) es proporcional al área de su superficie medida en *unidades de Planck* al cuadrado.

**Energía oscura:** Que llena el espacio aportando aproximadamente el 73 % de la densidad crítica. Cuando se suma el 27 % de criticalidad eleva el total hasta el 100 % de la densidad crítica, la cantidad justa de materia y energía para un universo con curvatura espacial cero. (*Ver págs. 5 y 7*) Los datos actuales apoyan un universo en continua expansión.

**Multiverso mosaico:** En cualquier instante de tiempo la extensión del espacio contiene un número infinito de dominios separados constituyentes que llaman multiverso mosaico.

*Multiverso mosaico e inflacionario:* El mosaico surge de una inflación eterna si la extensión del espacio es infinita. La variedad inflacionaria surge de una expansión inflacionaria eterna. Para todo hay una teoría profunda y maravillosamente satisfactoria entre ellas.

**Eón:** *Unidad de tiempo geológico equivalente a mil millones de años* durante el cual se ha formado un eonotema. Toda la historia geológica de la tierra se ha dividido solamente en dos eonotemas y, por tanto, en dos zonas.

**Radiación cósmica de fondo de microondas:** Los cálculos matemáticos mostraron que los fotones deberían haberse enfriado hasta cerca del cero absoluto, lo que llevó sus frecuencias a la región de microondas del espectro. Por ello se les llama radiación cósmica de fondo de microondas. *Gamow, Alpher y Hermann* concluían que todos estamos inmersos en un baño de fotones, una reliquia cósmica que nos ha legado el ardiente nacimiento del universo.

**La luz fija es el límite de la velocidad cósmica.** Pero la velocidad de recesión entre dos galaxias cualesquiera puede superar cualquier velocidad, incluida la velocidad de la luz.

**Problema del horizonte:** Dificultad en explicar cómo se establecieron las temperaturas casi idénticas en dominios cósmicos independientes. Es un enigma al que los cosmólogos llaman así, el "*problema del horizonte*".

**Campo uniforme:** Tiene presión negativa uniforme de una constante cosmológica de gravedad repulsiva.

**Expansión inflacionaria:** El problema del horizonte aqueja a la *teoría del big bang* estándar, porque las regiones del espacio se separan con demasiada rapidez para que se establezca el equilibrio térmico. La teoría inflacionaria resuelve el problema reduciendo la velocidad en que las regiones se estaban separando en los primeros momentos, lo que les da tiempo más que suficiente para llegar a la misma temperatura. La teoría propone que después de completar un estrechamiento cósmico, hubo un breve brote de expansión enormemente rápida y a un ritmo



cada vez mayor, llamado así que compensó la lenta salida hasta posiciones enormemente distantes en el espacio.

**Energía potencial:** Energía acumulada lista para su aprovechamiento y que se transforma en potencial o cinética (o de movimiento). También es la energía que lleva un campo de valor no nulo.

**Universo burbuja (o universo de bolsillo):** Es cada claro dentro de la extensión cósmica en expansión super-rápida en el universo inflacionario.

Un campo magnético suficientemente intenso perturbaría tanto la función celular que la vida tal como la conocemos no podría sostenerse.

**Modelo standard de la física de partículas:** Postula que estamos inmersos en una niebla exótica llamada "*campo de Higgs*". Tanto los campos de Higgs como los campos magnéticos son invisibles y por ello pueden llenar el espacio sin revelar directamente su presencia; un campo de Higgs se camufla mucho más. Cuando las partículas fundamentales atraviesan un campo de Higgs adquieren y mantiene la masa que los experimentos nos dicen que poseen.

**Fuerzas fundamentales:** La fuerza electromagnética, las fuerzas nucleares y la gravedad.

**Universos burbujas:** Cada uno de esos universos parecen tener una extensión espacial finita cuando se examinan desde fuera, pero una extensión espacial infinita cuando se examinan desde dentro. La extrema disparidad entre las perspectivas de los observadores del exterior e interior se debe a que tienen concepciones del tiempo enormemente diferentes.

**Maxwell:** Reveló que la electricidad, el magnetismo y el flujo luminoso, eran una trinidad científica entretejida. Las corrientes eléctricas producen campos magnéticos, los imanes que se mueven en la vecindad de un cable metálico producen corrientes eléctricas y las perturbaciones ondulatorias en los campos eléctrico y magnético producen luz. Era el movimiento hacia una descripción completamente unificada de las leyes de la naturaleza, una descripción que uniría electromagnetismo y gravedad. *Maxwell y Einstein*. Fue la obsesión de éste segundo.

**Einstein:** Este gran hombre y científico creía que la teoría unificada reemplazaría a la mecánica cuántica. Tampoco había tenido en cuenta otras dos fuerzas reveladas por los experimentos: la fuerza nuclear fuerte y la fuerza nuclear débil. La primera ofrece un potente pegamento que mantiene unidos los núcleos de los átomos, mientras que la segunda es responsable entre otras cosas de la desintegración radiactiva. Fueron cuatro las fuerzas: El sueño de *Einstein* parece más remoto: El electromagnetismo y la gravedad, junto a las anteriores formaban las cuatro fuerzas de la naturaleza.

**Electrodinámica cuántica:** Procede de la teoría cuántica de campos de fuerza electromagnéticos. Ha servido para realizar cálculos detallados de las propiedades magnéticas del electrón.

**Teoría de supercuerdas:** Nacimiento de la era de unificación. Emergió una estructura matemática difícil y misteriosa. La teoría de cuerdas se introdujo en la narrativa del universo: nuestro universo podría pertenecer a un multiverso. Las matemáticas de la teoría de cuerdas sugerían no sólo uno sino varios tipos diferentes de multiversos de los cuales nosotros podríamos ser parte.

**Masa de Planck:** El resultado de unas  $10^{19}$  veces la masa de un solo *protón* y comprimida en un volumen pequeño de unos  $10^{-99}$  centímetros cúbicos (aproximadamente una esfera de  $10^{-33}$  centímetros de radio, denominada "*longitud de Planck*").

Dominio de la gravedad cuántica: Está así, más de mil billones de veces más allá de las escalas que podemos sondear, incluso con los más potentes aceleradores del mundo.

**Teoría de cuerdas:** Debido al tamaño infinitesimal de la cuerda, del orden de la longitud de Planck  $-10^{-33}$  centímetros, con los medios actuales no se puede resolver la estructura extendida de la cuerda. Ni el *Gran Colisionador de Hadrones* que hace chocar las partículas con energías superiores a 10 billones de veces la energía que contiene un único protón en reposo, puede sondear escalas de hasta unos  $10^{-19}$  centímetros, pero todavía muchos órdenes de magnitud por encima de lo que sería necesario para resolver fenómenos de la escala de Planck. Según la teoría de cuerdas, las partículas son cuerdas. Vista la Tierra desde Plutón, las cuerdas parecerían puntos, cuando se estudiaran con un acelerador de partículas más avanzado del mundo.

**Modelo standard:** Es una teoría cuántica de campos que contiene cincuenta y siete campos cuánticos distintos (los campos correspondientes al electrón, al neutrino, al fotón y los diversos tipos de quarks: quark arriba, quark abajo, el quark encanto, etc.) Ha tenido un gran éxito, aunque de comprensión fundamental difícil.

La teoría de cuerdas no va añadiendo piezas para obtener una descripción de la naturaleza cada vez más completa. Busca una descripción completa desde el principio.

**Gravitón:** Debe carecer de masa y de carga, y debe tener la propiedad mecano-cuántica conocida como *espín 2* (de modo burdo el gravitón debería girar como una peonza) con una velocidad de giro doble que la de un fotón. La presencia de gravitones implicaba que la teoría de cuerdas era una teoría mecánico-cuántica matemáticamente consistente. La teoría de cuerdas proporcionó la teoría cuántica de la gravedad.

La teoría de cuerdas es el próximo y último paso del avance de la ciencia. En un marco único maneja los dominios reclamados por la relatividad y el cuanto. La teoría de cuerdas engloba por completo todos los descubrimientos que la precedían. Podría parecer que una teoría basada en filamentos vibrantes no tiene mucho en común con la imagen de la gravedad como espacio-tiempo curvo de la relatividad general. Así mismo filamentos vibrantes y partículas puntuales son completamente diferentes. Pero apliquemos las matemáticas de la teoría de cuerdas a una situación en donde la mecánica cuántica importe pero no la gravedad y las matemáticas de la teoría de cuerdas se transmutan en las matemáticas de la teoría cuántica de campos.

El esquema muestra las conexiones lógicas entre las teorías importantes que han desarrollado los físicos desde la época de Newton. La teoría de cuerdas podría haber requerido una ruptura con el pasado. Podría haber salido del esquema, pero lo destacable es que no lo hace. La teoría de cuerdas es suficientemente revolucionaria como para trascender las barreras que limitaban la física del siglo XX. Pero la teoría es suficientemente conservadora como para permitir que los últimos trescientos años de descubrimientos se acomoden perfectamente dentro de sus matemáticas.

**Las dimensiones del espacio:** Los cálculos revelaron que si el universo tuviera más dimensiones que las tres de la experiencia cotidiana podría depurarse las características problemáticas de las ecuaciones de la teoría de cuerdas. En concreto, en un universo con nueve dimensiones de espacio y una de tiempo para dar un total de diez dimensiones espacio-temporales, las ecuaciones de la teoría de cuerdas quedaban libres de problemas. Hay una ecuación de la teoría de cuerdas que tiene una contribución de la forma  $(D - 10)$  multiplicando por (*Problema*), donde  $D$  representa el número de dimensiones espacio-temporales y *Problema* es una expresión matemática que da lugar a fenómenos físicos problemáticos como la violación de la conservación de la energía. No hay una explicación intuitiva y no técnica. Todo incomprensible para el profano.

*Kaluza* reveló que en un universo con una dimensión espacio adicional, gravedad y electromagnetismo pueden describirse a la vez en términos de rizos espaciales. La gravedad

riza las tres dimensiones espaciales, mientras que el electromagnetismo riza la cuarta. Estos grandes problemas siguen en la actualidad sin resolverse. Hay esperanza de hacerlo.

La teoría de cuerdas va más allá de la teoría cuántica de campos en un aspecto clave al englobar la gravedad, eso por sí sólo sería un logro monumental. A baja energía las matemáticas de la teoría de cuerdas se transforman en las matemáticas de la teoría cuántica de campos.

**Ondas gravitatorias:** Cuando vibra una cuerda larga, crea rizos en el espacio-tiempo de una forma característica. Todavía no ha sido posible medir estos rizos.

**Radiación cósmica de fondo de microondas:** Ya se ha mostrado capaz de sondear la física cuántica. La capacidad detectable del satélite Planck de la Agencia Espacial Europea, su éxito o el fracaso darán detalles de cómo se habrán comportado las cuerdas en los primeros momentos del universo. Están en ello.

**Grandes esperanzas:** Durante los primeros días de la teoría de cuerdas, los avances se dieron a un ritmo tan rápido que era imposible estar al día de todos los desarrollos. Con esa excitación algunos teóricos hablaron de una rápida solución a los problemas importantes de la física fundamental: la fusión de gravedad y mecánica cuántica; la unificación de todas las fuerzas de la naturaleza; unas explicaciones de las propiedades de la materia; una determinación del número de dimensiones espaciales; la elucidación de las singularidades del agujero negro y el desvelamiento del origen del universo. Estas expectativas eran prematuras. La teoría de cuerdas es tan rica, tan amplia y tan matemáticamente difícil que la investigación casi tres décadas después de la euforia inicial nos ha dejado a medias en el camino de la exploración. El camino será largo.

## **FUENTES DE INFORMACIÓN**

- *Cogeneración*. Mario Villoros Martín, ingeniero industrial.
- *Vocabulario científico y técnico*. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- *La realidad oculta*. Brian Green, doctor en Física y Matemáticas, profesor en la Universidad de Columbia (EE.UU.)
- *La teoría del todo*. Stephen W. Hawking.
- *Historia del tiempo*. Stephen W. Hawking.
- *Brevísima historia del tiempo*. Stephen W. Hawking.
- *El universo en una cáscara de nuez*. Stephen W. Hawking., doctor en Cosmología y catedrático de Matemáticas en la Universidad de Cambridge (Gran Bretaña).
- *La Vanguardia*. Joseph Corbella, periodista científico.
- *Sección de "La contra", de La Vanguardia*.

Valencia, julio - septiembre de 2012.