

# El Tao De La Física

Comentario [LT1]:

Segunda parte

*Fritjof Capra*



Título original: THE TAO OF PHYSICS

*Dedico este libro a:*

Ali Akbar Khan  
Carlos Castaneda  
Geoffrey Chew  
John Coltrane  
Werner Heisenberg  
Krishnamurti  
Liu Hsiu Ch'i  
Phiroz Mehta  
Jerry Shesko  
Bobby Smith  
Maria Teuffenbach  
Alan Watts,

*por haberme ayudado a encontrar mi camino, y a Jacqueline, que ha viajado conmigo sobre él la mayor parte del tiempo.*

Probablemente, una verdad muy general en la historia del pensamiento humano la constituya el hecho de que los más fructíferos descubrimientos tienen lugar en aquellos puntos en los que se encuentran dos líneas de pensamiento distintas. Estas líneas pueden tener sus raíces en sectores muy diferentes de la cultura humana, en diferentes épocas, en diferentes entornos culturales o en diferentes tradiciones religiosas. Por ello, si tal encuentro sucede, es decir, si entre dichas líneas de pensamiento se da, al menos, una relación que posibilite cualquier interacción verdadera, podemos entonces estar seguros que de allí surgirán nuevos e interesantes descubrimientos.

*Werner Heisenberg*

## 12 ESPACIO-TIEMPO

La física moderna ha confirmado del modo más espectacular una de las ideas básicas del misticismo oriental: que todos los conceptos que empleamos para describir la naturaleza son limitados, que no son rasgos de la realidad, como se tiende a creer, sino creaciones de la mente, partes del mapa, no del territorio. Cada vez que ampliamos el ámbito de nuestra experiencia, las limitaciones de la mente racional se hacen evidentes y tenemos que modificar, o incluso abandonar, algunos de nuestros conceptos previos.

Nuestras concepciones sobre el espacio y el tiempo ocupan un lugar importante en nuestro mapa de la realidad. Nos sirven para ordenar las cosas y los acontecimientos de nuestro medio ambiente y por ello son de capital importancia, no sólo en nuestra vida diaria, sino también en nuestros intentos por comprender la naturaleza, a través de la ciencia y de la filosofía. No existe una sola ley física que para su formulación no necesite de los conceptos de espacio y tiempo. La profunda modificación de estos básicos conceptos generada por la teoría de la relatividad supuso, por consiguiente, una de las mayores revoluciones acaecidas en la historia de la ciencia.

La física clásica se basaba en la idea de un espacio tridimensional, absoluto e independiente de los objetos materiales contenidos en él, y que obedecía a las leyes de la geometría euclidiana. Y también sobre la idea del tiempo como una dimensión aparte, también absoluta, que fluye de un modo uniforme, e independiente del mundo material. En Occidente, estos conceptos de espacio y tiempo estaban tan profundamente arraigados en las mentes de los filósofos y de los científicos que eran considerados como propiedades de la naturaleza verdaderas e incuestionables.

La creencia de que la geometría era algo inherente a la naturaleza, en lugar de formar parte del esquema que empleamos para describirla, procede del pensamiento griego. La geometría demostrativa constituía la parte central de las matemáticas griegas y tenía una profunda influencia sobre la filosofía. Su método de hallar los teoremas mediante el razonamiento deductivo a partir de axiomas incuestionables se convirtió en la característica central del pensamiento filosófico griego. Así la Geometría se hallaba en el mismo centro de todas las actividades intelectuales y constituía la base de todo adiestramiento filosófico. Se dice que en la verja de entrada a la Academia de Platón, en Atenas, había una inscripción que decía: "No te está permitido entrar aquí, a menos que sepas Geometría". Los griegos creían que sus teoremas matemáticos eran expresiones de verdades eternas y exactas del mundo real, y que las formas geométricas eran manifestaciones de la belleza absoluta. La geometría estaba considerada como la combinación perfecta de la lógica y la belleza y así se creyó en su origen divino. De ahí la sentencia de Platón: "Dios es géometa".

Puesto que la geometría era considerada como una revelación de Dios, para los griegos era obvio que el cielo debía mostrar formas geométricas perfectas. Es decir, que los cuerpos celestes tenían que moverse en círculos. Para que la imagen fuera todavía más geométrica, se les creía fijos en una serie de esferas cristalinas concéntricas, que se movían como un todo, con la Tierra en el centro.

En los siglos siguientes, la geometría griega continuó ejerciendo una fuerte influencia sobre la filosofía y la ciencia de occidente. Los *Elementos* de Euclides fue libro de texto usual en las escuelas europeas hasta principios de este siglo, y la geometría euclidiana fue considerada durante más de mil años como la verdadera naturaleza del espacio. Fue necesario un Einstein para hacer ver a los científicos y filósofos que la geometría no es algo inherente a la naturaleza, sino que fue impuesta sobre ella por la mente. En palabras de Henry Margenau:

*El principal descubrimiento de la teoría de la relatividad es que la geometría... es una creación del intelecto. Sólo una vez aceptado esto, podrá la mente sentirse libre para manejar los consagrados conceptos de espacio y tiempo, examinar la gama de posibilidades adecuada para definirlos, y seleccionar la formulación que concuerde con las observaciones efectuadas.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> P. A. Schilpp, Albert Einstein; *Philosopher-Scientist*, pág. 250.

La filosofía oriental, al contrario que la griega, siempre mantuvo que el espacio y el tiempo son creaciones de la mente. Los místicos orientales los trataron como a todos los demás conceptos intelectuales: como algo relativo, limitado e ilusorio. En un texto budista, por ejemplo, hallamos estas palabras:



*El Buda enseñó, oh monjes, que... el pasado, el futuro, el espacio físico... y las individualidades, no son más que nombres, formas de pensamiento, palabras de uso común, realidades meramente superficiales.<sup>2</sup>*

<sup>2</sup> Madhyamika Karika Vrtú, citado por T. R. V. Murti en The Central Philosophy of Buddhism, pág. 198.

Así, en el lejano Oriente, la geometría nunca logró el estatus alcanzado en la antigua Grecia, aunque esto no significa que los hindúes y los chinos tuvieran poco conocimiento de ella, pues la empleaban en la construcción de altares de formas geométricas precisas, en la medición de las tierras y en la cartografía de los cielos, pero nunca para determinar verdades abstractas y eternas. Esta actitud filosófica también quedó reflejada en el hecho de que la antigua ciencia de aquellas culturas, generalmente no consideraba necesario encajar a la naturaleza en un diagrama formado por líneas rectas y círculos perfectos. Las observaciones de Joseph Needham sobre la astronomía china son muy interesantes a este respecto:

*Los (astrónomos) chinos no sintieron necesidad de usar en sus explicaciones las formas (geométricas), los componentes del organismo universal seguían su Tao, cada uno de acuerdo a su propia naturaleza y sus movimientos pudieron ser tratados en la forma esencialmente "no-representativa" del álgebra. De este modo, lo chinos se vieron libres de la obsesión de los astrónomos europeos por el círculo como la figura más perfecta... y tampoco experimentaron la prisión medieval de las esferas cristalinas.<sup>3</sup>*

<sup>3</sup> J. Needham, Science and Civilisation in China, pág. 458.

Así, los antiguos filósofos y científicos orientales tenían ya la disposición que sería tan básica para la teoría de la relatividad: considerar que nuestras nociones de geometría no son propiedades de la naturaleza, absolutas e inamovibles, sino construcciones intelectuales. En palabras de Ashvag-hosha:

*Que quede claro que el espacio no es más que un modo de particularización y que no tiene una existencia real por sí mismo... El espacio sólo existe en relación con nuestra consciencia particularizante.<sup>4</sup>*

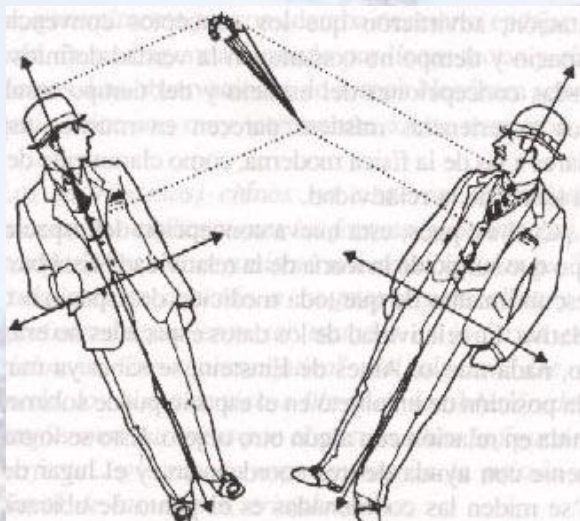
<sup>4</sup> Ashvag-hosha, The Awakening of Faith, pág. 107.

Lo mismo ocurre con nuestra idea del tiempo. Los místicos orientales relacionan las nociones de espacio y tiempo con estados de consciencia particulares. Al ser capaces de ir más allá del estado ordinario de consciencia mediante la meditación, advirtieron que los conceptos convencionales de espacio y tiempo no constituyen la verdad definitiva. Las refinadas concepciones del espacio y del tiempo resultantes de sus experiencias místicas parecen en muchos aspectos similares a las de la física moderna, corvo claramente demuestra la teoría de la relatividad.

¿Cuál es, pues, esta nueva concepción del espacio y del tiempo que surgió de la teoría de la relatividad? Está basada en el descubrimiento de que toda medición de espacio o tiempo es relativa. La relatividad de los datos espaciales no era, desde luego, nada nuevo. Antes de Einstein, se sabía ya muy bien que la posición de un objeto en el espacio puede solamente ser definida en relación con algún otro objeto. Esto se logra generalmente con ayuda de tres coordenadas, y el lugar desde el cual se miden las coordenadas es el punto de ubicación del "observador".

Para ilustrar la relatividad de tales coordenadas, imaginemos dos observadores que flotan en el espacio y están observando un paraguas, tal como muestra el dibujo. El observador A ve el paraguas a su izquierda y ligeramente inclinado, de forma que el extremo superior está más cerca de él. El observador B, por el contrario, ve el paraguas a su derecha y de tal manera que el extremo superior está más alejado. Si extendemos a tres dimensiones este ejemplo bidimensional quedará claro que todos los datos espaciales -tales como "izquierda", "derecha", "arriba", "abajo", "oblicuo", etc.-, dependerán totalmente de la situación del observador y por tanto serán relativos. Todo esto ya era conocido mucho tiempo antes de surgir la teoría de la relatividad. En lo que al tiempo se refiere, la situación era del todo diferente. El orden temporal de dos sucesos se consideraba totalmente independiente de cualquier observador. Los adjetivos temporales -tales como "antes", "después" o "simultáneo"- se creía que tenían un significado absoluto, independiente de cualquier sistema de coordenadas.





Dos observadores, A y B, observando un paraguas.

Einstein descubrió que las ubicaciones temporales, también son relativas y dependen del observador. En la vida diaria, la impresión de que es posible ordenar los sucesos que nos rodean en una secuencia temporal única la produce por el hecho de que la velocidad de la luz -300.000 kilómetros por segundo- es tan alta comparada con cualquier otra velocidad que podamos experimentar que resulta factible suponer que estamos observando los sucesos en el mismo instante en que ocurren. Sin embargo, ello es incorrecto. La luz necesita un tiempo para viajar desde el suceso al observador. Normalmente, este tiempo es tan corto que la propagación de la luz puede considerarse como instantánea,

pero cuando el observador se mueve a una velocidad elevada con relación a los fenómenos observados el período de tiempo transcurrido entre el suceso y su observación juega un papel crucial a la hora de establecer la secuencia de los acontecimientos. Einstein advirtió que en este caso, observadores que se movieran a velocidades diferentes ordenarían los sucesos en el tiempo de un modo diferente. Dos sucesos que un observador considera que ocurren simultáneamente, pueden suceder en diferentes secuencias de tiempo para otros. Con las velocidades ordinarias, la diferencia es tan pequeña que no puede ser detectada, pero cuando las velocidades se aproximan a la velocidad de la luz, los efectos son ya medibles. En la física de alta tecnología, donde los sucesos son interacciones entre partículas que se mueven casi a la velocidad de la luz, la relatividad del tiempo es algo bien establecido y ha sido confirmado por incontables experimentos.

\* Debemos tener en cuenta el hecho esencial de que la velocidad de la luz es la misma para todos los observadores.

\*\* En este caso hay que tener en cuenta que el observador está en reposo en su laboratorio, mientras los sucesos que él observa son producidos por partículas que se mueven a diferentes velocidades. El efecto es el mismo. Lo que cuenta es el movimiento relativo entre el observador y los sucesos observados. Cuál de los dos se mueva con relación al laboratorio carece de importancia.

Esta relatividad del tiempo nos obliga también a abandonar el concepto newtoniano del espacio absoluto. Dicho espacio se consideraba que contenía una configuración de materia definida en cada momento, sin embargo, ahora que la simultaneidad es un concepto relativo, que depende del movimiento del observador, ya no es posible definir tal instante determinado para la totalidad del universo. Un suceso distante que para un observador tiene lugar en algún momento determinado, puede suceder antes o después para otro. Por lo tanto, no es posible hablar del "universo en un momento dado" de una manera absoluta. No existe un espacio absoluto, independiente del observador.

La teoría de la relatividad ha venido así a demostrar que, todas las mediciones que impliquen espacio y tiempo carecen de significado absoluto y nos ha obligado a abandonar los conceptos clásicos de espacio y tiempo como magnitudes absolutas. Mendel Sachs expresó la fundamental importancia de esta evolución con las siguientes palabras:

*La verdadera revolución que trajo la teoría de Einstein fue el abandono de la idea de que el sistema de coordenadas de espacio y tiempo tenía un significado objetivo como entidad física independiente. En lugar de esta idea, la teoría de la relatividad nos dice que las coordenadas de espacio y tiempo son sólo los elementos de un lenguaje, que es utilizado por un observador para describir su medio ambiente.<sup>5</sup>*

<sup>5</sup> M. Sachs, Space-Time and Elementary Interactions in Relativity Physics Today, vol. 22 (febrero, 1969), pág. 53.



Esta afirmación, hecha por un físico contemporáneo, nos muestra la estrecha afinidad existente entre las nociones de espacio y tiempo de la física moderna y las de los místicos orientales, quienes, como ya mencionamos antes, sostienen que el espacio y el tiempo "no son más que nombres, formas de pensamiento, palabras de uso común".

Al quedar el espacio y el tiempo reducidos al subjetivo papel de elementos del lenguaje utilizado por un determinado observador para describir los fenómenos naturales, cada observador describirá dichos fenómenos de un modo diferente. Si de sus descripciones inferimos algunas leyes naturales del universo, estas leyes tendrán que ser formuladas de tal modo que tengan la misma forma en todos los sistemas de coordenadas, es decir, que sean válidas para todos los observadores, aunque éstos se hallen en posiciones diferentes y tengan movimientos distintos. Este requisito es conocido como principio de la relatividad y fue, de hecho, el punto de partida de la teoría de la relatividad. Es interesante ver que el germen de la teoría de la relatividad se hizo aparente en algo que se le ocurrió a Einstein cuando tenía dieciséis años. Trató de imaginar cómo le parecería un rayo de luz a un observador que viajase con él a la velocidad de la luz y llegó a la conclusión de que tal observador vería el rayo de luz como un campo electromagnético que oscilaría hacia atrás y hacia adelante, sin moverse, es decir, sin formar una onda. Tal fenómeno, sin embargo, es desconocido en física. Así, al joven Einstein, le pareció que algo que un observador veía como un fenómeno electromagnético bien conocido, digamos una onda de luz, aparecería para otro observador como un fenómeno contrario a las leyes de la física, y esto no podía aceptarlo. Años después, Einstein comprendió que el principio de la relatividad encaja con la descripción de los fenómenos electromagnéticos sólo si las coordenadas espaciales y temporales son relativas. Entonces las leyes de la mecánica, que gobiernan los fenómenos relacionados con los cuerpos en movimiento y también las leyes de la electrodinámica, la teoría de la electricidad y el magnetismo, pueden formularse dentro de un marco común "relativista" que integra el tiempo a las tres coordenadas de espacio, como una coordenada más, que depende del observador.

Para comprobar si el principio de la relatividad se cumple, es decir, si las ecuaciones de una teoría permanecen idénticas en todos los sistemas de coordenadas, es necesario traducir los datos de espacio y tiempo de un "marco de referencia" o sistema de coordenadas, a otro. Estas conversiones o "transformaciones" como se denominan, ya eran bien conocidas y ampliamente utilizadas en la física clásica. La transformación entre los dos marcos de referencia representados en el dibujo de la pág. 214, por ejemplo, considera a cada una de las dos coordenadas del observador A (una horizontal y una vertical, como indican las flechas del dibujo) como una combinación de las coordenadas del observador B, y viceversa. Los resultados exactos pueden obtenerse fácilmente con ayuda de la geometría elemental.

En la física relativista, se presenta una situación nueva, pues hay que añadir el tiempo a las tres coordenadas espaciales, como una cuarta dimensión. Puesto que las transformaciones entre diferentes marcos de referencia muestran a cada coordenada de uno de los marcos como una combinación de las coordenadas de los demás, la coordenada "espacio" de uno de los marcos aparecerá en los demás como una mezcla de las coordenadas de espacio y tiempo. Esta es una situación totalmente nueva, pues cada cambio de sistemas de coordenadas mezcla el espacio y el tiempo de una forma matemáticamente bien definida. Dejan de estar separados, pues lo que es espacio para un observador, será una mezcla de espacio y tiempo para otro. La teoría de la relatividad ha demostrado que el espacio no es tridimensional y que el tiempo no es una entidad separada. Los dos están íntima e inseparablemente relacionados y forman un continuo cuatridimensional denominado "espacio-tiempo". Este concepto de espacio-tiempo fue presentado por Hermann Minkowski en una famosa conferencia que dio en 1908, con las siguientes palabras:

*Los puntos de vista sobre el espacio y el tiempo que deseo exponer ante ustedes, han surgido del campo de la física experimental, y en esto consiste su fuerza. Son radicales. Desde hoy en adelante el espacio por sí solo, y el tiempo por sí solo, están destinados a desvanecerse en meras sombras, y únicamente algún tipo de unión entre ambos conservará realidad independiente.<sup>6</sup>*

<sup>6</sup> A. Einstein et al, The Principle of Relativity Dover Publications, Nueva York, 1923), pág. 75,

Los conceptos de espacio y tiempo son tan básicos para la descripción de los fenómenos naturales que su modificación supone alterar todo el marco utilizado por la física para describir la naturaleza. En este nuevo marco, el espacio y el tiempo son tratados del mismo modo y están inseparablemente unidos. En la física relativista no es posible hablar de espacio sin hablar también



de tiempo y viceversa. Este nuevo patrón tendrá que ser utilizado siempre que se describan fenómenos que impliquen altas velocidades.

El íntimo lazo existente entre el espacio y el tiempo era ya bien conocido en astronomía, aunque en un contexto diferente, mucho antes de que surgiera la teoría de la relatividad. Los astrónomos y astrofísicos tratan con distancias extremadamente grandes, y una vez más es importante en este caso el hecho de que la luz necesita tiempo para viajar desde el objeto observado hasta el observador. A causa de la velocidad finita de la luz, el astrónomo nunca ve el universo en su estado presente, sino que siempre lo hace mirando hacia atrás, al pasado. La luz tarda ocho minutos en viajar desde el Sol a la Tierra, es decir que, en cualquier momento, vemos el Sol como era hace ocho minutos. Del mismo modo, vemos la estrella más próxima como existía hace cuatro años, y con los telescopios más potentes podemos ver las galaxias como existieron hace millones de años.

La velocidad finita de la luz no es en absoluto una desventaja para los astrónomos, sino que más bien constituye una gran ventaja. Les permite observar la evolución de las estrellas, grupos de estrellas o galaxias en todas sus fases, tan sólo observando dentro del espacio y hacia atrás en el tiempo. Todos los tipos de fenómenos ocurridos durante los últimos millones de años pueden ser observados hoy en alguna parte de los cielos. De este modo, los astrónomos, están acostumbrados a la estrecha relación existente entre espacio y tiempo. Lo que nos dice la teoría de la relatividad es que esta relación es importante no sólo cuando tratamos con grandes distancias, sino también cuando lo hacemos con altas velocidades. Incluso aquí en la Tierra, la medición de cualquier distancia no es independiente del tiempo, pues ésta deberá incluir el estado de movimiento del objeto, y por consiguiente una referencia al tiempo.

La unificación de espacio y tiempo supone -como ya mencioné en el capítulo anterior- una unificación de otros conceptos básicos, y precisamente este aspecto unificador constituye el rasgo más característico de la estructura relativista. Conceptos que parecían sin relación alguna en la física no-relativista son ahora considerados como aspectos diferentes de un mismo y único concepto. Esta característica le confiere al marco relativista una gran elegancia y belleza matemática. Muchos años de trabajo con la teoría de la relatividad nos han hecho apreciar esta elegancia y han hecho que lleguemos a familiarizarnos totalmente con su formulismo matemático. Sin embargo, todo esto no ha ayudado mucho a nuestra intuición. Carecemos de experiencia sensorial directa del espacio-tiempo cuatridimensional, y también de todos los demás conceptos relativistas. Cada vez que estudiamos fenómenos naturales en los que se dan altas velocidades, nos resulta extremadamente difícil tratar con estos conceptos al nivel de la intuición y del lenguaje ordinario.

Por ejemplo, en la física clásica se suponía que una vara, ya se halle en movimiento o reposo tendrá siempre la misma longitud. La teoría de la relatividad ha demostrado que esto no es cierto. La longitud de un objeto depende de su movimiento con relación al observador y cambia con la velocidad de ese movimiento. Este cambio ocurre de tal modo que el objeto se contrae en la dirección de su movimiento. Una vara tiene su longitud máxima en un marco de referencia cuando está en reposo, y se hace más corta a medida que su velocidad aumenta con relación al observador. En los experimentos de "dispersión" de la física de alta energía, donde las partículas colisionan a velocidades extremadamente altas, la contracción relativista es tan extrema que las partículas esféricas quedan reducidas a "tortitas".

Es importante darnos cuenta de que no tiene sentido preguntar cuál es la longitud "real" de un objeto, del mismo modo que en la vida diaria no tiene ningún sentido preguntar la verdadera longitud de la sombra de alguien. La sombra es una proyección de puntos de espacio tridimensional en un plano de dos dimensiones, y su longitud será diferente si los ángulos de proyección son diferentes. Del mismo modo, la longitud de un objeto en movimiento es la proyección en un espacio de tres dimensiones de puntos de un espacio-tiempo cuatridimensional y su longitud será diferente si los marcos de referencia son diferentes.

Lo mismo que ocurre con las distancias ocurre con los intervalos de tiempo, pues también dependen de los marcos de referencia, sin embargo, al contrario que las distancias espaciales se hacen más largos a medida que la velocidad relativa al observador aumenta. Esto significa que los relojes en movimiento van más despacio, el tiempo se ralentiza. Estos relojes pueden ser de cualquier tipo: mecánicos, atómicos o incluso el latido de un corazón humano. Si uno de dos gemelos hiciera un largo y rápido viaje por el espacio exterior, al volver sería más joven que su hermano, porque todos sus "relojes" -el latido de su corazón, su flujo sanguíneo, sus ondas cerebrales, etc.- habrían ido más despacio durante el viaje, desde el punto de vista del hombre de la Tierra. Sin embargo el propio viajero no advertiría nada anormal, pero a su regreso se asombraría al ver que su hermano gemelo era mucho más viejo que él. Tal vez este "absurdo de



los gemelos" sea el más famoso de la física moderna. Ha provocado acaloradas discusiones en publicaciones científicas, algunas de las cuales todavía continúan: prueba elocuente de que la realidad descrita por la teoría de la relatividad no puede ser comprendida de una manera fácil por nuestro entendimiento ordinario.

El retraso experimentado por los relojes en movimiento, por increíble que pueda parecer, es algo perfectamente comprobado en la física de las partículas. La mayor parte de las partículas subatómicas son inestables, es decir, después de cierto tiempo se desintegran en otras partículas. Numerosos experimentos han confirmado el hecho de que el tiempo de vida de una partícula inestable depende de su movimiento. Si aumenta la velocidad de la partícula, su tiempo de vida aumenta igualmente. Las partículas que se mueven a una velocidad que sea el 80% de la velocidad de la luz viven aproximadamente 1,7 veces más que sus "hermanas gemelas" más lentas, y si su velocidad es el 99% de la velocidad de la luz, viven aproximadamente 7 veces más. Esto no quiere decir que el tiempo de vida intrínseco de la partícula varíe. Desde el punto de vista de la partícula, su tiempo de vida es siempre el mismo, sin embargo desde el punto de vista del observador que está en el laboratorio el "reloj interno" de la partícula se ha retrasado, y por lo tanto, vive más tiempo.

<sup>6</sup> Tal vez debería mencionar un pequeño punto técnico. Cuando hablamos del tiempo de vida de un determinado tipo de partícula, siempre nos referimos al tiempo medio de vida. Debido al carácter estadístico de la física subatómica, no es posible hacer ninguna afirmación sobre partículas individuales.

Todos estos efectos relativistas parecen extraños porque con nuestros sentidos no experimentamos el espaciotiempo cuatridimensional, sino que sólo podemos observar sus "reflejos tridimensionales". Estos reflejos o imágenes tendrán aspectos diferentes en marcos de referencia diferentes. Los objetos en movimiento parecen diferentes de los objetos en reposo, y los relojes en movimiento funcionan a un ritmo diferente. Estos efectos parecerán absurdos si no nos damos cuenta de que son sólo las proyecciones tridimensionales de fenómenos que tienen lugar en cuatro dimensiones, de la misma manera que las sombras son proyecciones de objetos tridimensionales. Si pudiésemos captar la realidad espacio-temporal cuatridimensional, veríamos que en ella no hay nada absurdo.

Los místicos orientales, como antes mencioné, parecen ser capaces de alcanzar estados de consciencia no ordinarios, en los cuales trascienden el mundo tridimensional de la vida cotidiana, llegando a experimentar una realidad multidimensional, más elevada. Así, Aurobindo habla de "un cambio sutil que hace que la vista vea en una especie de cuarta dimensión".<sup>7</sup> Las dimensiones de estos estados de consciencia tal vez no sean las mismas que las que estamos tratando en la física relativista, pero resulta sorprendente que hayan guiado a los místicos hacia conceptos de espacio y tiempo muy similares a los manejados en la teoría de la relatividad.

<sup>7</sup> S. Aurobindo, *The Synthesis of Yoga* (Aurobindo, Ashram, Pondicherry, India, 1957), pág. 993.

Una poderosa intuición sobre el carácter "espacio temporal" de la realidad parece imbuir a todo el misticismo oriental. El hecho de que espacio y tiempo estén inseparablemente ligados, algo tan característico de la física relativista, es resaltado una vez y otra por los místicos. Esta idea intuitiva del espacio y del tiempo tuvo, quizá, su más clara expresión y su elaboración más trascendental dentro del budismo, y en particular en la escuela *Avatamsaka* del budismo Mahayana. *El Avatamsaka Sutra*, que constituye el fundamento de esta escuela, da una vívida descripción de cómo se experimenta el mundo en el estado iluminado. La consciencia de la "interpenetración del espacio y el tiempo", expresión perfecta para describir la realidad espacio-temporal, es repetidamente resaltada en dicho *sutra* y está considerada como la característica esencial del estado mental iluminado. En palabras de D. T. Suzuki:

*El significado del Avatamsaka y de su filosofía será incomprensible a menos que experimentemos... un estado de completa disolución, donde no exista diferenciación entre la mente y el cuerpo, entre el sujeto y el objeto... Entonces miramos alrededor y vemos eso... que cada objeto está relacionado con todos los demás objetos... no sólo espacialmente, sino temporalmente... Experimentamos que no hay espacio sin tiempo, que no hay tiempo sin espacio; que se interpenetran.*<sup>8</sup>

<sup>8</sup> D. T. Suzuki, *Mahayana Buddhism* (Allen & Unwin, Londres, 1959), pág. 33.



Casi no se podría encontrar mejor manera de describir el concepto relativista espacio-temporal. Comparando lo expresado por Suzuki con cita anterior de Minkowski, es también interesante observar que, tanto el físico como el budista, hacen resaltar el hecho de que sus ideas espacio-temporales están basadas en la experiencia, científica en un caso y mística en otro.

En mi opinión, la intuición de los místicos orientales sobre el tiempo constituye una de las principales razones por las que sus conceptos sobre la naturaleza parecen encajar, en general, mucho mejor con los conceptos científicos modernos, de lo que ocurre con la mayoría de los conceptos filosóficos griegos. La filosofía natural griega era, en conjunto, esencialmente estática y generalmente estaba basada en consideraciones geométricas. Podríamos decir que era extremadamente "no-relativista", y su fuerte influencia sobre el pensamiento occidental puede muy bien ser una de las razones por las que en la actualidad seguimos teniendo dificultades conceptuales tan grandes con los modelos relativistas de la física moderna. Las filosofías orientales, sin embargo, son filosofías "espacio-temporales", y por ello su intuición se aproxima más a la concepción de la naturaleza que presentan nuestras modernas teorías relativistas.

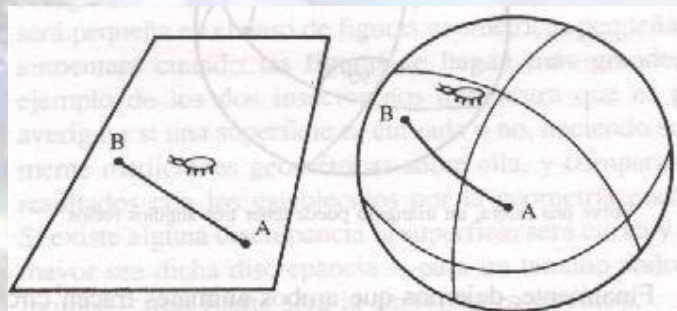
La evidencia de que espacio y tiempo están íntimamente relacionados y se interpenetran hace que los puntos de vista sobre el mundo tanto de la física moderna como del misticismo oriental sean intrínsecamente dinámicos y contengan el tiempo y el cambio como elementos esenciales. Esto lo trataremos con mayor detalle en el capítulo siguiente, pues constituye el segundo tema principal, que se repite frecuentemente a lo largo de esta comparación entre la física y el misticismo oriental, siendo el primero la unidad de todas las cosas y sucesos. Al ir estudiando los modelos y las teorías relativistas de la física moderna, veremos que todos ellos resultan impresionantes ilustraciones de los dos elementos básicos de la visión oriental del mundo: la unidad de todo el universo y su carácter intrínsecamente dinámico.

La teoría de la relatividad tratada hasta ahora se conoce con el nombre de "teoría especial de la relatividad". Suministra un marco común para la descripción de los fenómenos relacionados con los cuerpos en movimiento y con la electricidad y el magnetismo, siendo los rasgos básicos de este marco la relatividad del espacio y el tiempo y su unificación dentro del espacio-tiempo cuatridimensional.

En la "teoría general de la relatividad", el marco de la teoría especial se amplía, para incluir a la gravedad. El efecto de la gravedad, según la relatividad general, es curvar el espacio-tiempo. Esto, de nuevo, resulta bastante difícil de imaginar. Podemos imaginar con facilidad una superficie bidimensional curvada, como por ejemplo la superficie de un huevo, pues tales superficies curvadas las podemos ver en nuestro espacio tridimensional. El significado de la palabra curvatura para las superficies curvadas bidimensionales está así bastante claro, pero al llegar al espacio tridimensional - dejemos a un lado el espacio-tiempo cuatridimensional nuestra imaginación nos abandona ya. Puesto que no podemos ver al espacio tridimensional desde fuera, es imposible imaginar cómo puede "doblarse en alguna dirección".

Para comprender este espacio-tiempo curvo, nos vemos obligados a emplear superficies curvas bidimensionales como analogías. Imaginemos, por ejemplo, la superficie de una esfera. El hecho importante que hace posible la analogía con el espacio-tiempo cuatridimensional es que la curvatura es una propiedad intrínseca de esa superficie y puede ser medida sin necesidad de adentrarnos en el espacio tridimensional. Un insecto bidimensional, que caminara por la superficie de una esfera y fuera incapaz de experimentar el espacio tridimensional, podría, no obstante, averiguar que la superficie sobre la que está viviendo está curvada, siempre que fuera capaz de hacer mediciones geométricas.

Para comprender esto, tenemos que comparar la geometría de nuestro bichito de la esfera con la de un insecto similar que estuviera sobre una superficie plana. Supongamos que los dos insectos comienzan sus estudios de geometría dibujando una línea recta, definida como el camino más corto entre dos puntos. El resultado se muestra a continuación.

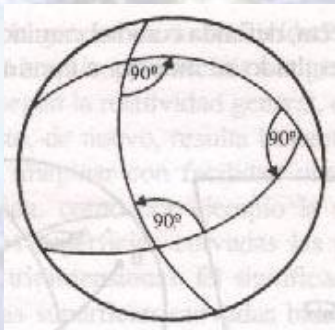


Dibujo de una "Línea Recta" sobre un plano y sobre una esfera

Vemos que el insecto de la superficie plana ha trazado una preciosa línea recta, pero, ¿qué hizo el insecto de la esfera? Para él, la línea que trazó es el camino más corto entre los



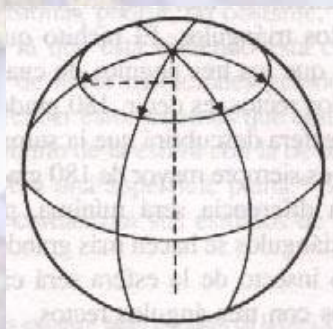
dos puntos A y B, dado que cualquier otra línea que pudiera dibujar sería más larga, sin embargo desde nuestro punto de vista la reconocemos como curva (concretamente como el arco de un gran círculo). Ahora supongamos que los dos insectos estudian los triángulos. El bichito que está sobre el plano descubrirá que los tres ángulos de cualquier triángulo suman dos ángulos rectos, es decir, 180 grados, sin embargo el que está en la esfera descubrirá que la suma de los ángulos de sus triángulos es siempre mayor de 180 grados. En triángulos pequeños, la diferencia será mínima, pero aumenta a medida que los triángulos se hacen más grandes; y como caso extremo, nuestro insecto de la esfera será capaz incluso de dibujar triángulos con tres ángulos rectos.



Sobre una esfera, un triángulo puede tener tres ángulos rectos

tridimensional nos permite ver que lo que el insecto llama radio de su círculo es en realidad una curva, que por lo tanto será siempre más larga que el verdadero radio del círculo.

Finalmente, dejemos que ambos animales tracen círculos y midan su circunferencia. El insecto que está sobre el plano descubrirá que la longitud de la circunferencia es siempre igual al radio multiplicado por  $2\pi$ , independientemente del tamaño del círculo. Sin embargo, el de la esfera observará que la longitud de su circunferencia será siempre menor que el radio multiplicado por  $2\pi$ . Como se puede ver en las figuras, nuestro punto de vista



Sobre una esfera, un triángulo puede tener tres ángulos rectos

A medida que los dos insectos progresan en su estudio de la geometría, el que se encuentra sobre el plano descubrirá los axiomas y las leyes de la geometría euclidiana, sin embargo su colega de la esfera descubriría leyes diferentes. La diferencia será pequeña en el caso de figuras geométricas pequeñas, pero aumentará cuando las figuras se hagan más grandes.

Este ejemplo de los dos insectos nos demuestra que es posible averiguar si una superficie es curvada o no, haciendo sencillamente mediciones geométricas sobre ella, y comparando los resultados con los establecidos por la geometría euclidiana. Si existe alguna discrepancia la superficie será curva y cuanto mayor sea dicha discrepancia -para un tamaño dado de las figuras- más fuerte será la curvatura en cuestión.

Del mismo modo, podemos definir un espacio tridimensional curvo como aquél en el que la geometría euclidiana no es válida. Las leyes de la geometría en dicho espacio serán diferentes, de un tipo "no-euclidiano". Tal geometría no euclidiana fue ya presentada como una idea matemática puramente abstracta en el siglo XIX por el matemático Georg Riemann, no siendo entonces considerada más que eso, una idea abstracta, hasta que Einstein hizo la revolucionaria declaración de que el espacio tridimensional en el que vivimos es realmente curvo. Según la teoría de Einstein, la curvatura del espacio es producida por los campos gravitacionales de los cuerpos sólidos. Siempre que haya un objeto sólido, el espacio que lo rodee será curvo, y el grado de curvatura, es decir, el grado en que la geometría se desviará del modelo de Euclides, dependerá de la masa del objeto.



Las ecuaciones que relacionan la curvatura del espacio con la distribución de la materia en ese espacio se denominan ecuaciones de campo de Einstein. Pueden aplicarse no sólo para determinar las variaciones locales de la curvatura en la proximidad de las estrellas y de los planetas, sino también para averiguar si existe una curvatura de conjunto en el espacio a gran escala. Esto es, las ecuaciones de Einstein pueden emplearse para determinar la estructura del universo como un todo. Desgraciadamente, no dan una respuesta única. Varias soluciones matemáticas son posibles para estas ecuaciones, y estas soluciones constituyen los diversos modelos de universo estudiado en cosmología, algunos de los cuales veremos en los siguientes capítulos. Averiguar cuál de ellos corresponde a la estructura real de nuestro universo constituye la principal tarea de la cosmología actual.

Dado que en la teoría de la relatividad el espacio nunca puede separarse del tiempo, la curvatura causada por la gravedad no podrá estar limitada al espacio tridimensional, sino que deberá extenderse al espacio-tiempo cuatridimensional y esto es, en realidad, lo que predice la teoría de la relatividad. En un espacio-tiempo curvo, las distorsiones originadas por la curvatura afectan no sólo a las relaciones espaciales descritas por la geometría, sino también a las longitudes de los intervalos de tiempo. El tiempo no fluye allí en la misma proporción que en el "espacio tiempo plano", y a medida que la curvatura varíe de un lugar a otro, según sea la distribución de los cuerpos sólidos, lo mismo ocurrirá con el flujo del tiempo. Sin embargo es importante advertir que esta variación del flujo del tiempo podrá ser percibida sólo por un observador que permanezca en un lugar diferente del ocupado por los relojes usados para medir la variación. Si el observador, por ejemplo, fuese a un lugar donde el tiempo va más despacio, todos sus relojes se atrasarían también y no tendría forma de medir esta variación.

En nuestro entorno terrestre, los efectos de la gravedad sobre el tiempo y el espacio son tan pequeños que resultan insignificantes, sin embargo en astrofísica, ciencia que trata con cuerpos extremadamente sólidos, como planetas, estrellas y galaxias, la curvatura del tiempo sí es un fenómeno importante. Todas las observaciones han confirmado la teoría de Einstein y así nos obligan a creer que el espacio-tiempo es en realidad curvo. Los efectos más exagerados de la curvatura del espacio-tiempo se muestran durante el colapso gravitacional de una estrella sólida. Según las ideas actualmente vigentes en astrofísica, toda estrella llega en su evolución a una etapa en la que se colapsa, debido a la mutua atracción gravitacional de sus partículas. Puesto que esta atracción aumenta con gran rapidez a medida que disminuye la distancia entre las partículas, el colapso se acelera y, si la masa de la estrella es lo suficientemente grande, es decir, si su masa es dos o más veces la del Sol, ningún proceso conocido podrá evitar que el colapso continúe indefinidamente.

Al colapsarse la estrella e irse haciendo cada vez más densa, la fuerza de la gravedad sobre su superficie es cada vez mayor, y como consecuencia el espacio-tiempo que la rodea se hace cada vez más curvo. Debido al aumento de la fuerza de gravedad que tiene lugar en la superficie de la estrella, es cada vez más difícil alejarse de ella, y finalmente la estrella alcanza una etapa en la que nada -ni siquiera la luz podrá escapar a la atracción que se da en su superficie. En esta etapa, decimos que alrededor de la estrella se forma un "horizonte en calma", pues ninguna señal que pudiera comunicar suceso alguno al mundo exterior puede escapar de ella. El espacio que rodea a la estrella es entonces tan extremadamente curvado que toda la luz queda atrapada en él y no puede escapar. No vemos tal estrella, porque su luz nunca podrá llegar hasta nosotros y por esta razón se la llama un agujero negro. La existencia de agujeros negros fue predicha al principio de la teoría de la relatividad, sobre el año 1916 y ha recibido últimamente gran atención pues algunos fenómenos estelares descubiertos recientemente podrían indicar la existencia de una pesada estrella que gira alrededor de una compañera invisible, la cual podría ser un agujero negro.

Los agujeros negros están entre los objetos más misteriosos y fascinantes investigados por la astrofísica moderna y muestran los efectos de la teoría de la relatividad de la manera más espectacular. La gran curvatura del espacio-tiempo que los rodea no sólo impide que su luz llegue hasta nosotros, sino que tiene un efecto igual de sorprendente sobre el tiempo. Si un reloj, que nos mandara sus señales, fuese unido a la superficie de la estrella en colapso, observaríamos cómo sus señales se hacen más lentas a medida que la estrella se aproximase al "horizonte en calma" y una vez ésta se convirtiese en agujero negro, ya no llegaría hasta nosotros ninguna señal del reloj. Para un observador externo, el flujo de tiempo en la superficie de la estrella irá cada vez más despacio mientras ésta se colapsa, deteniéndose por completo en el horizonte en calma. Por lo tanto, el colapso completo de la estrella tarda un tiempo infinito. Sin embargo la estrella misma, no experimenta nada peculiar cuando se colapsa más allá del horizonte en calma. El tiempo continúa fluyendo en ella con normalidad y el colapso se completa después de un período finito de tiempo, cuando la estrella se ha contraído hasta un punto de densidad infinita. De este modo, ¿cuánto



tiempo tarda realmente el colapso? ¿Un tiempo finito o infinito? En el mundo de la teoría de la relatividad esta pregunta carece de sentido. El tiempo de vida de una estrella en el proceso de colapso, como todos los demás períodos de tiempo, es relativo y dependerá del marco de referencia del observador.

En la teoría general de la relatividad, los conceptos clásicos de espacio y tiempo como entidades absolutas e independientes quedan totalmente abolidos. No sólo son relativas todas las mediciones que implican espacio y tiempo relativos, dependiendo del movimiento del observador, sino que toda la estructura espacio-temporal está inevitablemente ligada a la distribución de la materia. El espacio está curvado en grados diferentes y el tiempo fluye con ritmos diferentes en las diferentes partes del universo. Así, hemos llegado a percibir que las nociones de un espacio euclidiano tridimensional y de un tiempo que fluye linealmente están limitadas a nuestra experiencia ordinaria del mundo físico y deben ser totalmente abandonadas cuando ampliamos esta experiencia.

Los sabios orientales hablan también de una ampliación de su experiencia del mundo en estados de consciencia más elevados, y afirman que estos estados contienen una experiencia del tiempo y del espacio radicalmente diferente. No sólo afirman que en la meditación van más allá del espacio tridimensional ordinario, sino también e incluso con más fuerza- que trascienden la consciencia ordinaria del tiempo. En lugar de una sucesión lineal de instantes, experimentan -según dicen- un presente infinito, eterno, y sin embargo, dinámico. En los párrafos siguientes, tres místicos orientales hablan sobre la experiencia de este "eterno ahora"; el sabio taoísta Chuang Tzu; Hui-neng, el Sexto Patriarca Zen; y D. T. Suzuki, el erudito budista contemporáneo.

*Olvidemos el paso del tiempo, olvidemos el conflicto de opiniones. Hagamos nuestra llamada a lo infinito, y tomemos allí nuestras posiciones.*<sup>9</sup>

Chuang Tzu

*La tranquilidad absoluta es el momento presente. Aunque es en este momento, este momento no tiene límite, y en esto radica su eterna delicia.*<sup>10</sup>

Hui-neng

*En este mundo espiritual no existen divisiones de tiempo tales como pasado, presente y futuro; porque se han contraído a sí mismas en un simple momento del presente, donde la vida palpita en su verdadero sentido... En ese momento presente de iluminación están envueltos el pasado y el futuro y no es algo que permanezca inmóvil con todos sus contenidos, sino que se mueve incesantemente.*<sup>11</sup>

D. T. Suzuki

<sup>9</sup> Chuang Tzu, trad. James Legge, adaptado por Clac Walthaun (Ace Books, Nueva York, 1971), cap. 2.

<sup>10</sup> Citado por A. Watts en *The Way of Zen*, pag. 201.

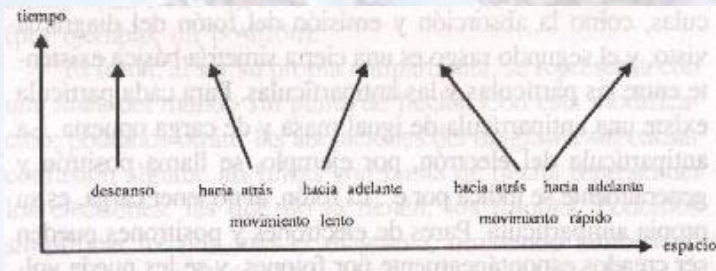
<sup>11</sup> D. T. Suzuki, *On Indian Mahayana Buddhism*, págs. 148-149.

Hablar de la experiencia de un presente eterno resulta casi imposible, pues todas las palabras como "eterno", "presente", "pasado", "momento", etc., se refieren a los conceptos de tiempo convencionales. Por eso es extremadamente difícil comprender lo que los místicos quieren decir en párrafos como los anteriores, sin embargo, la física moderna puede facilitar esta comprensión, pues puede ser utilizada como un ejemplo gráfico, ya que sus teorías trascienden también las nociones ordinarias del tiempo.

En la física relativista, la historia de un objeto, por ejemplo una partícula, puede ser representada mediante un *diagrama espacio-temporal* (ver figura). En estos diagramas, la dirección horizontal representa el espacio y la vertical el tiempo. El camino de la partícula a través del espacio-tiempo se denomina su "línea del inundo". Si la partícula se encuentra en reposo, pese a ello, se mueve en el tiempo, y su línea del mundo será en este caso, una línea recta vertical. Si la partícula se mueve en el espacio, su línea del mundo estará inclinada; a mayor inclinación de la línea del mundo, más rápidamente se moverá la partícula. Las partículas sólo pueden moverse hacia arriba en el tiempo, pero pueden hacerlo hacia adelante o hacia atrás en el espacio. Sus líneas del mundo pueden estar inclinadas hacia la horizontal varios grados, pero nunca podrán ser totalmente horizontales, puesto que esto significaría que la partícula viaja de un lugar a otro sin ocupar para ello ningún tiempo en absoluto.



\* El espacio, en estos diagramas, tiene sólo una dimensión; sus otras dos dimensiones han de suprimirse forzosamente para hacer posible un diagrama plano.



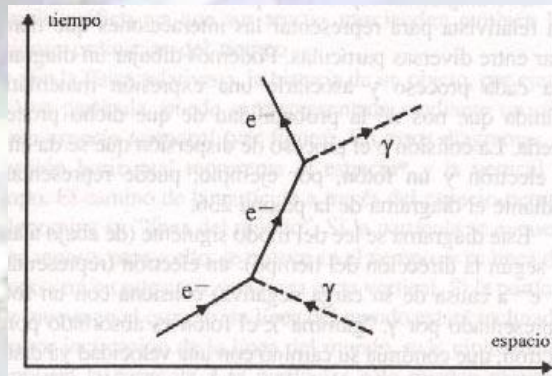
Líneas del mundo de partículas

Los diagramas espacio-temporales se emplean en la física relativista para representar las interacciones que tienen lugar entre diversas partículas. Podemos dibujar un diagrama para cada

proceso y asociarle una expresión matemática definida que nos dé la probabilidad de que dicho proceso suceda. La colisión o el proceso de dispersión que se da entre un electrón y un fotón, por ejemplo, puede representarse mediante el diagrama de la página 236.

Este diagrama se lee del modo siguiente (de abajo a arriba, según la dirección del tiempo): un electrón (representado por  $e^-$  a causa de su carga negativa) colisiona con un fotón (representado por  $\gamma$ , "gamma"); el fotón es absorbido por el electrón, que continúa su camino con una velocidad ya distinta (diferente inclinación de la línea del mundo); después de un momento, el electrón emite de nuevo el fotón e invierte la dirección de su movimiento.

La teoría que constituye el marco adecuado para estos diagramas espacio-temporales, y para las expresiones matemáticas relacionadas con ellos, se denomina "teoría cuántica del campo" y constituye una de las principales teorías relativistas de la física moderna, cuyos conceptos básicos veremos más adelante. Para esta exposición de los diagramas espacio-temporales, será suficiente conocer dos rasgos característicos de la teoría. El primero es el hecho de que todas las interacciones implican la creación y la destrucción de partículas, como la absorción y emisión del fotón del diagrama visto; y el segundo rasgo es una cierta simetría básica existente entre las partículas y las antipartículas. Para cada partícula existe una antipartícula de igual masa y de carga opuesta. La antipartícula del electrón, por ejemplo, se llama positrón y generalmente se indica por  $e^+$ . El fotón, al no tener carga, es su propia antipartícula. Pares de electrones y positrones pueden ser creados espontáneamente por fotones, y se les puede volver a convertir en fotones mediante el proceso inverso de aniquilación.



Los diagramas espacio-temporales, se simplifican enormemente si se adopta el siguiente truco. La punta de flecha de la línea del mundo ya no se emplea para indicar la dirección del movimiento de la partícula (lo cual es innecesario, puesto que las partículas se mueven hacia adelante en el tiempo, es decir, hacia arriba en el diagrama). En lugar de ello, esta punta de flecha se emplea para distinguir entre partículas y antipartículas: si señala hacia arriba, indica una partícula (por ejemplo, un electrón), si lo hace hacia abajo, una antipartícula (por ejemplo, un positrón). El fotón, al ser su propia antipartícula,

se representa con una línea del mundo sin punta de flecha. Con esta modificación, podemos omitir las anotaciones del diagrama sin causar confusión alguna: las líneas con punta de flecha representan los electrones, las que no la tienen, los fotones. Podemos simplificar todavía más el diagrama, omitiendo también el eje del espacio y el eje del tiempo, recordando que la dirección del tiempo es de abajo hacia arriba, y que la dirección en el espacio es de izquierda a derecha. El diagrama espacio-temporal resultante para el mismo proceso de dispersión del electrón-fotón tendrá entonces este aspecto:





Dispersión del electrón-fotón



Dispersión del positrón-fotón

Si deseamos representar el proceso de dispersión entre un fotón y un positrón, no tenemos más que dibujar el mismo diagrama invirtiendo sencillamente la dirección de las puntas de flecha:

Hasta ahora, en esta exposición de los diagramas espacio-temporales no ha habido nada extraño. Los hemos leído desde abajo hacia arriba, según nuestro concepto convencional de un tiempo que fluye linealmente. Algo más raro aparece ya en los diagramas que contienen líneas de positrón, como la que representa la dispersión positrón-fotón. El formulismo matemático de la teoría del campo sugiere que estas líneas pueden ser interpretadas de dos formas: como positrones que se mueven hacia adelante en el tiempo o como electrones *que retroceden en el tiempo*. Ambas interpretaciones son matemáticamente idénticas; la misma expresión describe una antipartícula que se mueve del pasado hacia el futuro, que una partícula que se mueve desde el futuro hacia el pasado. Puede considerarse que los dos diagramas representan al mismo proceso, evolucionando en dos direcciones diferentes de tiempo. Ambos pueden ser interpretados como dispersiones de electrones y fotones, pero en un proceso las partículas se mueven hacia adelante en el tiempo, y en el otro hacia atrás. De este modo, la teoría relativista de las interacciones entre partículas muestra una completa simetría en relación con la dirección del tiempo. Todos los diagramas espacio-temporales pueden leerse en cualquiera de las dos direcciones. Cualquier proceso tendrá otro proceso equivalente, en el cual la dirección del tiempo estará invertida y las partículas serán sustituidas por antipartículas.\*\*

\* Las líneas de puntos también se interpretan como fotones, tanto si se mueven hacia adelante como hacia atrás en el tiempo, porque la antipartícula de un fotón es también un fotón.

\*\* Recientes evidencias experimentales sugieren que esto podría no ser cierto para un proceso en el que tuviera lugar una "interacción super-débil". Aparte de estos procesos, en los cuales el papel de la simetría de inversión de tiempo todavía no ha sido aclarada, todas las interacciones de partículas parecen mostrar una simetría básica con relación a la dirección del tiempo.



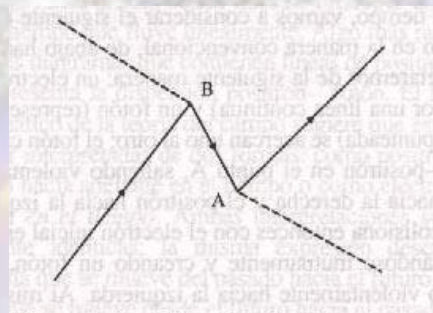
Para ver cómo esta sorprendente cualidad del mundo de las partículas subatómicas afecta a nuestros conceptos de espacio y tiempo, vamos a considerar el siguiente diagrama. Leyéndolo en la manera convencional, de abajo hacia arriba, lo interpretaremos de la siguiente manera: un electrón (representado por una línea continua) y un fotón (representado por una línea punteada) se acercan uno al otro: el fotón crea un par

electrón-positrón en el punto A, saliendo violentamente el electrón hacia la derecha y el positrón hacia la izquierda; el positrón colisiona entonces con el electrón inicial en el punto B aniquilándose



mutuamente y creando un fotón, que sale despedido violentamente hacia la izquierda. Al mismo tiempo, este proceso se puede interpretar como la interacción de dos fotones con un solo electrón, que primero viaja hacia adelante en el tiempo, y luego hacia atrás, para terminar yendo de nuevo hacia adelante. Para esta interpretación no tenemos más que seguir sencillamente las flechas existentes sobre la línea del electrón durante todo su recorrido, el electrón viaja hasta el punto B, donde emite un fotón e invierte su dirección para volver hacia atrás en el tiempo hasta el punto A, allí absorbe el fotón inicial, vuelve a invertir su dirección y sale violentamente viajando hacia adelante en el tiempo. En cierto sentido, la segunda interpretación es mucho más sencilla, pues sólo seguimos la línea del mundo de una partícula. Sin embargo, vemos inmediatamente que nos estamos enzarzando en diversas dificultades de lenguaje. El electrón viaja "primero" al punto B, y "después" al punto A, sin embargo la absorción del fotón que tiene lugar en A sucede antes que la emisión del otro fotón que tiene lugar en el punto B.

La mejor forma de evitar esas dificultades es considerar los diagramas espacio-temporales, no como registros cronológicos de los caminos seguidos por las partículas en un tiempo lineal, sino más bien como modelos cuatridimensionales espacio-temporales, que representan una red de sucesos relacionados entre sí, sin una dirección de tiempo definida. Dado que todas las partículas pueden moverse hacia adelante o hacia atrás en el tiempo, del mismo modo que en el espacio se pueden mover hacia la derecha o hacia la izquierda, no tiene sentido imponer en los diagramas un flujo temporal en un solo sentido. Se trata de mapas cuatridimensionales trazados en la dimensión espacio-temporal, de modo que no procede hablar de una secuencia temporal lineal. En palabras de Louis de Broglie:



Proceso de dispersión en el que intervienen fotones, electrones y un positrón.

*En la dimensión espacio-temporal, todo lo que para cada uno de nosotros constituye el pasado, el presente y el futuro, se da en bloque... Cada observador, a medida que su tiempo va pasando, descubre, por así decirlo, nuevas porciones de espacio tiempo que aparecen ante él como aspectos sucesivos del mundo material, aunque en realidad el conjunto de sucesos que constituyen el espacio tiempo, existe con prioridad a su conocimiento de ellos.*<sup>12</sup>

<sup>12</sup> P. A. Schilpp, ob. cit., pág. 114.

Este es, pues, el sentido del espacio-tiempo en la física relativista. Espacio y tiempo son totalmente equivalentes, están unificados en un continuo cuatridimensional en el que las interacciones de las partículas pueden proyectarse en cualquier dirección. Si queremos representar estas interacciones, tendremos por fuerza que hacerlo en una "instantánea cuatridimensional", que cubra todo el ámbito del tiempo y también toda la región del espacio. Para captar el inundo relativista de las partículas, debemos olvidar "el lapso de tiempo", como dice Chuang Tzu, y éste es el motivo por el que los diagramas espacio temporales de la teoría del campo pueden resultar una valiosa analogía de la experiencia espaciotemporal vivida por el místico oriental. La evidencia de esta analogía es mostrada por las siguientes observaciones del lama Anagarika Govinda en relación con la meditación budista:

*Si hablamos de la experiencia del espacio durante la meditación, estaremos tratando con una dimensión totalmente diferente... En esa experiencia espacial la secuencia temporal se convierte en una coexistencia simultánea, en la existencia de todas las cosas, unas junto a otras... y, no es algo estático, sino que se convierte en una continuidad viva, en la que se integran el tiempo y el espacio.*<sup>13</sup>

<sup>13</sup> Lama Anagarika Govinda, Foundations of Tibetan Mysticism, pág. 116.

Aunque los físicos emplean sus fórmulas matemáticas y sus diagramas para representar interacciones "en bloque" en el espacio-tiempo cuatridimensional, dicen que en el mundo real,



cada observador puede sólo experimentar los fenómenos en una sucesión de secciones espacio-temporales, es decir, en una secuencia temporal lineal. Los místicos, por su lado, sostienen que pueden experimentar toda la gama espacio-temporal, sin que haya fluir del tiempo. Así dice el maestro Zen Dogen:

*La mayoría creen que el tiempo pasa, sin embargo el hecho real es que permanece donde está. Esa idea de pasar puede llamarse tiempo, pero es una idea incorrecta, puesto que al verla sólo pasando, no pueden comprender que permanece en el mismo lugar.<sup>14</sup>*

<sup>14</sup> Dogen Zenji, Shobogenzo, en la obra de J. Kennett, *Selling Water by the River* (Vintage Books, Nueva York, 1972), pág. 140.

Muchos de los maestros orientales resaltan que el pensamiento debe tener lugar en el tiempo, pero que la visión lo trasciende. Según Govinda "la Visión tiene que ver con el espacio de una dimensión superior, y por ello, fuera del tiempo,"<sup>15</sup> El espacio-tiempo de la física relativista es un espacio atemporal similar, de una dimensión más elevada. Todos los sucesos se hallan en él interrelacionados, pero sus conexiones no son causales. Las interacciones de las partículas pueden ser interpretadas en términos de causa y efecto solamente cuando los diagramas espacio-temporales son leídos en una determinada dirección, es decir, de abajo hacia arriba. Si los tomamos como esquemas cuatridimensionales sin una dirección de tiempo definida, no hay "antes" ni "después" y por ello, no hay causalidad.

Del mismo modo, los místicos orientales afirman que, al trascender el tiempo, también trascienden el mundo de las causas y los efectos. Al igual que nuestros conceptos corrientes de espacio y tiempo, la causalidad es una idea limitada a una cierta experiencia del mundo y debe abandonarse cuando esa experiencia se amplía. En palabras de Swami Vivekananda:

*El tiempo, el espacio y la causalidad, son como un cristal a través del cual se ve lo Absoluto... En lo Absoluto no hay tiempo, ni espacio, ni causalidad.<sup>16</sup>*

<sup>15</sup> Govinda, ob. cit., pág. 270.

<sup>16</sup> S. Vivekananda, *Jnana Yoga* (Advaita Ashram, Calcutta, India, 1972), pág. 109.

Las tradiciones espirituales de oriente muestran a sus seguidores varias formas de trascender la experiencia ordinaria del tiempo y de liberarse a sí mismos de la cadena de causas y efectos -de la esclavitud del *karma* como dicen los hindúes y budistas. Así, se ha dicho que el misticismo oriental es una liberación del tiempo. En cierto modo, lo mismo puede decirse de la física relativista.





### 13 EL UNIVERSO DINAMICO

La meta central del misticismo oriental es experimentar todos los fenómenos del inundo como manifestaciones de una misma realidad última. A esta realidad se la considera como la esencia del universo, que sostiene y unifica a la multitud de cosas y fenómenos observados por nosotros. Los hindúes lo llaman *Brahman*, los budistas *Dharmakaya* (el Cuerpo del Ser) o *Tathata* (Eseidad), y los taoístas *Tao*. Todos ellos afirman que trasciende nuestros conceptos intelectuales y que no puede describirse. Esta esencia última, sin embargo, no puede ser separada de sus múltiples manifestaciones. Está en su naturaleza el manifestarse en miríadas de formas que nacen y se desintegran, transformándose unas en otras incesantemente. En su aspecto fenomenológico, el Uno cósmico es intrínsecamente dinámico, y la comprensión de su naturaleza dinámica es básica en todas las escuelas de misticismo oriental. Así D. T. Suzuki informa sobre la escuela *Kegon* del budismo Mahayana:

*La idea central de Kegon es aprehender al universo como algo dinámico, cuya característica es moverse siempre hacia adelante, estar siempre en movimiento, ese movimiento que es la vida.*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> D. T. Suzuki, *The Essence of Buddhism* (Hozokan, Kyoto, Japón, 1968), pág. 53.

Este énfasis en el movimiento, en el flujo y en el cambio no es sólo característico de las tradiciones místicas orientales, sino que ha constituido un aspecto esencial de la visión del mundo por parte de los místicos durante muchos siglos. En la antigua Grecia, Heráclito enseñaba que "todo fluye" y comparaba el mundo con un fuego perpetuo, y en Méjico, el místico yaqui Don Juan, habla sobre el "mundo efímero" y afirma que "para ser un hombre de conocimiento es necesario ser ligero y fluir".<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Carlos Castaneda, *A Separate Reality* (Bodley Head, Londres, 1971), pág. 8.

En la filosofía india, los principales términos usados por los hindúes y los budistas tienen todos ellos connotaciones dinámicas. La palabra *Brahman* se deriva de la raíz sánscrita *brih* -crecer- y por tanto inspira una realidad dinámica y viva. Según S. Radhakrishnan, "la palabra *Brahman* significa crecimiento y nos hace pensar en la vida, en el movimiento y el progreso".<sup>3</sup> Los



*Upanishads* se refieren a *Brahman* como "sin forma, inmortal, móvil"<sup>4</sup>, relacionándolo con el movimiento, aunque trascienda toda forma.

<sup>3</sup> S. Radhaksuhnan, Indian Philosophy

<sup>4</sup> Brihad-aranyaka 2.3.3.

El *Rig Veda* utiliza otra palabra para expresar la naturaleza dinámica del universo, el término *Rita*. Esta palabra procede de la raíz *ri* -mover-, siendo su significado original en el *Rig Veda*, "el curso de todas las cosas", "el orden de la naturaleza". Representa un importante papel en las leyendas del *Veda* y está relacionada con los dioses védicos. El orden de la naturaleza era concebido por los videntes védicos, no como una ley divina estática, sino como un principio dinámico inherente al universo. Esta idea no difiere de la concepción china del *Tao* -"El Camino"- como el modo en que el Universo funciona, es decir: el orden de la naturaleza. Al igual que los videntes védicos, los sabios chinos percibieron el mundo en forma de flujo y de cambio, y así, transmitieron la idea de un orden cósmico con una connotación esencialmente dinámica. Ambos conceptos, *Rita* y *Tao*, fueron posteriormente degradados desde su nivel cósmico original al nivel humano y pasaron a ser interpretados en un sentido moral; *Rita* como la ley universal que tanto los dioses como los hombres deben obedecer y *Tao* como el camino correcto de la vida.

El concepto védico de *Rita* sugiere ya la idea del *karma*, que fue desarrollada posteriormente para expresar la interacción dinámica de todas las cosas y sucesos. La palabra *karma* significa "acción" e indica la interrelación "activa" o dinámica de todos los fenómenos. En palabras del *Bhagavad Gita*, "todas las acciones tienen lugar en el tiempo, gracias a un entretrejo de las fuerzas de la naturaleza".<sup>5</sup> El Buda tomó el concepto tradicional de *karma* y le confirió un nuevo significado, extendiendo las interconexiones dinámicas que tienen lugar en el universo a la esfera de las situaciones humanas. Así, el *karma*, vino a significar la cadena sin fin de causas y efectos que tienen lugar en la vida humana y que el Buda rompió al alcanzar el estado de iluminación.

<sup>5</sup> Bhagavad Gita, 8.3.

El hinduismo también halló muchas maneras de expresar la naturaleza dinámica del universo en su lenguaje mítico. Así dice Krishna en el *Gita*: "si yo no tomara parte en la acción, estos mundos perecerían"<sup>6</sup>, y Shiva, el Danzante Cósmico, tal vez sea la personificación más perfecta del universo dinámico. Con su danza, Shiva sostiene los múltiples fenómenos del mundo, unificando todas las cosas, sumergiéndolas en su ritmo y haciéndolas participar de la danza -imagen magnífica de la dinámica unidad del universo.

<sup>6</sup> Ibid., 3.24.

La visión general que surge del hinduismo es la de un cosmos orgánico, creciente y con un movimiento rítmico; la de un universo dentro del cual todo es fluido y siempre cambiante, en el que todas las formas estáticas son *maya*, es decir, existen tan sólo como conceptos ilusorios. Esta última idea la impermanencia de todas las formas- fue el punto de partida del budismo. El Buda enseñó que *todas las cosas compuestas son impermanentes*, y que todo el sufrimiento de este mundo es originado por nuestro afán de apegarnos a las formas fijas -objetos, personas o ideas- en lugar de aceptar el mundo tal como cambia y evoluciona. La visión dinámica del mundo está pues, en la misma raíz del budismo. En palabras de S. Radhakrishnan:

*Una maravillosa filosofía del dinamismo fue, formulada por Buda hace 2500 años... Impresionado por la transitoriedad de los objetos, por la incesante mutación y transformación de las cosas, Buda formuló una filosofía de cambio. Redujo substancias, almas, mónadas y cosas, a fuerzas, movimientos, secuencias y procesos, y adoptó una concepción dinámica de la realidad.*<sup>7</sup>

<sup>7</sup> S. Radhadrishnan, ob. cit., pág. 367.

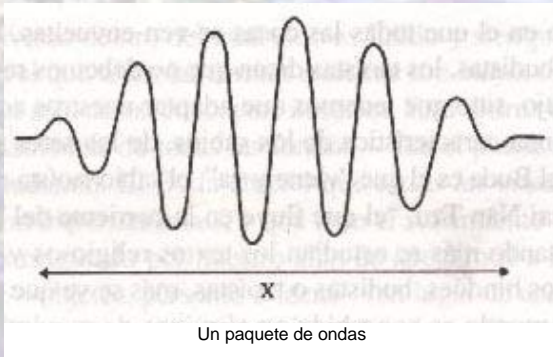
A este mundo de cambios incesantes los budistas lo llamaron *samsara*, que literalmente significa, *en movimiento incesante*; y afirman que no existe nada en él a lo que merezca la pena apegarse. Así, para los budistas, un ser iluminado es el que no se resiste al flujo de la vida, sino que continúa moviéndose con él. Cuando le preguntaron al monje *Ch'an Yün* -men: ¿qué es el Tao?-, éste respondió sencillamente: "¡sigue caminando!" En consonancia con esto, los budistas también



llaman al Buda, el *Tathagata* o "el que viene y va". En la filosofía china, la realidad siempre cambiante que fluye sin cesar es denominada el *Tao* y se la considera como un proceso cósmico en el que todas las cosas se ven envueltas. Al igual que los budistas, los taoístas dicen que no debemos resistirnos a ese flujo, sino que tenemos que adaptar nuestros actos a él. Esta es una característica de los sabios, de los seres iluminados. Si el Buda es el que "viene y va", el sabio taoísta es, como dice Huai Nan Tzu, "el que fluye en la corriente del Tao".

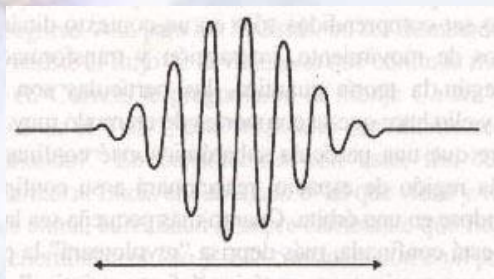
Cuando más se estudian los textos religiosos y filosóficos de los hindúes, budistas o taoístas, más se ve que en todos ellos el mundo es concebido en términos de movimiento, de flujo y de cambio. Esta cualidad dinámica de la filosofía oriental parece ser uno de sus rasgos más importantes. Los místicos orientales conciben el universo como una telaraña inseparable, cuyas interconexiones son dinámicas y no estáticas. Esta telaraña cósmica está viva, se mueve, crece y cambia continuamente. La física moderna, del mismo modo, ha llegado a considerar el universo como una telaraña de relaciones y, al igual que el misticismo oriental, reconoce que esta telaraña es intrínsecamente dinámica. La característica dinámica de la materia surge en la teoría cuántica como una consecuencia de la naturaleza dual onda-partícula de las partículas subatómicas, y se hace todavía más evidente en la teoría de la relatividad, donde la unificación del espacio y el tiempo trae consigo que el ser de la materia no pueda separarse de su actividad. Las propiedades de las partículas subatómicas pueden por ello ser comprendidas sólo en un contexto dinámico; en términos de movimiento, interacción y transformación.

Según la teoría cuántica, las partículas son también ondas, y ello hace que se comporten de un modo muy especial. Siempre que una partícula subatómica esté confinada a una pequeña región de espacio, reaccionará a su confinamiento moviéndose en una órbita. Cuanto más pequeña sea la zona en la que está confinada, más deprisa "revoloteará" la partícula. Este comportamiento es un típico "efecto cuántico", un rasgo del mundo subatómico que no tiene analogía macroscópica.



Para entenderlo, hemos de recordar que las partículas están representadas, en la teoría cuántica, por paquetes de ondas. Como ya vimos anteriormente, la longitud de tal paquete de ondas representará la indeterminación o imprecisión con que nos encontraremos a la hora de localizar la partícula. El siguiente modelo de onda, por ejemplo, corresponde a una partícula situada en algún lugar de la zona X, lugar que no podemos decir con seguridad dónde está exactamente. Si deseamos

localizar la partícula con mayor precisión, es decir, si queremos confinarla a una región más pequeña, tenemos que comprimir su paquete de ondas dentro de esta zona (ver el siguiente diagrama). Esto sin embargo, afectará a la longitud de onda del paquete de ondas, y como consecuencia de ello a la velocidad de la partícula. Como resultado, la partícula circulará en su órbita; cuando más confinada esté, mayor será su velocidad.



Esta tendencia de las partículas a reaccionar al confinamiento con un movimiento mayor implica una "agitación" fundamental de la materia que es característica del mundo

subatómico. En este mundo, la

mayor parte de las partículas materiales están ligadas a las estructuras moleculares, atómicas y nucleares, y por tanto nunca permanecen en reposo, sino que presentan una tendencia innata a



moverse -son intrínsecamente inquietas. Según la teoría cuántica la materia nunca está en reposo, sino que siempre se halla en un estado de movimiento. Macroscópicamente, los objetos materiales que nos rodean pueden parecer pasivos e inertes, pero cuando aumentamos un trozo "muerto" de piedra o metal, vemos que está lleno de actividad. Cuanto más de cerca lo observemos, más vivo aparecerá. Todos los objetos materiales de nuestro entorno están formados por átomos, unidos unos con otros de varias formas a fin de formar una enorme variedad de estructuras moleculares que no son rígidas e inmóviles, sino que oscilan de acuerdo a su temperatura y en armonía con las vibraciones termales de su medio ambiente. En los átomos - también siempre vibrantes-, los electrones están ligados a los núcleos atómicos por fuerzas eléctricas que tratan de mantenerlos tan cerca como les sea posible, y éstos responden a estas fuerzas girando a su alrededor con extrema rapidez. Finalmente, en los núcleos, los protones y los neutrones están oprimidos dentro de un volumen muy pequeño, por las potentes fuerzas nucleares y por ello se precipitan también en una circulación que alcanza velocidades inimaginables.

De este modo, la física moderna en absoluto presenta a la materia como pasiva e inerte, sino en un continuo movimiento, en una danza y una vibración cuyos patrones rítmicos están determinados por las estructuras moleculares, atómicas y nucleares. Esta es también la forma en que los místicos orientales conciben el mundo material. Todos ellos insisten en que el universo debe ser comprendido dinámicamente, con su movimiento, su vibración y su danza; insisten en que la naturaleza no se halla en un equilibrio estático sino dinámico. Según un texto taoísta:

*La quietud en la quietud no es la verdadera quietud. Sólo citando haya quietud en el movimiento podrá hacerse presente el ritmo espiritual, que inunda el cielo y la Tierra.<sup>8</sup>*

<sup>8</sup> Ts'ai-ken t'an, citado por T. Leggett en First Zen Reader (C.E. Tuttle, Rutland, Vermont, 1972), pág. 229

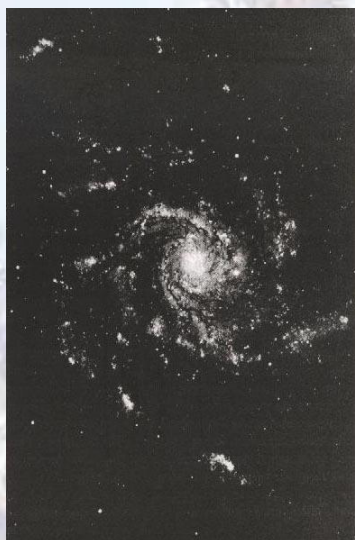
En física, reconocemos la naturaleza dinámica del universo no solamente en las dimensiones más pequeñas -el mundo de los átomos y los núcleos-, sino también en las más amplias: en el mundo de las estrellas y las galaxias. Con potentes telescopios, observamos un universo en movimiento incesante. Nubes giratorias de hidrógeno se contraen en forma de estrellas, calentándose en ese proceso hasta convertirse en fuegos ardientes en el cielo. Una vez alcanzada esa etapa, continúan girando, algunas de ellas arrojan al espacio materia, que da vueltas en espiral y se condensa formando planetas, que describen círculos alrededor de la estrella. Por último, después de millones de años, cuando ya se ha agotado la mayor parte de su combustible de hidrógeno, la estrella se expande, para después contraerse de nuevo en un colapso gravitacional final. Este colapso puede generar gigantescas explosiones y puede incluso convertir a la estrella en un agujero negro. Todas estas actividades -la formación de estrellas partiendo de nubes de gas estelar, su contracción y subsecuente expansión, y su colapso final- pueden realmente ser observadas en alguna parte de los cielos.

Esas estrellas que giran, se contraen, se expanden o estallan, se agrupan en galaxias de formas diversas -discos planos, esferas, espirales, etc.- las cuales a su vez, no están inmóviles, sino que también giran. Nuestra galaxia, la Vía Láctea, es un inmenso disco de estrellas y gas, que gira en el espacio como una rueda enorme, así todas sus estrellas - incluido el Sol y sus planetas- giran alrededor del centro de la galaxia. El universo está lleno de galaxias, esparcidas por todo el espacio, todas girando como la nuestra.

Al estudiar el universo como un todo, con sus millones de galaxias, hemos alcanzado la mayor escala de espacio y tiempo; y de nuevo, a ese nivel cósmico, descubrimos que no es estático, sino que ¡se está expandiendo! Este ha sido uno de los descubrimientos más importantes de la astronomía moderna. El análisis detallado de la luz recibida de distantes galaxias ha demostrado que toda la multitud de galaxias se expande y que lo hace de un modo bien orquestado. La velocidad de retroceso de cualquier galaxia que podamos observar es proporcional a la distancia que nos separa de dicha galaxia. A mayor distancia, más rápido se aleja de nosotros; al doble de distancia, la velocidad de retroceso también será el doble. Esto es cierto no sólo para las distancias medidas desde nuestra galaxia, sino que se aplica a cualquier punto de referencia. Cualquiera que sea la galaxia en la que se encuentre, observará a las demás galaxias alejándose de usted; las galaxias cercanas, a varios miles de kilómetros por segundo, las más alejadas a velocidades superiores, y las más lejanas de todas, a velocidades que se aproximan a la velocidad de la luz. La luz procedente de las galaxias que están ya más allá de esa distancia jamás llegará hasta nosotros, pues se alejan de nosotros a una velocidad mayor que la velocidad de la luz. Su



luz es -según las palabras de sir Arthur Eddington- "como un corredor en una pista de carreras en la que la cinta de llegada se retira continuamente a mayor velocidad de la que él puede alcanzar".



Para hacernos una idea de la forma en que se expande el Universo, hemos de recordar que el marco adecuado para estudiar sus rasgos a gran escala es la teoría general de la relatividad de Einstein. Según esta teoría, el espacio no es "plano", sino "curvo", y el modo en que se curva está relacionado con la distribución de la materia según las ecuaciones del campo de Einstein. Estas ecuaciones pueden utilizarse para determinar la estructura del universo como un todo y constituyen el punto de partida de la cosmología moderna.

Cuando en el marco de la relatividad hablamos de un universo en expansión, nos referimos a una expansión dentro de una dimensión superior. Como ocurre con el concepto del espacio curvo, sólo es posible visualizar esta expansión con ayuda de una analogía bidimensional. Imagine un globo con un gran número de puntos en su superficie. El globo representa al universo. Su superficie curva bidimensional representa al espacio curvado tridimensional, y los puntos de la superficie del globo a las galaxias existentes en el espacio tridimensional. Cuando inflamos el globo, las distancias entre los puntos aumentan. Cualquiera que sea el punto que elija para posarse, todos los demás puntos se alejarán de usted. El universo se expande de este mismo modo: cualquiera que sea la galaxia donde el observador se halle, todas las demás galaxias se alejarán de él.

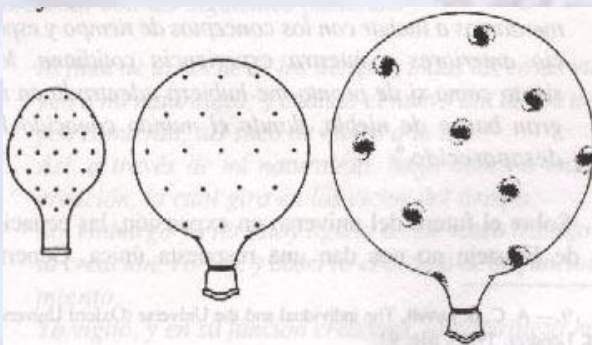
Una pregunta que suele hacerse en relación con esta expansión del Universo es: ¿cómo empezó todo? Partiendo de la relación existente entre la distancia de una galaxia y su velocidad de retroceso -es la llamada ley de Hubble-, se puede calcular el punto de partida de la expansión, en otras palabras, la edad del universo.

Suponiendo que el ritmo de la expansión no haya variado, lo cual no puede considerarse de ningún modo seguro, se llega a una edad del orden de los diez mil millones de años.

Esta sería, pues, la edad del universo. En nuestros días la mayoría de los cosmólogos creen que el universo fue un acontecimiento altamente espectacular hace aproximadamente diez mil millones de años, cuando su masa total hizo explosión, partiendo de una primitiva bola de fuego. La presente expansión del universo se considera que es un impulso residual de aquella explosión inicial. Según este modelo de "la gran explosión", el momento del estallido señaló el principio del universo y el comienzo del espacio y el tiempo. Si deseamos saber lo que sucedió antes de ese momento, nos adentramos -una vez más- un terreno donde las dificultades de pensamiento y lenguaje son serias. En palabras de sir Bernard Lovell:

*Llegamos a la gran barrera del pensamiento pues comenzamos a luchar con los conceptos de tiempo y espacio anteriores a nuestra experiencia cotidiana. Me siento como si de pronto me hubiera adentrado en un gran banco de niebla, donde el mundo conocido ha desaparecido.*<sup>9</sup>

<sup>9</sup> A. C. B. Lovell, *The individual and the Universe* (Oxford University Press, Londres, 1958), pág. 93.





Sobre el futuro del universo en expansión, las ecuaciones de Einstein no nos dan una respuesta única. Generan varias soluciones diferentes, que corresponden a diferentes modelos de universo. Algunos modelos predicen que la expansión continuará para siempre. Otros, que irá disminuyendo su velocidad y finalmente se iniciará una contracción. Estos modelos describen un universo oscilante, que se expande durante billones de años, contrayéndose después hasta que su masa total llega a condensarse en una pequeña bola de materia, para iniciar luego otra expansión más y así sucesivamente, sin final.

Esta idea de un universo que experimenta expansiones y contracciones periódicas, en una escala de tiempo y espacio de vastas proporciones, no sólo ha surgido en la cosmología moderna, sino que también la hallamos en la antigua mitología india. Experimentando el universo como un cosmos orgánico que se mueve rítmicamente, los hindúes fueron capaces de desarrollar cosmologías evolutivas que se aproximan mucho a nuestros modelos científicos modernos. Una de estas cosmologías está basada en el mito hindú de *lila* -el juego divino o la divina obra (teatral)- donde *Brahman* se transforma a sí mismo en el mundo. *Lila* es un juego rítmico que continúa en ciclos interminables, el Uno se convierte en los muchos y los muchos vuelven finalmente a ser Uno. En el *Bhagavad Gita*, el dios Krishna describe este rítmico juego de la creación con las siguientes palabras:

*Al final de la noche de los tiempos, todas las cosas vuelven a mi naturaleza; y cuando el nuevo día de los tiempos comienza, las saco de nuevo a la luz.*

*Así, a través de mi naturaleza, hago nacer a toda la creación, la cual gira en los ciclos del tiempo.*

*Sin embargo yo no estoy ligado a este vasto trabajo de la creación. Yo soy, y observo el drama de su funcionamiento.*

*Yo vigilo, y en su función creadora, la naturaleza hace nacer todo aquello que se mueve y todo lo que no se mueve y así el mundo sigue girando.<sup>10</sup>*

<sup>10</sup> Bhagavad Gita. 9.7-10.

Los sabios hindúes no temieron identificar esta obra divina y rítmica con la evolución del cosmos como un todo. Imaginaron al universo expandiéndose y contrayéndose periódicamente y al inimaginable período de tiempo existente entre el principio y el fin de una creación le dieron el nombre de *kalpa*. El alcance de este antiguo mito es sorprendente; la mente humana necesitó más de dos mil años para generar de nuevo un concepto similar.

Del mundo de lo inmensamente grande, del cosmos en expansión, volvamos ahora al mundo de lo infinitamente pequeño. La física del siglo XX se ha caracterizado por una progresiva incursión en ese mundo de dimensiones submicroscópicas, en el reino de los átomos, los núcleos y sus componentes. Esta exploración del mundo submicroscópico fue motivada por una cuestión básica, que ha ocupado y estimulado al pensamiento humano a través de los siglos: ¿de qué está hecha la materia? Desde los comienzos de la filosofía natural, el hombre ha estado especulando sobre esta cuestión, tratando de encontrar el "elemento básico" del que toda materia está formada, pero sólo en nuestro siglo fue posible buscar una respuesta a través de la experimentación. Con la ayuda de una tecnología altamente sofisticada, los físicos pudieron explorar primero la estructura de los átomos y descubrieron que éstos se componían de núcleos y de electrones. Después la estructura de los núcleos atómicos, viendo que estaba compuesta de protones y neutrones, también llamados nucleones. En las dos últimas décadas, se ha dado un paso más y se ha comenzado a investigar la estructura de los nucleones - o componentes de los núcleos atómicos- que, una vez más, no parecen ser las partículas elementales definitivas, sino que siguen estando compuestas de otros entes.

El primer paso en este adentramos en capas cada vez más profundas de la materia fue la exploración del mundo de los átomos y originó ya varias modificaciones de nuestro concepto de materia, como vimos en capítulos anteriores. El segundo paso fue la incursión en el mundo de los núcleos atómicos y sus componentes, el cual nos obligó a modificar de nuevo nuestros conceptos de una manera todavía más radical. En este mundo, tratamos con dimensiones que son cien mil veces más pequeñas que las dimensiones atómicas, y como consecuencia de ello, las partículas, confinadas a dimensiones tan mínimas, se mueven considerablemente más rápido que las confinadas en las estructuras atómicas. De hecho, se mueven con tal rapidez que sólo pueden describirse adecuadamente en el marco de la teoría especial de la relatividad. Para comprender las propiedades e interacciones de las partículas subatómicas es necesario, así, emplear un

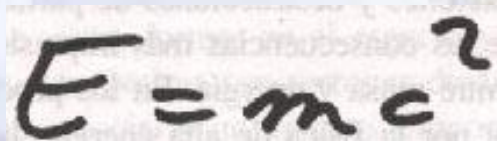


modelo que tenga en cuenta tanto a la teoría cuántica como a la teoría de la relatividad, obligándonos a la teoría de la relatividad, una vez más, a modificar nuestro concepto de la materia. La característica más destacada del marco relativista es, como ya mencioné antes, que unifica conceptos básicos que antes parecían totalmente independientes. Uno de los ejemplos más importantes es la equivalencia entre masa y energía, expresada matemáticamente en la famosa ecuación de Einstein,  $E = mc^2$ . Para comprender el profundo significado de esta equivalencia, hemos de entender primero los conceptos de energía y de masa.

La energía es uno de los conceptos más importantes que utilizamos para describir los fenómenos naturales. Al igual que en la vida diaria, decimos que un cuerpo tiene energía cuando tiene la capacidad de realizar un trabajo. Esta energía puede adoptar una gran variedad de formas. Puede ser energía de movimiento, energía de calor, energía gravitacional, energía eléctrica, energía química y así sucesivamente. Cualquiera que sea su forma, podrá ser empleada para realizar un trabajo. A una piedra, por ejemplo, se le puede dar energía gravitacional levantándola a cierta altura. Cuando desde dicha altura la dejamos caer, su energía gravitacional se transforma en energía de movimiento (energía cinética), y cuando la piedra golpea el suelo puede realizar un trabajo rompiendo algo. Tomando un ejemplo más constructivo, la energía eléctrica o química puede ser transformada en energía calorífica, que posteriormente es utilizada para fines domésticos. En física, la energía está siempre relacionada con algún proceso o algún tipo de actividad, y su importancia fundamental consiste en el hecho de que la energía total contenida en un proceso siempre se conserva. Puede que cambie su forma del modo más complicado, pero ninguna parte de ella se pierde. La conservación de la energía es una de las leyes fundamentales de la física, rige todos los fenómenos naturales conocidos y hasta ahora no se ha observado ninguna violación de esta ley.

La masa de un cuerpo es una medición de su peso, es decir, de la atracción que la gravedad ejerce sobre su cuerpo. La masa es también la medida de la inercia de un objeto, es decir, de su resistencia a la aceleración. Los objetos pesados son más difíciles de acelerar que los objetos ligeros, algo bien conocido por cualquiera que alguna vez haya empujado un coche. En la física clásica, la masa se relacionaba además con una substancia material indestructible, esto es, con la "materia" de la que se creía estaban hechas todas las cosas. Del mismo modo que la energía, siempre existió la creencia de su rigurosa conservación, puesto que nada de masa podía jamás perderse.

Ahora, la teoría de la relatividad nos dice que la masa no es más que una forma de energía. La energía, no sólo puede adoptar las diversas formas conocidas por la física clásica, sino que además puede ser encerrada en la masa de un objeto. La cantidad de energía contenida, por ejemplo, en una partícula, es igual a la masa de la partícula,  $m$ , multiplicada por  $c^2$ , el cuadrado de la velocidad de la luz; así,


$$E = mc^2$$

Considerada como una forma de energía, la masa no necesita ya ser indestructible, sino que puede transformarse en otras formas de energía. Esto sucede cuando las partículas subatómicas colisionan unas con otras. En estas colisiones las partículas pueden ser destruidas y la energía contenida en sus masas puede transformarse en energía cinética, pasando a distribuirse entre las demás partículas participantes en la colisión. Y a la inversa, cuando las partículas colisionan a velocidades muy elevadas su energía cinética puede ser utilizada para formar las masas de nuevas partículas. La siguiente fotografía muestra un claro ejemplo de tal colisión: un protón entra en la cámara de burbujas por la izquierda, desprende (por colisión) un electrón de un átomo (rastros espirales) y después colisiona con otro protón, creándose en esta colisión dieciséis nuevas partículas.





Estas creaciones y destrucciones de partículas materiales son una de las consecuencias más impresionantes de la equivalencia entre masa y energía. En los procesos de colisión realizados por la física de alta energía, la masa no se conserva. Las partículas que colisionan pueden ser destruidas y sus masas pueden ser transformadas una parte en las masas de otras partículas creadas en el proceso, y otra parte en la energía cinética de las mismas. Sólo se conserva la energía total que interviene en el proceso, es decir, la energía cinética total más la energía contenida en todas las masas. Las colisiones de las partículas subatómicas constituyen nuestra principal herramienta para estudiar sus propiedades y la relación existente entre masa y energía resulta esencial para su comprensión y descripción. Ha sido verificada en innumerables ocasiones y los físicos de las partículas están totalmente habituados a esta equivalencia entre masa y energía; tan habituados, que miden las masas de las partículas en unidades de energía.

El descubrimiento de que la masa no es más que una forma de energía nos obligó a modificar nuestro concepto de partícula de un modo esencial. En la física moderna la masa no se relaciona ya con una sustancia material y por lo tanto no se considera que las partículas estén compuestas de ninguna "materia" básica, sino de haces de energía. Sin embargo, dado que la energía está relacionada con la actividad y con los procesos, de ello se deducirá que la naturaleza de las partículas subatómicas es intrínsecamente dinámica. Para lograr una mejor comprensión de esto debemos recordar que estas partículas sólo pueden concebirse en términos relativistas, es decir, en términos de un esquema en el cual el espacio y el tiempo se funden para formar un entorno cuatridimensional. Las partículas no deben representarse como objetos estáticos tridimensionales, como bolas de billar o granos de arena, sino más bien como entes cuatridimensionales que tienen su existencia en el espacio tiempo. Sus formas han de entenderse dinámicamente, como formas en el espacio y en el tiempo. Las partículas subatómicas son patrones dinámicos que tienen un aspecto espacial y un aspecto temporal. Su aspecto espacial las hace aparecer como objetos con una cierta masa, su aspecto temporal, como procesos que contienen la energía equivalente.

Estos patrones dinámicos o "haces de energía", son los que forman las estructuras nucleares, atómicas y moleculares, que constituyen la materia y le dan su aspecto sólido macroscópico, aspecto estable que induce a creer que está formada por algún tipo de sustancia material. A nivel macroscópico este concepto de sustancia es una aproximación muy útil, sin embargo a nivel atómico carece ya de sentido. Los átomos se componen de partículas y estas partículas no están hechas de sustancia material alguna. Cuando las observamos nunca vemos ninguna sustancia; lo que observamos son modelos dinámicos que continuamente cambian de uno a otro: una danza continua de energía.

La teoría cuántica ha venido a demostrar que las partículas no son granos aislados de materia, sino patrones de probabilidad, interconexiones dentro de una infinita e inseparable telaraña cósmica. La teoría de la relatividad, por así decirlo, dio vida a estos modelos revelando su carácter intrínsecamente dinámico. Demostró que la actividad de la materia constituye la propia esencia de su ser. Las partículas del mundo subatómico no son activas sólo en el sentido de que se mueven circulando a mucha velocidad, son procesos en sí mismas. La existencia de la materia y su actividad no pueden separarse. No son más que diferentes aspectos de una misma realidad espacio-temporal.

En el capítulo anterior dije que la consciencia de la "interpenetración" del espacio y el tiempo llevó a los místicos orientales a un concepto del mundo intrínsecamente dinámico. El estudio de sus



escritos revela que su concepción del mundo no incluye sólo el movimiento, el flujo y el cambio, sino que también parece intuir el carácter espacio-temporal de los objetos materiales, tan característico de la física relativista. Los físicos, al estudiar el mundo subatómico, tienen que tomar en cuenta la unidad del espacio y el tiempo y, en consecuencia, contemplan los objetos de este mundo -las partículas- no de un modo estático, sino dinámicamente, en términos de energía, actividad y procesos. Los místicos orientales, en sus estados no ordinarios de consciencia, parecen ser conscientes a un nivel macroscópico de la interpenetración de espacio y tiempo, y por tanto ven los objetos de un modo muy similar al que los físicos conciben las partículas subatómicas. Esto resulta especialmente sorprendente en el budismo. Una de las principales enseñanzas del Buda fue que "todas las cosas compuestas son impermanentes". En la versión original Pali de este famoso dicho<sup>11</sup>, el término empleado para "cosas" es *sankhara* (en sánscrito: *samskara*), palabra que significa ante todo "un suceso" o "un acontecimiento" y también "un hecho" o "un acto" y sólo de un modo muy secundario "una cosa existente". Esto demuestra que la concepción budista de las cosas es dinámica, considerándolas como procesos constantemente cambiantes. En palabras de D. T. Suzuki:

*Los budistas concibieron los objetos como sucesos y no como cosas o substancias... El concepto budista de las "cosas" como samskara (o sankhara), es decir, como "hechos" o "sucesos", deja claro que los budistas comprenden nuestra experiencia en términos de tiempo y movimiento".*<sup>12</sup>

<sup>11</sup> Digha Nikaya, ii, 198.

<sup>12</sup> D. T. Suzuki, ob. cit., pág. 55.

Al igual que los físicos modernos, los budistas ven todos los objetos como procesos de un flujo universal y niegan la existencia de toda substancia material. Esta negación es uno de los rasgos más característicos de todas las escuelas de filosofía budista. Es también característica del pensamiento chino, que desarrolló una visión similar de las cosas como etapas transitorias dentro de un *Tao* siempre fluente y que tiene más que ver con las interrelaciones dinámicas que con una substancia fundamental y estática. "Mientras que la filosofía europea tendía a encontrar la realidad en la substancia", escribe Joseph Needham, "la filosofía china tendía a encontrarla en las relaciones".<sup>13</sup>

<sup>13</sup> J. Needham, *Science and Civilisation in China*, vol. 11, pág. 478.

En estas concepciones dinámicas del mundo del misticismo oriental y de la física moderna, no hay lugar para formas estáticas, ni para substancia material alguna... Los elementos básicos del universo son patrones dinámicos; etapas transitorias dentro del "flujo constante de transformaciones y cambios", como lo llama Chuang Tzu.

Según nuestro conocimiento actual de la materia, sus modelos básicos son las partículas subatómicas, y la comprensión de las propiedades e interacciones de estas partículas constituye la principal finalidad de la física moderna. Hoy conocemos más de doscientas partículas, la mayor parte de ellas creadas artificialmente en procesos de colisión y las cuales viven sólo durante un período de tiempo extremadamente corto, ¡menos de una millonésima de segundo! Es evidente pues, que estas partículas de tan corta vida constituyen simplemente patrones transitorios de procesos dinámicos. Las principales preguntas que surgen con relación a estos patrones, o partículas, son las siguientes: ¿Cuáles son sus rasgos distintivos?, ¿están compuestas de algo?, y de ser así, ¿de qué se componen?, o -mejor- ¿qué otros patrones contienen?, ¿cómo influyen unas en otras?, es decir, ¿cuáles son las fuerzas que actúan entre ellas? Finalmente, si las partículas mismas son procesos, ¿qué tipo de procesos son?

En la física de las partículas todas estas preguntas están inseparablemente relacionadas. Debido a la naturaleza relativista de las partículas subatómicas, no es posible comprender sus propiedades sin comprender sus mutuas interacciones, y a causa de la interconexión básica existente en el mundo subatómico no comprenderemos una partícula sin antes entender a todas las demás. Los siguientes capítulos mostrarán cómo hemos llegado a comprender las propiedades e interacciones que se dan entre las partículas. Aunque todavía no disponemos de una teoría completa cuántico-relativista del mundo subatómico, se han desarrollado diversas teorías y modelos parciales, que sirven para describir algunos aspectos de este mundo de un modo muy eficaz. Un repaso a los más importantes de estos modelos y teorías mostrará que todos ellos



implican conceptos filosóficos que coinciden de un modo sorprendente con los que sostiene el misticismo oriental.

## 14 VACIO Y FORMA

La visión clásica y mecanicista del mundo estaba basada sobre la idea de unas partículas sólidas, indestructibles, que se movían en el vacío. La física moderna generó una radical revisión de esta idea. No sólo condujo a un concepto completamente nuevo de las "partículas", sino que transformó también el concepto clásico de "vacío" de un modo profundo. Esta transformación tuvo lugar con las denominadas teorías del campo. Comenzó con la idea de Einstein de relacionar los campos gravitacionales con la geometría del espacio, y se acentuó cuando la teoría cuántica y la teoría de la relatividad fueron combinadas para describir los campos de fuerza de las partículas subatómicas. En estas "teorías cuánticas del campo", la distinción entre las partículas y el espacio que las rodea pierde su fuerza original y el vacío pasa a ser considerado como una entidad dinámica de la mayor importancia.

El concepto de campo fue presentado en el siglo XIX por Faraday y Maxwell en su descripción de las fuerzas existentes entre cargas y corrientes eléctricas. Un campo eléctrico es una particularidad del espacio que rodea a un cuerpo cargado eléctricamente, que producirá una fuerza sobre cualquier otra carga eléctrica que se halle en ese espacio. De este modo, los campos eléctricos son creados por cuerpos cargados eléctricamente y sus efectos sólo podrán ser percibidos por otros cuerpos también cargados eléctricamente. Los campos magnéticos son creados por cargas en movimiento, es decir, por corrientes eléctricas, y las fuerzas magnéticas resultantes sólo pueden ser percibidas por otras cargas en movimiento. En la electrodinámica clásica -la teoría construida por Faraday y Maxwell-, los campos son entidades físicas primarias que pueden ser estudiadas sin referencia alguna a los cuerpos materiales. Los campos vibratorios eléctricos y magnéticos pueden viajar a través del espacio en forma de ondas de radio, ondas de luz, u otras clases de radiación electromagnética.

La teoría de la relatividad hizo más elegante la estructura de la electrodinámica, unificando los conceptos de cargas y corrientes, y de los campos magnéticos y eléctricos. Puesto que todo movimiento es relativo, toda carga puede también aparecer como una corriente -en un marco de referencia donde se mueva con respecto al observador- y por lo tanto su campo eléctrico puede aparecer como un campo magnético. En la formulación relativista de la electrodinámica los dos campos quedan así unificados en un solo campo electromagnético.

El concepto de campo ha sido asociado no sólo con la fuerza electromagnética, sino también con esa otra fuerza primordial del inundo macroscópico, la fuerza de la gravedad. Los campos gravitacionales son creados y percibidos por todos los cuerpos sólidos, y las fuerzas resultantes son siempre fuerzas de atracción, al contrario de lo que ocurre en los campos electromagnéticos, que sólo son percibidos por cuerpos cargados y que además originan fuerzas de atracción y de repulsión. La teoría del campo apropiada para el campo gravitacional es la teoría general de la relatividad, y en esta teoría la influencia de un cuerpo sólido sobre el espacio que lo rodea es de mayor alcance que la que tiene un cuerpo cargado en electrodinámica. Una vez más, el espacio que rodea al objeto está "condicionado", de tal modo que otro objeto sentirá esa fuerza, pero esta vez el condicionamiento afecta a la geometría y por lo tanto a la estructura misma del espacio.

La materia y el espacio vacío -lo lleno y lo vacío- eran los dos conceptos fundamentalmente distintos en los que se basaba el atomismo de Demócrito y de Newton. En la relatividad general estos dos conceptos no pueden permanecer ya separados. Donde exista un cuerpo sólido, habrá también un campo gravitacional y este campo se manifestará como la curvatura del espacio que rodea a dicho cuerpo. No debemos pensar sin embargo, que el campo llena el espacio y lo "curva". No existe distinción entre ambos. ¡El campo es el espacio curvo! En la relatividad general, el campo gravitacional y la estructura o geometría del espacio son lo mismo. En las ecuaciones del campo de Einstein están representados por una misma cantidad matemática. En la teoría de Einstein la materia no puede estar separada de su campo de gravedad, y el campo de gravedad no puede estar separado del espacio curvo. Materia y espacio son consideradas así, como partes inseparables e interdependientes de un solo conjunto.

Los objetos materiales no sólo determinan la estructura del espacio que los rodea sino que, a su vez, se ven influenciados por su entorno de un modo esencial. Según el físico y filósofo Ernst Mach, la inercia de un objeto material -la resistencia del objeto a ser acelerado no es una propiedad intrínseca de la materia, sino una medida de su interacción con todo el resto del universo. En la visión de Mach la materia sólo tiene inercia porque hay otra materia en el universo.



Cuando un cuerpo rota, su inercia produce fuerzas centrífugas (empleadas, por ejemplo, en los secadores centrífugos, para extraer el agua de una colada mojada), pero estas fuerzas aparecen sólo porque el cuerpo rota "con relación a las estrellas fijas", como ha señalado Mach. Si esas estrellas fijas repentinamente desaparecieran, la inercia y las fuerzas centrífugas del cuerpo en rotación desaparecerían con ellas.

Este concepto de inercia conocido como Principio de Mach, tuvo una profunda influencia sobre Albert Einstein y fue lo que inicialmente lo motivó a construir la teoría general de la relatividad. Dada la considerable complejidad matemática de la teoría de Einstein, los físicos todavía no han sido capaces de ponerse de acuerdo respecto a si ésta incluye realmente el Principio de Mach o no. La mayoría de los físicos creen, sin embargo, que de un modo u otro, debería estar incorporado en una teoría de la gravedad completa.

Así, la física moderna nos demuestra una vez más -y ahora a nivel macroscópico- que los objetos materiales no son entidades diferenciadas, sino que están inseparablemente ligados a su entorno y sus propiedades sólo pueden entenderse en función de su interacción con el resto del universo. Según el principio de Mach, esa interacción se extiende hasta las distantes estrellas y galaxias. La unidad básica del cosmos se manifiesta así, no sólo en el mundo de lo muy pequeño, sino también en el mundo de lo muy grande, hecho que es cada vez más reconocido en la astrofísica y la cosmología modernas. En palabras del astrónomo Fred Hoyle:

*Los recientes descubrimientos ocurridos en cosmología nos están sugiriendo de un modo muy insistente que las condiciones cotidianas no podrían existir, sino fuera por las partes distantes del universo; que todas nuestras ideas sobre el espacio y la geometría dejarían totalmente de tener validez si las partes distantes del universo desaparecieran. Nuestra experiencia diaria, incluso hasta en los más mínimos detalles, parece estar tan estrechamente relacionada con las grandes formas del universo que es casi imposible contemplar a ambos como separados.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> F. Hoyle, *Frontiers of Astronomy* (Heinemann, Londres, 1970), pág. 304.

La unidad e interrelación existente entre un objeto material y su entorno, puesta de manifiesto en la escala macroscópica por la teoría general de la relatividad, se muestra de una manera todavía más asombrosa a nivel subatómico. Aquí, para describir las interacciones que se dan entre las partículas subatómicas, las ideas de la teoría del campo clásica se combinan con las de la teoría cuántica. Tal combinación aún no ha sido posible para la interacción gravitacional a causa de la complicada fórmula matemática de la teoría de la gravedad de Einstein, pero la otra teoría del campo clásica, la electrodinámica, sí se ha podido combinar con la teoría cuántica, dando una teoría llamada "Electrodinámica Cuántica" que describe todas las interacciones electromagnéticas que se dan entre las partículas subatómicas. Esta teoría integra la teoría cuántica y la teoría de la relatividad. Fue el primer modelo "cuánticorelativista" de la física moderna y sigue siendo el más efectivo.

El rasgo más nuevo y sorprendente de la electrodinámica cuántica surge de la combinación de dos conceptos: el de campo electromagnético y el de los fotones, como manifestaciones en forma de partícula de las ondas electromagnéticas. Dado que los fotones son también ondas electromagnéticas, y siendo estas ondas campos en vibración, tales fotones deben ser manifestaciones de campos electromagnéticos. De ahí el concepto del "campo cuántico", es decir, de un campo que puede tornar la forma de cuantos o partículas. Este es un concepto completamente nuevo que ha sido ampliado para describir todas las partículas subatómicas y sus interacciones, correspondiendo cada tipo de partícula a un campo diferente. En estas "teorías del campo cuántico", el clásico contraste entre las partículas sólidas y el espacio que las rodea ha sido totalmente superado. El campo cuántico es considerado como una entidad física fundamental: un medio continuo que está presente en todas partes del espacio. Las partículas son simples condensaciones locales del campo, concentraciones de energía que viene y va, perdiendo así su carácter individual y disolviéndose en el campo subyacente. En palabras de Albert Einstein:

*Podemos por tanto considerar a la materia como constituida por las regiones de espacio en las cuales el campo es extremadamente intenso... En este nuevo tipo de física no hay lugar para campo y materia, pites el campo es la única realidad.<sup>2</sup>*

<sup>2</sup> Citado por M. Capek en *The Philosophical Impact of Contemporary Physics*, pág. 319.



La concepción de los objetos y fenómenos físicos como manifestaciones transitorias de una entidad esencial y fundamental no es sólo un elemento básico de la teoría del campo cuántico, sino también de la visión oriental del mundo. Al igual que Einstein, los místicos orientales consideran esta entidad fundamental como la única realidad: todas sus manifestaciones fenoménicas son consideradas ilusorias y transitorias. La realidad del místico oriental no puede identificarse con el campo cuántico del físico porque se considera como la esencia de todos los fenómenos de este mundo y, por lo tanto, está más allá de todos los conceptos e ideas. El campo cuántico, sin embargo, es un concepto bien definido que sólo explica algunos de los fenómenos físicos. No obstante, la interpretación física del inundo subatómico, en términos del campo cuántico, guarda un acentuado paralelismo con la del místico oriental, que interpreta su experiencia del mundo en función de una realidad esencial y última. Una vez establecido el concepto de campo, los físicos intentaron unificar los diversos campos en un solo campo fundamental que incorporase todos los fenómenos físicos. Einstein, en particular, pasó los últimos años de su vida buscando ese campo unificado. El *Brahman* de los hindúes, al igual que el *Dharmakaya* de los budistas y el *Tao* de los taoístas quizá puedan considerarse como el campo unificado y definitivo, del cual surgen no sólo los fenómenos estudiados por la física, sino también todos los demás fenómenos del mundo.

Bajo el punto de vista oriental, la realidad que sirve de base a todos los fenómenos está más allá de toda forma y escapa a toda descripción y especificación. Por tanto se dice con frecuencia que no tiene forma, que está vacía. Pero esta vacuidad no debe ser interpretada como la simple nada. Al contrario, es la esencia de todas las formas y la fuente de toda vida. Así dicen los *Upanishads*:

*Brahman es vida. Brahman es alegría. Brahman es el Vacío...  
La alegría, es ciertamente lo mismo que el Vacío.  
El Vacío, es ciertamente lo mismo que la alegría.*<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Chandogya Upanishad 4.10.4.

La misma idea es expresada por los budistas cuando llaman a la realidad última *Sunyata* – “vacuidad” o “el vacío”- y afirman que es un vacío vivo, que da origen a todas las formas existentes en el mundo fenomenal. Los taoístas atribuyen al *Tao* una creatividad infinita y eterna y también, lo denominan vacío. “El Tao del Cielo es vacío y sin forma”, dice Kuan-Tzu<sup>4</sup>, y Lao Tse emplea varias metáforas para explicar dicho vacío. Algunas veces compara el Tao con un valle hueco o con un recipiente que siempre está vacío y de este modo tiene el potencial de contener una infinidad de cosas.

<sup>4</sup> Kuan-Tzu, XIII, 36. Amplísima obra socio-filosófica que refleja varias escuelas, tradicionalmente atribuida al célebre estadista Kuan Chung del siglo VIII A.C., pero es más probable que fuera compuesta o recopilada aproximadamente hacia el siglo 111 antes de C.

Pese a emplear términos tales como vacuidad y vacío, los sabios orientales dejan muy claro que cuando hablan de *Brahman*, *Sunyata* o *Tao* no se refieren al vacío ordinario, sino por el contrario, a un vacío que tiene un potencial creativo infinito. De este modo, el vacío de los místicos orientales puede compararse con el campo cuántico de la física subatómica. Como el campo cuántico, da origen a una infinita variedad de formas que sostiene y, finalmente, reabsorbe. Como dicen los *Upanishads*:

*Que lo venere tranquilo,  
como aquello de lo que proviene,  
como aquello en lo que se disolverá,  
como aquello en lo que él respira.*<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Chandogya Upanishad 3.14.1.

Las manifestaciones fenomenológicas del vacío místico, de la misma manera que las partículas subatómicas, no son estáticas y permanentes, sino dinámicas y transitorias, dejándose ver y desvaneciéndose en una incesante danza de movimiento y energía. Al igual que el mundo subatómico del físico, el inundo del místico oriental es un mundo de *samsara*, de un continuo nacer y morir. Al ser manifestaciones transitorias del vacío, las cosas de este mundo no poseen una identidad fundamental. Esto se acentúa especialmente en la filosofía budista que niega la



existencia de cualquier sustancia material y también sostiene que la idea de un "yo" permanente que pasa por las sucesivas experiencias es una ilusión. Los budistas han comparado con frecuencia esta ilusión de una sustancia material y de un "yo" individual con el fenómeno de una onda acuática, en la que el movimiento arriba y abajo de las partículas de agua nos hace pensar que una "parte" del agua se mueve sobre la superficie. Es interesante ver que los físicos han empleado la misma analogía en el contexto de la teoría del campo para señalar la ilusión de una sustancia material creada por las partículas en movimiento. Así, escribe Hermann Weyl:

*Según la teoría del campo de la materia, una partícula material tal como un electrón, es simplemente una pequeña zona de fin campo eléctrico, dentro de la cual la fuerza del campo asume valores enormemente altos, indicando que una energía comparativamente muy grande está concentrada en un espacio muy pequeño. Tal nudo de energía, que de ningún modo se presenta claramente delimitado contra el resto del campo, se propaga a través del espacio vacío como una onda de agua sobre la superficie de un lago; no existe una substancia de la que pueda decirse que el electrón está compuesto en todo momento.<sup>6</sup>*

<sup>6</sup> H. Weyl, Philosophy of Mathematics and Natural Science, pág. 171.

En la filosofía china, la idea del campo no sólo está implícita en el concepto del Tao, al ser éste vacío y sin forma y, pese a ello, productor de todas las formas, sino que también figura expresada explícitamente en el concepto del *ch'i*. Este término representó un importante papel en casi todas las escuelas chinas de filosofía natural y fue particularmente notable en el neo confucianismo: la escuela que intentó hacer una síntesis con el confucionismo, el budismo y el taoísmo. La palabra *ch'i* significa literalmente "gas" o "éter" y se usó en la antigua China para designar la respiración o energía vital que animaba a la totalidad del cosmos. En el cuerpo humano, los "caminos del *ch'i*" constituyen la base de la medicina tradicional china. La finalidad de la acupuntura es la de estimular el flujo del *ch'i* a través de estos canales. Este flujo de *ch'i* es también la base de los fluidos movimientos del *T'ai Chi Ch'uan*, la danza taoísta del guerrero.

Los neo-confucianistas desarrollaron una idea de *ch'i* que presenta el más asombroso parecido con el concepto del campo cuántico usado en la física moderna. Al igual que el campo cuántico, el *ch'i* es concebido como una forma de materia tenue y no perceptible, que está presente por todo el espacio y que puede condensarse en objetos materiales sólidos. En palabras de Chang Tsai:

*Cuando el ch'i se condensa, su visibilidad se hace aparente, surgiendo entonces las formas (de las cosas individuales). Cuando se dispersa, su visibilidad deja de ser aparente y entonces ya no hay formas. En el momento de su condensación, ¿podría acaso decirse que ésta no es temporal? Y en el momento de su dispersión, ¿puede decirse sin reflexionar que entonces ya no existe?<sup>7</sup>*

<sup>7</sup> A. Short History of Chinese Philosophy, pág. 279.

De esta manera, el *ch'i* se condensa y se dispersa rítmicamente, produciendo todas las formas que, finalmente, se disuelven otra vez en el vacío. Como dice de nuevo Chang Tsai:

*El Gran Vacío no puede componerse más que de ch'i. Ese ch'i no puede más que condensarse para formar todas las cosas. Y esas cosas no pueden sino dispersarse para formar (una vez más) al Gran Vacío.<sup>8</sup>*

<sup>8</sup> Ibid., pág. 280.

Al igual que en la teoría del campo cuántico, el campo -o el *ch'i*- no es sólo la esencia fundamental de todos los objetos materiales, sino que también transporta sus mutuas interacciones en forma de ondas. Las siguientes descripciones del concepto del campo dadas por Walter Thirring, y la visión china del mundo físico según Joseph Needham, evidencian su gran similitud:

*La física teórica moderna... nos ha hecho pensar sobre la esencia de la materia en un contexto diferente. Ha llevado nuestra atención de lo visible -las partículas- a la entidad subyacente: el campo. La presencia de la materia es simplemente una perturbación del estado perfecto del campo en un lugar dado; algo accidental, casi podría decirse que es*



*simplemente una "mancha". Por consiguiente, no existen leyes sencillas que describan las fuerzas que actúan entre las partículas elementales... Tanto el orden como la simetría deberán buscarse en el campo subyacente.<sup>9</sup>*

*Tanto en la antigüedad como en la época medieval, el universo físico chino era un todo perfectamente continuo. El ch'i, condensado en materia palpable no tenía particularidades concretas, sin embargo los objetos individuales actuaban y reaccionaban con todos los demás objetos del mundo... en forma de ondas o de vibraciones, dependiendo, en último caso, de la alternancia rítmica en todos los niveles de las dos fuerzas fundamentales, el ying y el yang. Así, los objetos individuales tenían sus ritmos intrínsecos. Y éstos estaban integrados... dentro del modelo general de la armonía del mundo.<sup>10</sup>*

<sup>9</sup> W. Thirring, *Urbausteine der Materie*, pág. 160.

<sup>10</sup> J. Needham, *Science and Civilisation in China*, vol. IV, pág. 8-9.

Con el concepto del campo cuántico la física moderna encontró una respuesta inesperada a la antigua pregunta de si la materia está compuesta de átomos indivisibles o de un "continuum" básico y subyacente. El campo es un "continuum" presente en todas partes del espacio y, sin embargo, en su aspecto de partícula tiene una estructura "granular" y discontinua. Estos dos aspectos en apariencia contradictorios quedan así unificados, pasando a ser considerados como aspectos diferentes de la misma realidad. Al igual que siempre ocurre en cualquier teoría relativista. La unificación de los dos conceptos opuestos tiene lugar de un modo dinámico: los dos aspectos de la materia se transforman sin cesar uno en otro. El misticismo oriental resalta una unidad dinámica similar entre el vacío y las formas que crea. En palabras del lama Govinda:

*La relación entre forma y vacío no puede concebirse como un estado de opuestos mutuamente exclusivos, sino sólo como dos aspectos de la misma realidad, que coexisten y están en cooperación continua.<sup>11</sup>*

<sup>11</sup> Lama Anagarika Govinda, *Foundations of Tibetan Mysticism*, pág. 223.

La fusión de estos conceptos opuestos en un simple conjunto está expresada en un *sutra* budista con las célebres palabras:

*La forma es el vacío y el vacío es en verdad la forma. El vacío no es diferente de la forma, la forma no es diferente del vacío. Lo que es forma, es vacío, lo que es vacío, es forma.<sup>12</sup>*

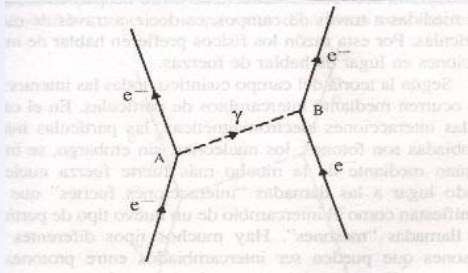
<sup>12</sup> *Prajna-aparamika-hridaya Sutra*, (M. Muller), vol. XLIX

Las teorías del campo de la física moderna nos han conducido no sólo a un nuevo punto de vista sobre las partículas subatómicas sino que también han modificado decisivamente nuestras nociones sobre las fuerzas existentes entre estas partículas. El concepto del campo originariamente se relacionó con el concepto de fuerza, e incluso en la teoría del campo cuántico todavía se asocia con las fuerzas existentes entre las partículas. El campo electromagnético, por ejemplo, puede manifestarse como un "campo libre" en forma de ondas/fotones viajeros, o bien puede jugar el papel de un campo de fuerza entre partículas cargadas eléctricamente. En este último caso, la fuerza se manifiesta como un intercambio de fotones entre las partículas que interactúan. La repulsión eléctrica entre dos electrones, por ejemplo, se ve mediatizada por estos intercambios de fotones.

Este nuevo concepto de fuerza puede parecer difícil de entender, pero se ve mucho más claro cuando el proceso de intercambio de fotones representa en un diagrama espacio-temporal. El siguiente diagrama muestra dos electrones acercándose uno a otro, uno de ellos emite un fotón (indicado por  $\gamma$ ) en el punto A, absorbiéndolo el otro en el punto B.

En el momento en que el primer electrón emite el fotón, invierte su dirección y cambia su velocidad (como puede verse por la distinta dirección y la inclinación de su línea del mundo), y lo mismo hace el segundo electrón cuando absorbe el fotón. Al final, los dos electrones se separan, habiéndose repelido uno a otro a través del intercambio del fotón. La interacción total entre los electrones incluirá una serie de intercambios de fotones y como resultado los electrones parecerán desviarse uno de otro en suaves curvas.





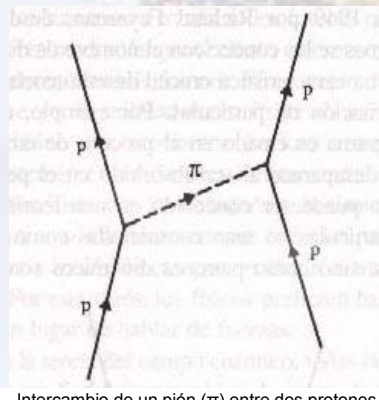
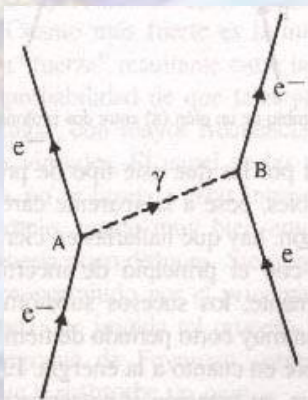
Repulsión mutua de dos electrones mediante el intercambio de un fotón

En términos de la física clásica se diría que los electrones ejercen una fuerza repulsiva uno sobre el otro. Sin embargo, ahora esto se considera como una forma muy imprecisa de describir la situación. Ninguno de los dos electrones "siente" fuerza alguna cuando se aproxima al otro. Todo lo que hacen es influirse mutuamente a través de los fotones que intercambian. La fuerza no es más que el

efecto macroscópico de estos múltiples intercambios de fotones. El concepto de fuerza, por tanto, carece ya de utilidad en la física subatómica. Es un concepto clásico que asociamos (incluso aunque sólo sea subconscientemente) con la idea newtoniana de una fuerza que se siente a distancia. En el mundo subatómico no existen tales fuerzas, sino sólo interacciones entre las partículas, que son medidas a través de campos, es decir, a través de otras partículas. Por esta razón los físicos prefieren hablar de interacciones en lugar de hablar de fuerzas.

Según la teoría del campo cuántico, todas las interacciones ocurren mediante intercambios de partículas. En el caso de las interacciones electromagnéticas, las partículas intercambiadas son fotones; los nucleones, sin embargo, se interactúan mediante de la mucho más fuerte fuerza nuclear, dando lugar a las llamadas "interacciones fuertes" que se manifiestan como el intercambio de un nuevo tipo de partículas llamadas "mesones". Hay muchos tipos diferentes de mesones que pueden ser intercambiados entre protones y neutrones. Cuanto más cerca están los nucleones unos de otros, más numerosos y pesados son los mesones que intercambian. Las interacciones entre los nucleones están así relacionadas con las propiedades de los mesones intercambiados y éstos, a su vez, interactúan mutuamente a través del intercambio de otras partículas. Por ello, no es posible comprender la fuerza nuclear a un nivel fundamental sin entender todo el espectro de las partículas subatómicas.

En la teoría del campo cuántico, todas las interacciones entre partículas pueden representarse en diagramas espaciotemporales, y cada diagrama se relaciona con una expresión matemática que nos permite calcular la probabilidad de que ocurra el correspondiente proceso. La correspondencia exacta entre los diagramas y las expresiones matemáticas fue establecida en 1949 por Richard Feynman, desde entonces estos diagramas se les conoce con el nombre de diagramas de Feynman. Una característica crucial de esta teoría es la creación y destrucción de partículas. Por ejemplo, el fotón de nuestro diagrama es creado en el proceso de emisión en el punto A, y desaparece al ser absorbido en el punto B. Tal proceso sólo puede ser concebido en una teoría relativista donde las partículas no sean consideradas como objetos indestructibles, sino como patrones dinámicos son una cierta cantidad de energía susceptible de ser redistribuida al formarse nuevos patrones



Intercambio de un pión ( $\pi$ ) entre dos protones



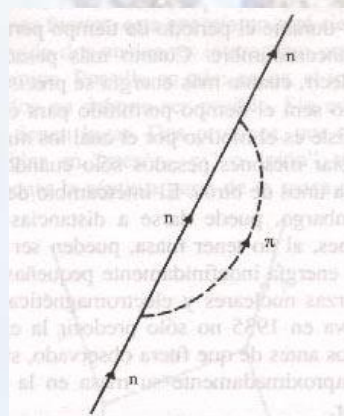
La creación de una partícula con masa sólo es posible cuando se suministra la energía correspondiente a su masa, por ejemplo, mediante un proceso de colisión. En el caso de las interacciones fuertes, esta energía no está siempre asequible, como cuando dos nucleones interactúan uno con otro en un núcleo atómico. Por ello en tales casos, el intercambio de mesones sólidos no debería ser posible. Sin embargo, estos intercambios tienen lugar. Dos protones, por ejemplo, pueden intercambiar un "mesónpi" o "pión", cuya masa es aproximadamente la séptima parte de la masa del protón:

Las razones por las que este tipo de procesos de intercambio son posibles, pese a la aparente carencia de energía para crear el mesón, hay que hallarlas en cierto "efecto cuántico" conectado con el principio de incertidumbre. Como dijimos anteriormente, los sucesos subatómicos que tienen lugar dentro de un muy corto período de tiempo implican una gran incertidumbre en cuanto a la energía. El intercambio de mesones, es decir, su creación y posterior destrucción, son sucesos de este tipo. Tienen lugar durante un período de tiempo tan corto que la incertidumbre de la energía es suficiente para permitir la creación de los mesones. Estos mesones son llamados partículas "virtuales". Se diferencian de los "verdaderos" mesones creados en procesos de colisión, en que sólo pueden existir durante el período de tiempo permitido por el principio de incertidumbre. Cuanto más pesados sean los mesones (es decir, cuanta más energía se precise para crearlos), más corto será el tiempo permitido para el proceso de intercambio. Este es el motivo por el cual los nucleones pueden intercambiar mesones pesados sólo cuando se encuentran muy cerca unos de otros. El intercambio de fotones virtuales, sin embargo, puede darse a distancias indefinidas, pues los fotones, al no tener masa, pueden ser creados con cantidades de energía indefinidamente pequeñas. Este análisis de las fuerzas nucleares y electromagnéticas permitió a Hideki Yukawa en 1935 no sólo predecir la existencia del pión, doce años antes de que fuera observado, sino que también estimar aproximadamente su masa en la escala de la fuerza nuclear.

De este modo, en la teoría del campo cuántico, todas las interacciones son representadas como intercambios de partículas virtuales. Cuanto más fuerte es la interacción, cuanto más fuerte sea la "fuerza" resultante entre las partículas, más elevada será la probabilidad de que tales procesos de intercambio tengan lugar, con mayor frecuencia serán intercambiadas partículas virtuales. El papel de las partículas virtuales, sin embargo, no se limita a estas interacciones. Un solo nucleón por ejemplo, puede muy bien emitir una partícula virtual y reabsorberla poco después. Siempre que esto ocurra dentro del tiempo permitido por el principio de incertidumbre, no existe nada que impida tal proceso. Más adelante se reproduce el diagrama de Feynman correspondiente a un neutrón que emite y reabsorbe un pión.

La probabilidad de tales procesos de "autointeracción" es muy elevada entre los nucleones a causa de su fuerte influencia mutua. Esto quiere decir que los nucleones están de hecho, emitiendo y absorbiendo partículas virtuales todo el tiempo. Según la teoría del campo han de ser considerados como centros de actividad continua, rodeados de nubes de partículas virtuales. Los mesones virtuales tienen que desaparecer muy poco tiempo después de su creación, lo que significa que no pueden alejarse mucho del nucleón. Esta nube de mesones es por tanto, muy pequeña. Sus zonas exteriores están pobladas de mesones ligeros (piones en su mayoría), mientras que los mesones más pesados tienen que ser reabsorbidos dentro de un tiempo mucho más corto y por consiguiente se ven confinados a las partes interiores de la nube.

Todo nucleón está rodeado por esa nube de mesones virtuales que viven sólo durante un período de tiempo extremadamente corto. Sin embargo, los mesones virtuales pueden convertirse en mesones verdaderos en circunstancias especiales. Cuando un nucleón es golpeado por otra partícula que se mueve a gran velocidad, una parte de la energía cinética de esa partícula puede ser transferida a un mesón virtual libe-



Un neutrón (n) que emite y reabsorbe un pión.



rándolo así de la nube. De este modo es como se crean verdaderos mesones en las colisiones de alta energía. Por otro lado, cuando dos nucleones se aproximan tanto uno a otro que sus nubes de mesones se superponen, algunas de las partículas virtuales tal vez no regresen para ser absorbidas por el nucleón que originalmente las creó, sino que quizás "salten al otro lado" pasando a ser absorbidas por el otro nucleón. De este modo surgen los procesos de intercambio que constituyen las interacciones fuertes.

Esto muestra claramente que las interacciones entre las partículas, y por tanto las "fuerzas" existentes entre ellas, están determinadas por la composición de sus nubes virtuales. El ámbito de una interacción, es decir, la distancia entre las partículas a la que comenzará la interacción, dependerá de la extensión de sus nubes virtuales, y la forma que la interacción tome dependerá de las propiedades de las partículas que estén presentes en las nubes. Así, las fuerzas electromagnéticas son originadas por la presencia de fotones virtuales "dentro" de las partículas cargadas eléctricamente, mientras que las interacciones fuertes entre nucleones surgen de la presencia de piones virtuales y otros mesones "dentro" de los propios nucleones. En la teoría del campo, las fuerzas que actúan entre las partículas aparecen como propiedades intrínsecas de las mismas partículas. Fuerza y materia, los dos conceptos tan claramente separados en el atomismo griego y newtoniano, se cree ahora que tienen su origen común en esos patrones dinámicos que llamamos partículas.

Este punto de vista sobre las fuerzas es también característico del misticismo oriental, pues considera el movimiento y el cambio como propiedades esenciales e intrínsecas de todas las cosas. "Todas las cosas que giran", dice Chang Tsai refiriéndose a los cuerpos celestes, "tienen una fuerza espontánea y su movimiento no les es impuesto desde fuera".<sup>13</sup> En el 1 *Ching* leemos:

*Las leyes (naturales) no son fuerzas externas a las cosas, sino que representan la armonía del movimiento inmanente en ellas.*<sup>14</sup>

<sup>13</sup> Citado por J. Needham, ob. cit., vol. 11, pág. 62.

<sup>14</sup> Comentario del Hexagrama Yü, R. Wilhelm, *The I Ching of Book of Changes*, pág. 68.

Esta antigua descripción china de las fuerzas como representando a la armonía del movimiento dentro de las cosas, parece especialmente apropiada, a la luz de la teoría del campo cuántico, donde las fuerzas que actúan entre las partículas son consideradas como reflejos de los patrones dinámicos (las nubes virtuales) inherentes a dichas partículas.

Las teorías del campo de la física moderna nos obligan también a abandonar la distinción clásica entre partículas materiales y vacío. Tanto la teoría del campo de la gravedad de Einstein como la teoría del campo cuántico demuestran que las partículas no pueden ser separadas del espacio que las rodea. Por un lado, determinan la estructura de dicho espacio, y por otro, no se las puede considerar como entidades aisladas, sino que han de ser consideradas como condensaciones de un campo continuo, presente en todo el espacio. En la teoría del campo cuántico, este campo está considerado como la base de todas las partículas y de sus interacciones mutuas:

*El campo existe siempre y en todos los lugares; nunca puede ser eliminado. Es quien transporta a todos los fenómenos materiales. Es el "vacío" del cual el protón crea los mesones-pi. Tanto el aparecer como el desvanecerse de las partículas son sencillamente formas de movimiento del campo.*<sup>15</sup>

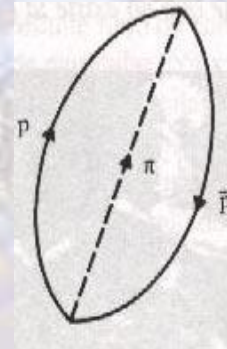
<sup>15</sup> W. Thirring, ob. cit., pág. 159.

La distinción entre materia y espacio vacío tuvo finalmente que ser abandonada cuando se hizo evidente que las partículas virtuales pueden venir a la existencia espontáneamente del vacío y



desvanecerse de nuevo en el vacío, sin que esté presente ningún nucleón ni otra partícula de interacción fuerte. Aquí tenemos un "diagrama de vacío" que representa dicho proceso: tres partículas: un protón ( $p$ ), un antiprotón ( $\bar{p}$ ) y un pión ( $\pi$ ) se forman de la nada y desaparecen de nuevo en el vacío. Según la teoría del campo, sucesos de este tipo ocurren todo el tiempo. El vacío, desde luego, no está vacío. Por el contrario, contiene un número ilimitado de partículas que nacen y se desvanecen incesantemente.

Aquí, pues, nos encontramos con que el vacío de la física moderna presenta el más estrecho paralelismo con el vacío del misticismo oriental. Al igual que el vacío oriental, el "vacío físico" -como se le denomina en la teoría del campo- no es un estado de simple nada, sino que potencialmente contiene todas las formas del mundo de las partículas. Estas formas, a su vez, no son entidades físicas independientes, sino meras manifestaciones transitorias del vacío fundamental. Como dice el *sutra*, "la forma es el vacío, y el vacío es realmente la forma". La relación entre las partículas virtuales y el vacío es una relación esencialmente dinámica; el vacío es verdaderamente un "vacío vivo", que pulsa constantemente con ritmos de creación y de destrucción. El descubrimiento de la cualidad dinámica del vacío está considerado por muchos físicos como uno de los hallazgos más importantes de la física moderna. Desde papel de vacío contenedor de los fenómenos físicos, el vacío se ha convertido en una entidad dinámica de la mayor importancia. Así, los resultados de la física moderna, parecen confirmar las palabras del sabio chino Chang Tsai:



Un diagrama de vacío

*Citando se sabe que el gran vacío está lleno de ch'i, se da una cuenta de que no existe la nada.*<sup>16</sup>

<sup>16</sup> Citado por J. Needham, ob. cit., vol. IV, pág. 33.

## 15 LA DANZA COSMICA

La exploración del mundo subatómico llevada a cabo durante el siglo XX ha puesto de manifiesto la naturaleza intrínsecamente dinámica de la materia. Ha mostrado que los componentes de los átomos, es decir, las partículas subatómicas, son modelos dinámicos que carecen de existencia como entidades aisladas, existiendo sólo como partes integrantes de un inseparable entretejido de interacciones. Estas interacciones suponen un incesante flujo de energía que se manifiesta como intercambio de partículas, como una influencia dinámica mutua en la que ciertas partículas son creadas y destruidas en una continua variación de patrones energéticos. Estas interacciones que tienen lugar entre las partículas originan las estructuras que componen el mundo material, estructuras que no permanecen estáticas, sino que oscilan con movimientos rítmicos. Todo el universo está, pues, engranado dentro de un movimiento y de una actividad sin fin, en una continua danza cósmica de energía.

Esta danza involucra una enorme variedad de patrones, pero, sorprendentemente, todos ellos caen dentro de unas pocas categorías. El estudio de las partículas subatómicas y sus interacciones revela un orden extraordinario. Todos los átomos, y por ello, todas las formas de materia existentes en nuestro medio ambiente, están compuestos de sólo tres partículas sólidas: el protón, el neutrón y el electrón. Una cuarta partícula, el fotón, no tiene masa y representa la unidad de radiación electromagnética. El protón, el electrón y el fotón son partículas estables, lo cual quiere decir que viven para siempre a menos que se vean implicadas en un proceso de colisión en el que puedan ser aniquiladas. El neutrón, por el contrario, se puede desintegrar





espontáneamente. Esta desintegración se denomina "emisión beta" y constituye el proceso básico de cierto tipo de radioactividad. El neutrón se transforma entonces en un protón, creándose un electrón y un nuevo tipo de partícula denominada neutrino, que carece de masa. Del mismo modo que el protón y el electrón, el neutrino es también estable. Usualmente se representa con la letra griega  $\nu$ , y el proceso de emisión beta se escribe simbólicamente así:

$$n \rightarrow p + e^- + \nu$$

La transformación de neutrones en protones que tiene lugar en los átomos de una sustancia radioactiva, supone una transformación de estos átomos en átomos de una especie totalmente diferente. Los electrones creados en este proceso son emitidos en forma de una poderosa radiación que es muy utilizada en biología, en medicina y en la industria. Los neutrones, sin embargo, aunque son emitidos en igual número, son muy difíciles de detectar puesto que carecen de masa y de carga eléctrica.

Como ya he mencionado, para cada partícula existe una antipartícula, con igual masa, pero de carga opuesta. El fotón es su propia antipartícula; la antipartícula del electrón se llama positrón. También existe un antiprotón, un antineutrón y un antineutrino. La partícula sin masa creada en la emisión beta no es, de hecho, un neutrino sino un antineutrino (representado por  $\bar{\nu}$ ), así que el proceso escrito correctamente sería el siguiente:

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$$

Las partículas mencionadas hasta ahora constituyen sólo una pequeña parte de todas las partículas subatómicas conocidas hoy día. Todas las demás son inestables y se desintegran tras un cortísimo período de tiempo, dando lugar a otras partículas, algunas de las cuales pueden volver a desintegrarse hasta que surja una combinación de partículas que sea estable. El estudio de las partículas inestables resulta muy caro pues han de ser creadas en cada investigación mediante procesos de colisión, para lo cual son necesarios enormes aceleradores de partículas, cámaras de burbujas y otros dispositivos extremadamente sofisticados, imprescindibles para la detección de este tipo de partículas.

La mayoría de las partículas inestables viven sólo durante un período muy corto de tiempo, en comparación con la escala humana: menos de una millonésima de segundo. Sin embargo, su tiempo de vida ha de considerarse con relación a su tamaño que es también diminuto. Visto de este modo, resulta que muchas de ellas viven durante un período relativamente largo, y que una millonésima de segundo es, en el mundo de la partícula, un enorme lapso de tiempo. Durante un segundo el ser humano puede atravesar una distancia equivalente a unas cuantas veces su tamaño. Para una partícula, el lapso de tiempo equivalente sería por tanto el tiempo que necesitaría para recorrer una distancia que fuera unas cuantas veces su propio tamaño. A esta unidad de tiempo la podríamos llamar "segundo de partícula".\*

\* Los físicos escriben esta unidad de tiempo como  $10^{-23}$  segundos, anotación breve (le un número decimal con 23 ceros a la izquierda de la cifra 1: 0,000000000000000000000001).

Para cruzar un núcleo de tamaño medio una partícula necesita aproximadamente diez de estos "segundos de partícula" viajando a una velocidad cercana a la de la luz, como lo hacen las partículas en los experimentos de colisión. Entre el gran número de partículas inestables, existen alrededor de dos docenas que pueden atravesar varios átomos antes de desintegrarse. Esta es una distancia equivalente a unas cien mil veces su tamaño y que corresponde a un tiempo de unos cuantos cientos de "horas de partícula". Estas partículas están relacionadas en la tabla anterior, junto con las partículas estables ya citadas. La mayoría de las partículas inestables de la tabla, llegan a recorrer un centímetro entero, o incluso varios centímetros antes de desintegrarse, y las que viven más tiempo, una millonésima de

Partículas estables de duración relativamente larga

		NOMBRE	SIMBOLO		
			PARTICULA	ANTIPARTICULA	
		fotón	$\gamma$		
lepton		neutrino	$\nu_e \quad \nu_\mu$	$\bar{\nu}_e \quad \bar{\nu}_\mu$	
		electrón	$e^-$	$e^+$	
		muón	$\mu^-$	$\mu^+$	
hadrones	mesones	pión	$\pi^+ \quad \pi^0 \quad \pi^-$		
		kaón	$K^+ \quad K^0 \quad \bar{K}^0 \quad \bar{K}^-$		
		eta	$\eta$		
	bariones	protón	$p$	$\bar{p}$	
		neutrón	$n$	$\bar{n}$	
		lambda	$\Lambda$	$\bar{\Lambda}$	
	sigma	$\Sigma^+ \quad \Sigma^0 \quad \Sigma^-$	$\bar{\Sigma}^+ \quad \bar{\Sigma}^0 \quad \bar{\Sigma}^-$		
	cascada	$\Xi^0 \quad \Xi^-$	$\bar{\Xi}^0 \quad \bar{\Xi}^-$		
	omega	$\Omega$	$\bar{\Omega}^-$		



segundo, pueden viajar varios cientos de metros antes de su desintegración, longitud enorme en relación a su tamaño.

Esta tabla muestra trece tipos distintos de partículas, muchas de las cuales aparecen en diferentes "estados de carga". Los piones, por ejemplo, pueden tener carga positiva ( $\pi^+$ ), negativa ( $\pi^-$ ) o ser eléctricamente neutros ( $\pi^0$ ).

Hay dos tipos de neutrinos, uno de ellos interactúa sólo con los electrones ( $\nu_e$ ), el otro sólo con los electrones ( $\nu_\mu$ ). Se han relacionado también las antipartículas, siendo tres de las partículas ( $\gamma$ ,  $\pi^0$ ,  $\eta$ ) sus propias antipartículas. Las partículas están relacionadas en orden creciente según su masa: el fotón y los neutrinos no tienen masa. El electrón es la partícula más ligera que posee masa; los muones, piones y kaones son cientos de veces más pesados que el electrón; las demás partículas llegan a ser unas tres mil veces más pesadas.

Todas las demás partículas conocidas hasta ahora pertenecen a una categoría denominada "resonancias" que trataremos con más detalle en el capítulo siguiente. Viven durante un tiempo considerablemente más corto, desintegrándose después de unos cuantos "segundos de partícula", de modo que nunca pueden viajar distancias mayores que unas pocas veces su tamaño. Esto significa que no se las puede ver en la cámara de burbujas; su existencia sólo se puede deducir de una manera indirecta. Los rastros de la cámara de burbujas solamente pueden ser trazados por las partículas relacionadas en la tabla.

Todas estas partículas pueden ser creadas y aniquiladas en los procesos de colisión. Cada una de ellas puede también convertirse en partícula virtual y contribuir así a la interacción entre otras partículas. Aparentemente esto generaría un gran número de interacciones entre distintas partículas, pero afortunadamente, aunque no sabemos todavía por qué, todas estas interacciones parecen caer dentro de una de las cuatro categorías siguientes, cuyas fuerzas de interacción son marcadamente diferentes:

- Interacciones fuertes
- Interacciones electromagnéticas
- Interacciones débiles
- Interacciones gravitacionales

De todas ellas, las interacciones electromagnéticas y gravitacionales son las más conocidas, pues pueden ser experimentadas en el mundo macroscópico. La interacción gravitacional actúa entre todas las partículas, pero es tan débil que no puede detectarse experimentalmente. En el mundo macroscópico, sin embargo, el gran número de partículas que componen los cuerpos sólidos combinan su interacción gravitacional para producir la fuerza de gravedad, que es la fuerza dominante en el universo a gran escala. Las interacciones electromagnéticas tienen lugar entre todas las partículas cargadas eléctricamente. Son las responsables de los procesos químicos, y de la formación de todas las estructuras atómicas y moleculares. Las interacciones fuertes mantienen unidos a los protones y a los neutrones en el núcleo atómico. Constituyen la fuerza nuclear, la más fuerte, con mucho, de todas las fuerzas de la naturaleza. Los electrones, por ejemplo, están ligados a los núcleos atómicos mediante la fuerza electromagnética con energías de aproximadamente diez unidades (llamadas voltios de electrón) mientras que la fuerza nuclear que mantiene unidos a los protones y neutrones alcanza energías de aproximadamente diez millones de unidades.

En las interacciones fuertes no son los nucleones las únicas partículas que intervienen. De hecho, la enorme mayoría de las partículas son de interacción fuerte. Entre todas las partículas conocidas hoy, sólo cinco (y sus antipartículas) no participan en las interacciones fuertes. Estas son el fotón y los cuatro "leptones" relacionados en la parte superior de la tabla.\* Así, todas las partículas forman dos grandes grupos: los leptones y los "hadrones", o partículas de fuerte interacción. Los hadrones se dividen a su vez en "mesones" y "bariones", que difieren de diversos modos, siendo uno de ellos el hecho de que los bariones tienen antipartículas diferentes, mientras que un mesón puede ser su propia antipartícula.



\* Un quinto leptón, representado por la letra griega  $\tau$  (tau) ha sido descubierto recientemente. Como el electrón y el muón, aparece en dos estados de carga  $\tau^-$  y  $\tau^+$ , y dado que su masa es unas 3.500 veces la del electrón se le considera como un "leptón pesado". Se ha postulado su correspondiente neutrino, que interactuaría sólo con este tau, pero hasta la fecha no se ha descubierto.

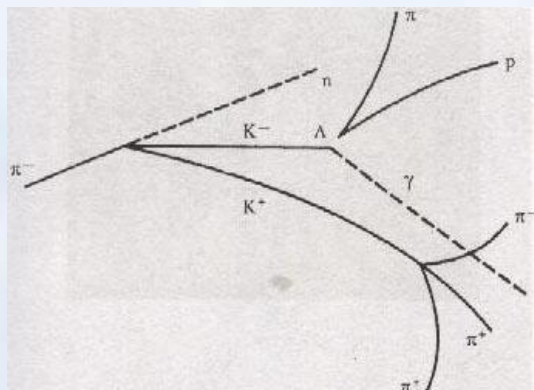
Los leptones participan en el cuarto tipo de interacciones, las interacciones débiles. Estas son tan débiles, y tienen un alcance tan corto, que no son capaces de unir nada, mientras que las otras tres dan origen a fuerzas de unión: las interacciones fuertes unen los núcleos atómicos, las electromagnéticas los átomos y las moléculas, y las gravitacionales los planetas, las estrellas y las galaxias. Las interacciones débiles se manifiestan sólo en ciertos tipos de colisiones y en las desintegraciones de algunas partículas, tales como la emisión beta anteriormente mencionada. Todas las interacciones entre hadrones ocurren mediante el intercambio de otros hadrones. Estos intercambios entre partículas con masa son los que hacen que las interacciones fuertes tengan un alcance tan corto. Se extienden sólo a una distancia de unos cuantos tamaños de partícula y por consiguiente nunca pueden constituir una fuerza macroscópica. De este modo las interacciones fuertes no son experimentables en el mundo diario. Las interacciones electromagnéticas, por otro lado, ocurren mediante el intercambio de fotones sin masa y por eso su alcance es indefinidamente largo, por este motivo las fuerzas eléctricas y magnéticas se perciben en el mundo a gran escala. También las interacciones gravitacionales, se cree que tienen lugar mediante una partícula sin masa denominada "gravitón", pero son tan débiles que todavía no ha sido posible observar dicho gravitón, aunque no hay razones serias para dudar de su existencia. Las interacciones débiles, finalmente, tienen un alcance extremadamente corto -mucho más corto que el de las interacciones fuertes- y por ello se supone que se producen mediante el intercambio de partículas muy pesadas. Estas hipotéticas partículas, de las cuales se supone que existen tres tipos, llamados  $W^+$ ,  $W^-$  y  $Z$ , se cree que juegan un papel análogo al del fotón en las interacciones electromagnéticas, excepto por su gran masa. Esta analogía constituye, de hecho, la base de los más recientes avances en un nuevo tipo de teorías cuánticas del campo llamadas teorías *gauge* que han hecho posible construir una teoría del campo unificada para las interacciones electromagnéticas y débiles.



disuelven.

En muchos de los procesos de colisión efectuados en la física de alta energía, las interacciones fuertes, electromagnéticas y débiles se combinan para producir una intrincada secuencia de sucesos. Las iniciales partículas colisionantes con frecuencia se destruyen creándose varias partículas nuevas que o bien entran en nuevas colisiones o bien se desintegran, algunas veces en varios pasos, hasta formar las partículas estables que finalmente permanecen. La ilustración anterior muestra la fotografía de una cámara de burbujas en la que se aprecia esta secuencia de creación y destrucción.\* En ella se ve la impresionante mutabilidad de la materia a nivel de la partícula, mostrando una cascada de energía en la que varios patrones o partículas se forman y se

Sobre las dos ilustraciones anteriores:  
Intrincada secuencia de colisiones y desintegraciones de partículas: un pión negativo ( $\pi^-$ ), que llega por la izquierda,

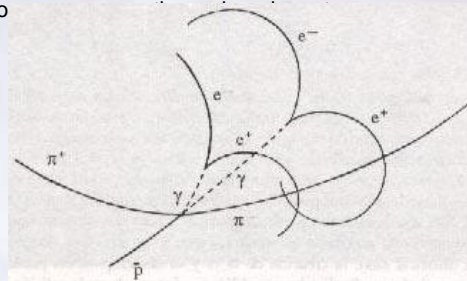




colisiona con un protón -es decir, con el núcleo de un átomo de hidrógeno- "que esperaba" en la cámara (le burbujas; ambas partículas son aniquiladas, y se crean un neutrón (n) y dos kaones (K y K<sup>+</sup>); el neutrón desaparece sin dejar rastro; el K<sup>-</sup> colisiona en la cámara con otro protón, aniquilándose las dos partículas una a otra y creando una lambda (Λ) y un fotón (γ). Ninguna de estas dos partículas es visible, pero la Λ se descompone tras un tiempo muy corto generando un protón (p) y un π<sup>-</sup>, y ambos producen rastros. La corta distancia entre la creación de la Λ y su descomposición puede verse claramente en la fotografía. Finalmente el K<sup>+</sup>, que fue creado en la colisión inicial, viaja unos momentos antes de desintegrarse en tres piones.

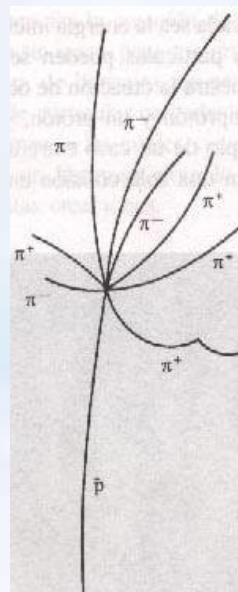
\* Nótese que sólo las partículas cargadas eléctricamente producen estelas en la cámara de burbujas. Están unidas por campos magnéticos en el sentido de las agujas del reloj en el caso de las partículas cargadas positivamente y 2al contrario en las negativas.

En estas secuencias la creación de materia es sorprendente pues un fotón sin masa, pero con gran energía, que no es visible en la cámara de burbujas, de pronto hace explosión generando un par de partículas cargadas eléctricamente -un electrón y un positrón- las cuales siguen curvas divergentes. Aquí tenemos un hermoso ejemplo de un procreaciones.

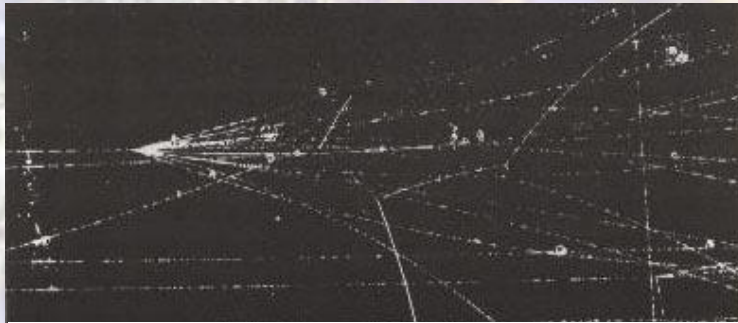


Una en dos creaciones: un antiprotón (  $\bar{p}$  ) llegando desde abajo colisiona con un protón de la cámara (le burbujas creando un  $\pi^+$  (que sale proyectado hacia la izquierda), un  $\pi^-$  (que surge hacia la derecha) y dos fotones ( $\gamma$ ), cada uno de los cuales crea un par electrón-positrón. Los positrones ( $e^+$ ) se curva hacia la derecha, los electrones ( $e^-$ ) hacia la izquierda.

Cuanto más elevada sea la energía inicial en estos procesos de colisión, más partículas pueden ser creadas. La siguiente fotografía muestra la creación de ocho piones en una colisión entre un antiprotón y un protón, y la de la página siguiente es un ejemplo de un caso extremo: la creación de dieciséis partículas en una sola colisión entre un pión y un protón.







Creación de dieciséis partículas en una colisión entre un pión y un protón.

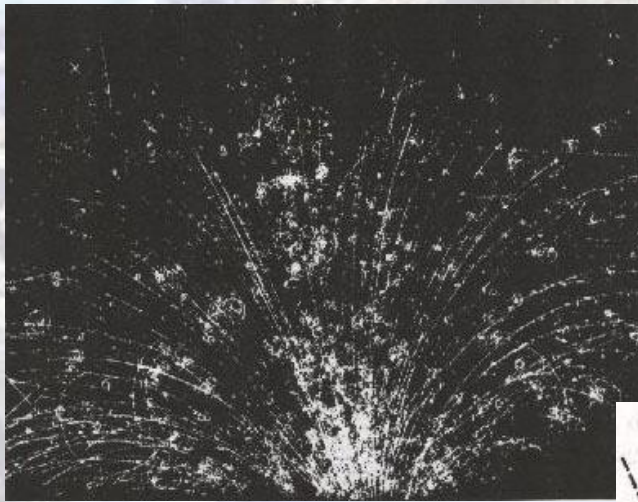
Todas estas colisiones han sido generadas artificialmente en el laboratorio mediante enormes máquinas en las cuales se aceleran las partículas a las energías requeridas. En la mayor parte de los fenómenos naturales que tienen lugar en la Tierra, las energías no son lo suficientemente elevadas para crear partículas sólidas. Sin embargo en el espacio, la situación es totalmente diferente. En el centro de las estrellas tienen lugar constantemente y de forma natural procesos de colisión similares a los estudiados en los laboratorios de aceleración, creándose grandes cantidades de partículas subatómicas. En algunas estrellas estos procesos producen una radiación electromagnética extremadamente potente -en forma de ondas de radio, ondas de luz o rayos X- que constituye la principal fuente de información que tienen los astrónomos sobre el universo. El espacio interestelar, así como el espacio existente entre las galaxias, está de este modo lleno de radiaciones electromagnéticas de diversas frecuencias, es decir, de fotones con varias energías. Sin embargo, no son éstas las únicas partículas que viajan por el cosmos. Los "rayos cósmicos" no sólo contienen fotones, sino también partículas sólidas de todos los tipos cuyo origen es todavía un misterio. La mayor parte de ellas son protones, algunos de los cuales pueden tener energías extraordinariamente elevadas; mucho más elevadas que las que se alcanzan en los aceleradores de partículas más potentes.

Cuando estos "rayos cósmicos" altamente energéticos llegan a la atmósfera de la Tierra, colisionan con los núcleos dulas moléculas de aire y producen una gran variedad de partículas secundarias que o bien se desintegran o sobreviven colisionando de nuevo, creando más partículas que colisionan y se desintegran otra vez, hasta que la última de ellas llega hasta la Tierra. De esta manera, un solo protón que llegue a la atmósfera de la Tierra puede dar origen a toda una cascada de sucesos en los que su energía cinética original se transformará en una lluvia de partículas diversas, que normalmente es absorbida a medida que penetra en el aire, experimentando múltiples colisiones. El mismo fenómeno que puede observarse en los

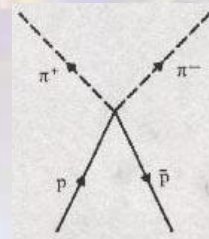


experimentos de colisión con alta energía ocurre constantemente de un modo natural, pero más intensamente, en la atmósfera de la Tierra; un continuo flujo de energía pasa por una gran variedad de modelos de partículas en una rítmica danza de creación y destrucción. A continuación tenemos un magnífico grabado de esta danza de la energía que fue tomado por accidente cuando una inesperada lluvia de rayos cósmicos golpeó la cámara de burbujas en el CERN (Centro Europeo de Investigaciones Nucleares), durante un experimento.

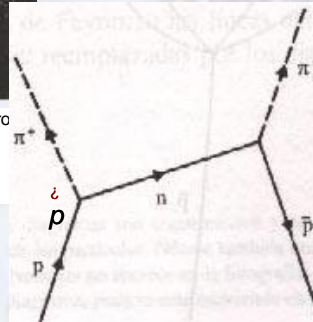
Los procesos de creación y destrucción que tienen lugar en el mundo de las partículas no son sólo éstos que pueden ser fotografiados en la cámara de burbujas sino también la creación y destrucción de partículas virtuales que resultan intercambiadas en las interacciones entre partículas y que no viven el tiempo suficiente para poder ser observadas. Tomemos, por ejemplo, la creación de dos piones en una colisión entre un protón y un antiprotón. Un diagrama de espacio-tiempo de este suceso sería algo parecido a esto (recuerde que la dirección del tiempo en estos diagramas es de abajo hacia arriba):



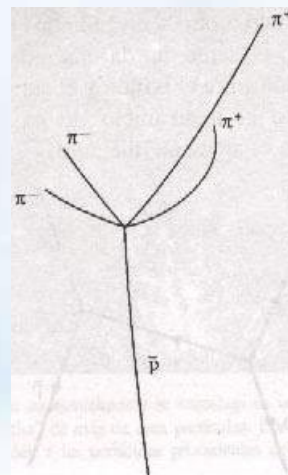
Un rayo cósmico que accidentalmente se introdujo en una cámara de burbujas pro "ducha" de más de cien partículas. Los trazos horizontales corresponden a las partículas procedentes del acelerador



Muestra las líneas del mundo del protón (p) y del antiprotón (p-bar) que colisionan en un punto del espacio y del tiempo, aniquilándose uno a otro y creando dos piones (pi+ y pi-). Este diagrama, no obstante, no da una representación completa. La interacción entre el protón y el antiprotón puede ser representada como el intercambio de un neutrón virtual, como nos muestra el siguiente diagrama.



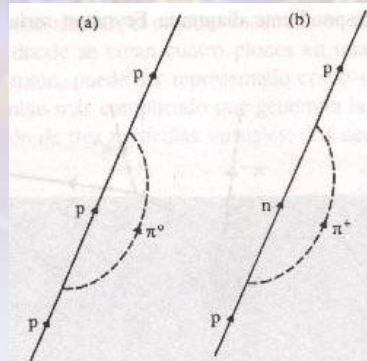
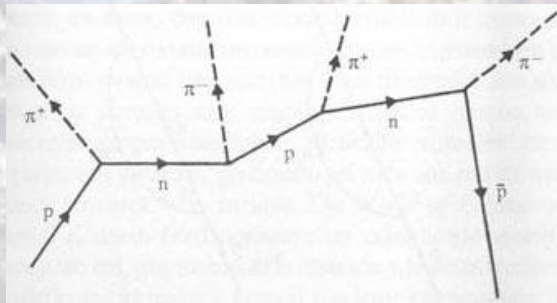
De un modo similar, el proceso mostrado en la siguiente fotografía, donde se crean cuatro piones en una colisión protón-antiprotón, puede ser representado como un proceso de intercambio más complicado que generaría la creación y la destrucción de tres partículas virtuales; dos neutrones y un protón.



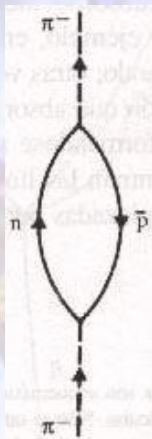


El correspondiente diagrama Feynman sería así:\*

\* Los siguientes diagramas son esquemáticos y no muestran los ángulos correctos de las líneas de las partículas. Nótese también que el protón inicial que espera en la cámara de burbujas no aparece en la fotografía, sin embargo tiene una línea del mundo en el diagrama, pues se está moviendo en el tiempo



Diagramas de Feynman que muestran a un protón que emite y reabsorbe piones virtuales.



Creación de un par virtual neutrón-antiprotón

Estos ejemplos ilustran que las figuras de la cámara de burbujas sólo dan una representación muy burda de las interacciones que tienen lugar entre las partículas. Los procesos reales implican redes mucho más complicadas de intercambios. La situación se hace infinitamente más compleja si recordamos que cada una de las partículas implicadas en las interacciones emite y reabsorbe incesantemente partículas virtuales. Un protón, por ejemplo, emitirá y reabsorberá un pión neutro de vez en cuando; otras veces puede emitir un  $\pi^+$  y convertirse en un neutrón que absorberá el  $\pi^+$  tras un corto espacio de tiempo, transformándose de nuevo en el protón. En los diagramas de Feynman las líneas del protón en estos casos habrán de ser reemplazadas por los diagramas siguientes:

En estos procesos virtuales, la partícula inicial puede desaparecer completamente durante un breve período de tiempo, como en el diagrama (b). Un pión negativo, por tomar otro ejemplo, puede crear un neutrón (n) más un antiprotón ( $\bar{p}$ ) que se aniquilan mutuamente para restablecer el pión original.

Es importante notar que todos estos procesos siguen las leyes de la teoría cuántica, y, por tanto, son tendencias o probabilidades más que realidades. Cada protón existe potencialmente, es decir, con una cierta probabilidad, como un protón más un  $\pi^0$ , o como un neutrón más un  $\pi^+$  y también de muchos otros modos. Los ejemplos antes mostrados son sólo los procesos virtuales más







renacimiento, y la danza de Shiva simboliza este eterno ritmo de vida y muerte que continúa en ciclos sin fin. En palabras de Ananda K. Coomaraswamy:

*En la noche de Brahman, la naturaleza está inerte, y no puede danzar hasta que Shiva lo desea: El sale de Su éxtasis y danzando envía a través de la materia inerte ondas pulsantes de sonido despertador, y ¡Ya!, la materia también comienza a danzar, apareciendo como ¡in círculo de gloria a Su alrededor. Con su danza, sostiene sus múltiples fenómenos. Cuando el tiempo se completa, todavía danzando, destruye El todas las formas y nombres mediante el fuego y confiere un nuevo descanso. Esto es poesía, pero no por ello deja de ser ciencia.*<sup>3</sup>

<sup>3</sup> A. K. Coomaraswamy, *The Dance of Shiva* Nooday Press, Nueva York, 1969), pág. 78.

La Danza de Shiva simboliza no sólo los ciclos cósmicos de creación y destrucción, sino también el ritmo diario de nacimiento y muerte, considerado en el misticismo hindú como la base de toda existencia. Al mismo tiempo, Shiva nos recuerda que las múltiples formas del mundo son *maya* -no fundamentales, sino ilusorias y siempre cambiantes- mientras continúa creándolas y disolviéndolas en el incesante flujo de su danza. Como lo ha expresado Heinrich Zimmer:

*Sus gestos espontáneos y llenos de gracia, precipitan la ilusión cósmica; sus brazos y piernas al viento y su torso balanceándose producen -y realmente lo son en sí mismos- la continua creación-destrucción del universo, con la muerte equilibrando al nacimiento, la aniquilación equilibrando a toda creación.*<sup>4</sup>



Shiva Nataraja. Bronce brahmánico del Sur de la India. Siglo XXII

<sup>4</sup> H. Zimmer, *Myths and Symbols in Indian Art and Civilisation*, pág. 155.

Los artistas hindúes de los siglos X y XI representan ni la danza cósmica de Shiva en magníficas esculturas danzantes de bronce, con cuatro brazos cuyos gestos equilibrados, y sin embargo dinámicos, expresan el ritmo y la unidad de la vida. Los diversos significados de esta danza son transmitidos mediante los detalles de las figuras en una compleja alegoría pictórica. La mano derecha superior del dios sostiene un tambor para simbolizar el sonido principal de la creación, la



mano izquierda superior sostiene una lengua de fuego, elemento de la destrucción. El equilibrio de las dos manos representa el dinámico equilibrio entre la creación y de la destrucción del mundo, equilibrio que se ve acentuado por la expresión calmada e imparcial del rostro del danzante, en el centro de las dos manos y donde la polaridad de la creación y destrucción es disuelta y trascendida. La segunda mano derecha se levanta con el signo de "no tener miedo", simbolizando conservación, protección y paz, mientras que la otra mano izquierda señala al pie levantado que simboliza la liberación del encanto de *maya*. El dios se representa bailando sobre el cuerpo de un demonio, símbolo de la ignorancia humana que ha de ser conquistado antes de alcanzar la liberación.

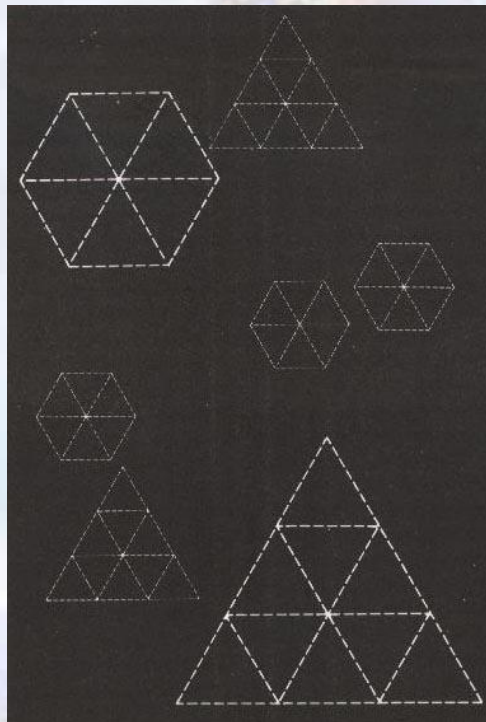
La danza de Shiva -en palabras de Coomaraswamy- es "la más clara imagen de la actividad de Dios, de la que cualquier arte o religión pueda presumir".<sup>5</sup> Como el dios es una personificación de *Brahman*, su actividad es la actividad de la miríada de manifestaciones de *Brahman* en el mundo. La danza de Shiva es la danza del universo; el incesante flujo de energía que pasa por una infinita variedad de modelos que se funden unos con otros.

<sup>5</sup> A. K. Coomaraswamy, ob. cit., pág. 67.

La física moderna ha demostrado que el ritmo de la creación y de la destrucción no sólo se hace manifiesto en la sucesión de las estaciones y en el nacimiento y la muerte de todas las criaturas vivas, sino que es también la misma esencia de la materia inorgánica. Según la teoría cuántica del campo, todas las interacciones entre los componentes de la materia tienen lugar a través de la emisión y absorción de partículas virtuales. Incluso, la danza de la creación y la destrucción es la base de la existencia misma de la materia, dado que todas las partículas materiales interactúan entre sí y consigo mismas, emitiendo y reabsorbiendo partículas virtuales. La física moderna ha revelado que, toda partícula subatómica no sólo realiza una danza de energía, sino que al mismo tiempo es *en sí misma* una danza de energía, un proceso pulsante de creación y destrucción.

Los esquemas de esta danza constituyen un aspecto esencial de la naturaleza de cada partícula y determinan muchas de sus propiedades. Por ejemplo, la energía utilizada en la emisión y absorción de partículas virtuales es equivalente a una cierta cantidad de masa que contribuye a la masa de la partícula que autointeractúa. Partículas diferentes desarrollan modelos diferentes en su danza, requiriendo diferentes cantidades de energía y ésta es la razón de que tengan diferentes masas. Las partículas virtuales, finalmente, no son sólo una parte esencial de las interacciones llevadas a cabo por todas las partículas y de las propiedades de la mayor parte de ellas, sino que también son creadas y destruidas por el vacío. Así, no sólo la materia, sino también el vacío, participa en la danza cósmica, creando y destruyendo sin fin los modelos de energía.

Para los físicos modernos, entonces, la danza de Shiva es la danza de la materia subatómica. Al igual que en la mitología hindú, se trata de una danza continua de creación y destrucción que involucra a todo el cosmos. Es la base de toda existencia y de todos los fenómenos naturales. Hace cientos de años, los artistas hindúes crearon las imágenes visuales de Shiva danzando en unas hermosas esculturas de bronce. En nuestros días, los físicos utilizan la tecnología más avanzada para fotografiar los modelos de la danza cósmica. Las fotografías de la cámara de burbujas, que dan testimonio del continuo ritmo de creación y destrucción que tiene lugar en el universo, son imágenes visuales de la danza de Shiva, equivalentes en belleza y significado a las de los artistas hindúes. La metáfora de la danza cósmica, de este modo, unifica a la antigua mitología, al arte religioso y a la física moderna. Realmente, como dijo Coomaraswamy, es "poesía, pero no por ello deja de ser ciencia".





Continúa en “Parte 3”