

# El Tao De La Física

Comentario [LT1]:

Tercera 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*



## **16 SIMETRÍAS DEL QUARK. ¿UN NUEVO KOAN?**

El inundo subatómico es un inundo de ritmo, movimiento y cambio continuo. Sin embargo, no es en absoluto arbitrario y caótico, sino que sigue patrones muy claros y definidos. Para empezar, todas las partículas de una especie dada son completamente idénticas: tienen exactamente la misma masa, la misma carga eléctrica y otras propiedades características. Además, todas las partículas cargadas transportan cargas eléctricas exactamente iguales (u opuestas) a la del electrón: o cargas que son justamente el doble de esa cantidad. Lo mismo puede decirse de otras cantidades que constituyen atributos característicos de las partículas: no tienen valores arbitrarios, sino que están sujetas a un número concreto. Esto nos permite ordenar las partículas dentro de unos cuantos grupos diferenciados o "familias". Así llegamos a esta pregunta, ¿Cómo surgen esos patrones tan definidos dentro del dinámico y siempre cambiante mundo de las partículas?

La existencia de modelos distintos en la estructura de la materia no es un fenómeno nuevo, sino que ya fue observado en el inundo de los átomos. Al igual que las partículas subatómicas, los átomos de un tipo dado son completamente idénticos unos a otros y los diferentes tipos de átomos o de elementos químicos, fueron ordenados dentro de varios grupos en la tabla periódica. Esta clasificación es ahora algo bien comprendido, se basa en el número de protones y neutrones presentes en los núcleos atómicos y en la distribución de los electrones en órbitas esféricas o "cortezas" alrededor de los núcleos. Como ya dije con anterioridad, la naturaleza ondular de los electrones restringe la distancia de sus órbitas y también su rotación dentro de una órbita dada a unos pocos valores definidos, que dependerán de las vibraciones específicas de las ondas del electrón. Como consecuencia de ello, en la estructura atómica surgen patrones definidos que se caracterizan por un conjunto de "números cuánticos" enteros que reflejan los patrones de vibración de las ondas del electrón en sus órbitas atómicas. Estas vibraciones determinan los "estados cuánticos" de un átomo y muestran que dos átomos cualesquiera serán completamente idénticos cuando ambos estén en su "estado básico" o en el mismo "estado de excitación".

Los esquemas o patrones del mundo de las partículas muestran grandes similitudes con los del mundo de los átomos. La mayoría de las partículas, por ejemplo, giran en torno a un eje como una peonza. Su rotación o espín está limitada a valores definidos, que son múltiplos enteros de alguna unidad básica. Así los bariones pueden sólo tener espines de  $1/2$ ,  $3/2$ ,  $5/2$ , etc., mientras que los mesones tienen espines de 0, 1, 2, etc. Esto nos recuerda a las rotaciones que como sabemos despliegan los electrones en sus órbitas atómicas, que están también restringidas a valores definidos especificados por números enteros.

Su analogía con los patrones atómicos se ve reforzada por el hecho de que todas las partículas de interacción fuerte (hadrones) parecen pertenecer a secuencias cuyos miembros presentan propiedades idénticas, en lo referente a sus masas y espines. Los primeros componentes de estas secuencias son partículas de una vida extremadamente corta, denominadas "resonancias", descubiertas en gran número durante la pasada década. Las masas y espines de las resonancias aumentan de un modo bien definido dentro de cada secuencia, en una progresión que parece extenderse indefinidamente. Esta regularidad recuerda los estados de excitación de los átomos y ha llevado a los físicos a considerar a los miembros más elevados de una secuencia de patrones no como partículas diferentes, sino como estados de excitación del hadrón con la masa más baja. Al igual que el átomo, el hadrón puede, por tanto, existir en varios estados de excitación de corta duración pudiendo alcanzar elevadas cantidades de rotación (o espín) y de energía (o masa).

Estas similitudes que se dan entre los estados cuánticos de los átomos y los hadrones sugieren que los hadrones, a su vez, son objetos compuestos de estructuras internas capaces de ser "excitadas", es decir, de absorber energía para así formar una cierta variedad de patrones. No obstante, en la actualidad todavía no hemos podido comprender cómo se forman estos patrones. En la física atómica, pueden ser explicados en términos de propiedades e interacciones mutuas de los componentes del átomo (los protones, los neutrones y los electrones), sin embargo en la física de las partículas tal explicación todavía no ha sido posible. Los patrones hallados en el mundo de las partículas han sido determinados y clasificados de un modo puramente empírico y, sin embargo no pueden deducirse de los detalles estructurales de las partículas.

La dificultad esencial que los físicos de las partículas tienen que afrontar consiste en el hecho de que la noción clásica de "objeto" compuesto de un conjunto definido de "partes componentes", no puede ser aplicada a las partículas subatómicas. La única forma de averiguar cuáles son los "componentes" de estas partículas es desintegrarlas bombardeándolas mediante procesos de colisión con altas energías. No obstante, al hacer esto, los fragmentos resultantes nunca son



"trozos más pequeños" que las partículas originales. Dos protones, por ejemplo, cuando colisionan a grandes velocidades pueden desintegrarse en una gran variedad de fragmentos, pero nunca darán "fracciones de protón". Los fragmentos serán siempre hadrones completos formados de las energías cinéticas y las masas de los protones colisionantes. La descomposición de una partícula en sus "componentes" está, pues, lejos de ser algo definitivo, dado que depende de la energía contenida en el proceso de colisión. Se trata de una situación totalmente relativista, en la que los patrones de energía dinámica son disueltos y reordenados, y donde el concepto estático de objetos compuestos y partes componentes no puede ser aplicado. La "estructura" de una partícula subatómica puede entenderse sólo en un sentido dinámico; en términos de procesos e interacciones.

El modo en que las partículas se desintegran en fragmentos en los procesos de colisión está determinado por ciertas reglas, y puesto que los fragmentos son de nuevo partículas del mismo tipo, estas reglas pueden también emplearse para describir las regularidades observadas en esas partículas. En los años sesenta, cuando se descubrieron la mayor parte de las partículas actualmente conocidas, la mayoría de los físicos -de un modo muy natural- concentraron sus esfuerzos en organizar las regularidades que surgían, más que en abordar el arduo problema de hallar las causas dinámicas de sus patrones. Y tuvieron éxito en dicha clasificación.



En esta investigación el concepto de simetría jugó un importante papel. Generalizando el concepto común de la simetría y dándole un significado más abstracto, los físicos pudieron desarrollarlo y hacer de él una poderosa herramienta que demostró ser extremadamente útil para la clasificación de las partículas. En la vida cotidiana, el caso más corriente de simetría es la reflexión en un espejo; se dice que una figura es simétrica cuando se puede trazar una línea a través de ella y dividirla así en dos partes que son imágenes reflejas exactas una de otra. Existen patrones con altos grados de simetría que permiten trazar varios ejes de simetría, como el siguiente dibujo utilizado en el simbolismo budista.

Sin embargo, la reflexión, no es la única operación relacionada con la simetría. Se dice que una figura es también simétrica si después de haberla girado en un ángulo determinado sigue pareciendo la misma. La forma del diagrama chino *Ying-yang*, por ejemplo, está basada en este tipo de simetría rotativo.

En la física de las partículas, las simetrías están asociadas con muchas otras operaciones además de las reflexiones y las rotaciones, y éstas pueden tener lugar no solamente en el espacio (y el tiempo) ordinarios, sino también en espacios matemáticos abstractos. Se aplican a las partículas, o grupos de partículas, y dado que las propiedades de las partículas están inseparablemente unidas a sus mutuas interacciones, las simetrías también se aplican a las interacciones, es decir, a los procesos en los que las partículas toman parte. La razón por la cual estas operaciones de simetría son tan útiles, radica en el hecho de que están íntimamente relacionadas con las llamadas "leyes de conservación". Siempre que algún proceso en el mundo de las partículas manifiesta cierta simetría, existe una cantidad medible que "se conserva", cantidad que permanece constante durante el proceso. Estas cantidades proporcionan elementos constantes a la compleja danza de la materia subatómica siendo por ello ideales para describir las interacciones entre las partículas. Algunas cantidades se conservan en todas las interacciones, otras sólo en



algunas de ellas, de este modo, todo proceso está asociado con un conjunto de cantidades conservadas. Así las simetrías que se dan en las propiedades de las partículas aparecen como leyes de conservación en sus interacciones. Los físicos utilizan los dos conceptos de un modo intercambiable, refiriéndose unas veces a la simetría de un proceso y otras a la ley de conservación, según sea lo más conveniente en cada caso particular.

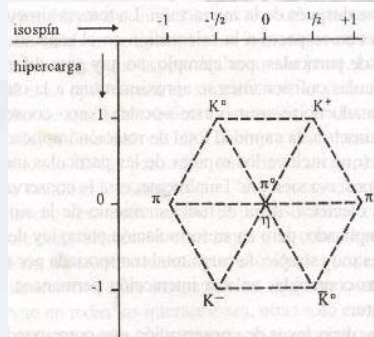
Hay cuatro leyes de conservación básicas que parecen observarse en todos los procesos, estando tres de ellas relacionadas con simples operaciones de simetría en el espacio y el tiempo ordinarios. Todas las interacciones entre partículas son simétricas con relación a sus desplazamientos en el espacio -tendrán exactamente el mismo aspecto tanto si tienen lugar en Londres como si ocurren en Nueva York. También son simétricas con respecto a sus desplazamientos en el tiempo, es decir, que ocurrirán de la misma forma un lunes que un miércoles. La primera de estas simetrías está relacionada con la conservación del momento, la segunda con la conservación de la energía. Esto significa que el momento total de todas las partículas involucradas en una interacción, y su energía total (incluyendo todas sus masas), será exactamente el mismo antes, que después de la interacción. La tercera simetría básica se da con respecto a la orientación en el espacio. En una colisión de partículas, por ejemplo, no hay gran diferencia si las partículas colisionantes se aproximan una a la otra en un eje orientado norte-sur o este-oeste. Como consecuencia de esta simetría, la cantidad total de rotación implicada en un proceso (que incluye los espines de las partículas individuales) se conserva siempre. Finalmente, está la conservación de la carga eléctrica. Aquí el funcionamiento de la simetría es más complicado, pero en su formulación como ley de conservación es muy simple: la carga total transportada por todas las partículas contenidas en una interacción permanece siempre constante.

Hay otras leyes de conservación que corresponden a las operaciones de simetría en los espacios matemáticos abstractos, como la relacionada con la conservación de la carga. Algunas de ellas son válidas para todas las interacciones, mientras otras sólo lo son para algunas de ellas (por ejemplo, para las interacciones fuertes y las interacciones débiles). Las cantidades conservadas pueden considerarse como "cargas abstractas" que son transportadas por las partículas. Puesto que siempre toman valores de números enteros ( $\pm 1, \pm 2$ , etc.), o valores "medio-enteros" ( $\pm 1/2, \pm 3/2, \pm 5/2$ , etc.) se les denomina números cuánticos, por analogía con los números cuánticos de la física atómica. Cada partícula, pues, se caracteriza por un conjunto de números cuánticos que, además de su masa, especifican todas sus propiedades.

Los hadrones, por ejemplo, tienen valores definidos de "isospín" e "hipercarga", dos números cuánticos que se conservan en todas las interacciones fuertes. Si los ocho mesones relacionados en la tabla del capítulo anterior son ordenados según los valores de estos dos números cuánticos, se ve que conforman un limpio patrón hexagonal conocido como el "octeto de mesón". Esta ordenación muestra una gran simetría; por ejemplo, partículas y antipartículas ocupan lugares opuestos en el hexágono, siendo las dos partículas del centro sus propias antipartículas. Los ocho bariones más ligeros forman exactamente el mismo patrón que se denomina el octeto de barión. En él, sin embargo, las antipartículas no están contenidas en el octeto, sino que forman un "antiocteto" idéntico. El barión que resta de nuestra tabla de partículas, el omega, pertenece a un modelo diferente, denominado "decuplete de barión", junto con nueve resonancias. Todas las partículas de un modelo o patrón de simetría dado tienen números cuánticos idénticos, excepto para el isospín y la hipercarga que les son dados por sus lugares dentro del modelo. Por ejemplo, todos los mesones del octeto tienen espín 0 (es decir, que no giran en absoluto), el espín de los bariones es de  $1/2$ , y los del decuplete tienen un espín de  $3/2$ .

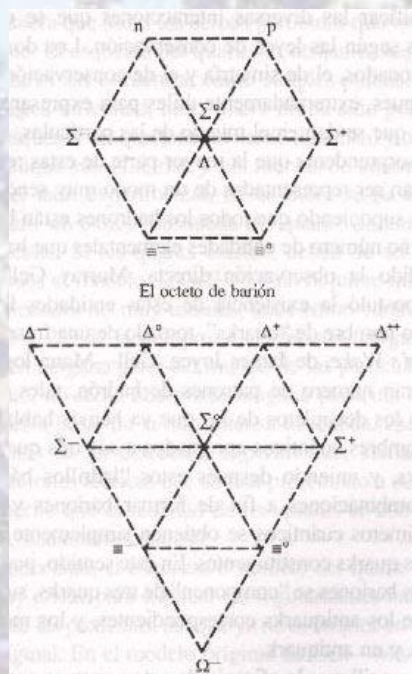
De este modo, los números cuánticos se utilizan para ordenar las partículas en familias formando patrones simétricos bien proporcionados, para especificar los lugares de las partículas individuales dentro de cada modelo, y también, para clasificar las diversas interacciones que se dan entre partículas según las leyes de conservación. Los dos conceptos relacionados, el de simetría y el de conservación, se consideran, pues, extremadamente útiles para expresar las regularidades que se dan en el mundo de las partículas.

Es sorprendente que la mayor parte de estas regularidades puedan ser representadas de un modo muy sencillo, simplemente suponiendo que todos los hadrones están hechos de un pequeño número de





entidades elementales que hasta ahora han eludido la observación directa. Murray Gell-Mann, cuando postuló la existencia de estas entidades les dio el fantástico nombre de "quarks", tomado de una frase del libro *Finnegan's Wake*, de James Joyce. Gell-Mann logró explicar un gran número de patrones de hadrón, tales como los octetos y los decupletos de los que ya hemos hablado, asignando nombres cuánticos apropiados a sus tres quarks y sus antiquarks, y uniendo después estos "ladrillos básicos" en varias combinaciones a fin de formar bariones y mesones cuyos números cuánticos se obtienen simplemente sumando los de sus quarks constituyentes. En este sentido, puede decirse que los bariones se "componen" de tres quarks, sus antipartículas de los antiquarks correspondientes, y los mesones de un quark y un antiquark.



La sencillez y la eficacia de este esquema son sorprendentes, pero genera serias dificultades si se toman los quarks como verdaderos componentes físicos de los hadrones. Hasta el momento, nunca se han desintegrado los hadrones en sus quarks constituyentes, a pesar de haber sido bombardeados con las más elevadas energías, lo que significa que los quarks tendrían que mantenerse unidos por fuerzas de atracción verdaderamente imponentes. Según nuestra actual comprensión de las partículas y de sus interacciones, estas fuerzas deben envolver a otras partículas y los quarks deben consecuentemente mostrar alguna especie de "estructura", de la misma manera que todas las demás partículas que interactúan fuertemente. El esquema del quark, no obstante, necesita que existan quarks sin estructura, como simples puntos. A causa de esta básica dificultad, hasta ahora no ha sido posible formular el esquema del quark de un modo dinámico y consistente que explique sus simetrías y sus fuerzas de unión.

Por el lado experimental, hasta ahora se ha dado una intensa, pero sin éxito, "búsqueda del quark" durante toda la pasada década. Si los quarks existen, deben de ser bastante notables pues el modelo de Gell-Mann requiere que posean unas propiedades no muy usuales, tales como cargas eléctricas de  $1/3$  y  $2/3$  de la que posee el electrón, cargas que no aparecen en

ninguna parte del mundo de las partículas. Hasta el momento, no se ha observado ninguna partícula con estas propiedades a pesar de la más intensa búsqueda. Este persistente fracaso en su detección experimental, sumado a las serias objeciones teóricas que se han presentado a su existencia, han hecho que la realidad de los quarks se convierta en algo extremadamente dudoso. Por otro lado, el esquema o modelo del quark continúa siendo muy eficaz para explicar las regularidades halladas en el mundo de las partículas, aunque ya no se emplee en su forma simple original. En el modelo original de Gell-Mann, todos los hadrones podían estar constituidos por tres clases de quarks y sus antiquarks, sin embargo, los físicos han tenido que postular quarks adicionales para poder explicar la gran variedad de patrones, esquemas o modelos de hadrón. Los tres quarks originales fueron representados, muy arbitrariamente, por  $u$ ,  $d$  y  $s$  de "up" (arriba), "down" (abajo) y "strange" (extraño). La primera extensión de este modelo, que surgió de la aplicación detallada de la hipótesis del quark al grueso de los datos de las partículas, fue el requisito de que cada quark tenía que aparecer en tres variedades diferentes, o "colores". El empleo del término color es, desde luego, un tanto arbitrario y nada tiene que ver con el significado corriente de la palabra color. Según el modelo o esquema del quark coloreado, los bariones se componen de tres quarks de diferente color, mientras que los mesones se componen de un quark más un antiquark del mismo color.

La introducción del color aumentó el número total de quarks a nueve, y más recientemente se postuló un quark adicional, que de nuevo aparecía en tres colores. Debido a la habitual inclinación de los físicos hacia los nombres caprichosos, este nuevo quark fue denominado  $c$  de "charm" (encanto). Esto elevó el número total de quarks a doce (cuatro clases, cada una de ellas en tres colores). Para distinguir las diferentes clases de quarks de los diferentes colores, los físicos no



tardaron en introducir el término "sabor" y ahora se habla de quarks de diferentes colores y sabores.

El gran número de regularidades que pueden describirse referidas a estos doce quarks es verdaderamente impresionante. No cabe ninguna duda de que los hadrones exhiben "simetrías de quark", e incluso aunque nuestra actual comprensión de las partículas y de sus interacciones excluye la existencia de quarks físicos, los hadrones a veces se comportan exactamente como si estuvieran compuestos de puntos elementales. Lo absurdo del modelo del quark recuerda mucho a los primeros tiempos de la física atómica cuando absurdos igualmente sorprendentes llevaron a los físicos a una mayor comprensión de las partículas subatómicas. El rompecabezas del quark tiene todos los rasgos de ser un nuevo *koan* que, podría llevarnos a avanzar más en la comprensión de estas partículas. De hecho, este avance ya está en camino congo podremos ver en los siguientes capítulos. Un grupo de físicos está a punto de resolver el *koan* del quark y, cuando lo hagan, se verán abocados a nuevas y emocionantes ideas sobre la naturaleza de la realidad física.

El descubrimiento de patrones simétricos en el mundo de las partículas ha llevado a muchos físicos a creer que estos patrones reflejan las leyes fundamentales de la naturaleza. Durante los últimos quince años se han dedicado muchos esfuerzos a la búsqueda de una "simetría básica" y definitiva que incorpore todas las partículas conocidas y "explique" la estructura de la materia. Este deseo refleja una actitud filosófica heredada de los antiguos griegos y cultivada a lo largo de muchos siglos. La simetría, junto con la geometría, jugaba un importante papel en la ciencia, la filosofía y el arte griegos, donde se la identificaba con la belleza, la armonía y la perfección. De este modo los pitagóricos consideraban los patrones numerales simétricos como la esencia de todas las cosas; Platón creía que los átomos de los cuatro elementos tenían formas sólidas regulares y la mayoría de los astrónomos griegos pensaban que los cuerpos celestes se movían en círculos, porque el círculo era la figura geométrica con más alto grado de simetría.

La actitud de la filosofía oriental en relación con la simetría presenta un marcado contraste con la de los antiguos griegos. Las tradiciones místicas del lejano Oriente emplean con frecuencia esquemas y modelos simétricos como símbolos o como mecanismos de meditación, pero el concepto de simetría no parece jugar un papel primordial en su filosofía. Al igual que la geometría, se cree que es una elaboración de la mente, más que una propiedad de la naturaleza y, por ello, carece de importancia fundamental. De acuerdo con esto, muchas formas de arte orientales muestran una asombrosa predilección hacia la asimetría y con frecuencia evitan toda forma regular o geométrica. Las pinturas chinas y japonesas de inspiración Zen, generalmente ejecutadas dentro del estilo denominado "de una esquina" o las irregulares alineaciones de losas en los jardines japoneses, ilustran claramente este aspecto de la cultura del lejano Oriente.

Así, podría parecer que esta búsqueda de simetrías básicas en la física de las partículas es parte de nuestra herencia helénica, lo cual resulta incongruente con la visión del mundo que empieza a emerger de la ciencia moderna. Este énfasis en la simetría, sin embargo, no constituye el único aspecto de la física de las partículas. Contrastando con el enfoque de la simetría "estática", siempre ha habido una escuela "dinámica" de pensamiento que no considera los modelos de partículas como características fundamentales de la naturaleza, sino que intenta entenderlos como una consecuencia de la naturaleza dinámica y de la interrelación esencial que tiene lugar en el mundo subatómico. Los dos capítulos restantes muestran cómo esta escuela de pensamiento ha dado origen, en la pasada década, a una visión radicalmente diferente de las simetrías y de las leyes de la naturaleza, visión que está en armonía con la idea del mundo sostenida por la física moderna según he descrito hasta aquí, y que al mismo tiempo se



Losas del palacio Katsura en Kioto, Japón



encuentra en perfecto acuerdo con la filosofía oriental.



Losas del palacio Katsura en Kioto, Japón

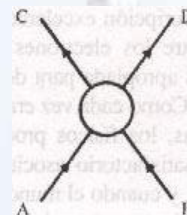
## 17 PATRONES DE CAMBIO

Explicar las simetrías del mundo de las partículas en términos de un modelo dinámico, es decir, que describa las interacciones que tienen lugar entre dichas partículas, es uno de los mayores desafíos a los que se enfrenta la física actual. El problema es cómo tener en cuenta simultáneamente la teoría cuántica y la teoría de la relatividad. Los patrones seguidos por las partículas parecen reflejar su "naturaleza cuántica", dado que similares patrones

se dan en el mundo de los átomos. Sin embargo, en la física de las partículas estos modelos no pueden ser explicados como modelos de onda dentro del marco de la teoría cuántica, porque las energías contenidas son tan elevadas que sería necesario aplicar la teoría de la relatividad. Sólo una teoría "cuántico-relativista" de las partículas, podría por ello, explicar las simetrías observadas. La teoría del campo cuántico fue el primer modelo de este tipo. Dio una descripción excelente de las interacciones electromagnéticas entre los electrones y los fotones, pero resultó mucho menos apropiada para describir las partículas de fuerte interacción. Como cada vez era mayor el número de partículas descubiertas, los físicos pronto sintieron que resultaba altamente insatisfactorio asociar cada una de ellas con un campo básico, y cuando el mundo de las partículas se reveló como una creciente y compleja telaraña de procesos interrelacionados, tuvieron que buscar otros modelos para representar esta realidad dinámica y siempre cambiante. Lo que se necesitaba era un formulismo matemático que fuera capaz de describir de un modo dinámico la gran variedad de modelos de hadrones y su continua transformación unos en otros, su interacción mutua mediante el intercambio de otras partículas, la formación de "situaciones de unión" de dos o más hadrones y su conversión en diversas combinaciones de partículas. Todos estos procesos, a los que a veces se da el nombre genérico de "reacciones entre partículas", son rasgos esenciales de las interacciones fuertes y necesitan ser explicados mediante un modelo cuántico-relativista.

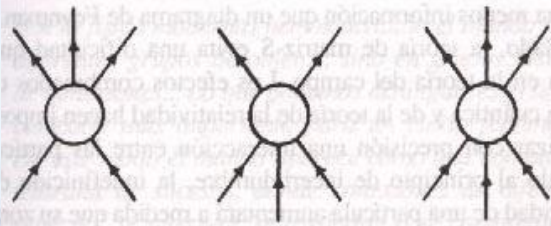
El esquema que parece más apropiado para esta descripción de los hadrones y sus interacciones se denomina "teoría de la matriz-S". Su concepto clave, la "matriz-S", fue propuesto en principio por Heisenberg en 1932 y ha sido muy desarrollado durante las dos últimas décadas, dentro de una compleja estructura matemática que parece muy adecuada para describir las interacciones fuertes. La matriz-S es una colección de probabilidades que incluyen a todas las posibles reacciones en las que intervienen hadrones. Su nombre deriva del hecho de que es posible imaginar a todo el conjunto de reacciones posibles de los hadrones, ordenadas dentro de una impresionante serie infinita del tipo que los matemáticos llaman matriz. La letra S es lo que quedó del nombre original "scattering matrix" (matriz de dispersión) que se refiere a los procesos de colisión -o "dispersión"-, que constituyen la inmensa mayoría de las reacciones entre partículas.

En la práctica, nadie se interesa jamás por toda la serie de los posibles procesos de dispersión, sino sólo por unas pocas reacciones específicas. Por tanto, nunca se trata con la totalidad de la matriz-S, sino sólo con aquellas de sus partes o "elementos" que se refieran a los procesos que se van a considerar. Estos son representados simbólicamente por medio de diagramas como el anterior, que nos muestra una de las reacciones entre partículas más simple y más





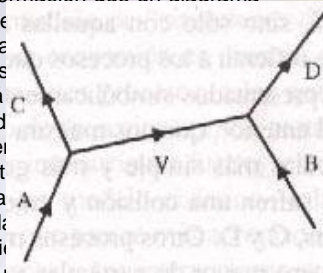
generalizada: dos partículas, A y B, sufren una colisión y emergen como dos partículas diferentes, C y D. Otros procesos más complicados involucran un número mayor de partículas y son representados con diagramas como éstos:



Es necesario señalar que estos diagramas de matriz-S son muy diferentes de los diagramas de la teoría del campo de Feynman. No representan el mecanismo detallado de la reacción, sino que meramente especifican las partículas iniciales y las finales. El proceso mencionado  $A + B \rightarrow C + D$ , por ejemplo, podría

representarse en la teoría del campo como el intercambio de una partícula virtual V, mientras que en la teoría de matriz-S, sencillamente se traza un círculo sin especificar lo que sucede dentro de él. Además, los diagramas de matriz-S no son diagramas espaciotemporales, sino simples representaciones simbólicas mucho más generales. En este caso no se tienen en cuenta los puntos definidos del espacio y del tiempo en los que estas reacciones tienen lugar, sino que simplemente son descritas en términos de las velocidades (o más concretamente en términos de los momentos) de las partículas entrantes y salientes.

Esto significa que un diagrama de matriz-S contendrá mucha menos información que un diagrama de Feynman. Por otro lado, la teoría de matriz-S evita una dificultad que el campo. Los efectos combinados de la teoría cuántica y de la teoría imposible localizar con precisión una interacción entre las partículas. La incertidumbre, la indefinición de la velocidad de una partícula aumentará si la interacción se localice de un modo más definido, y por ello, la cantidad de energía para la creación de nuevas partículas, de acuerdo con la teoría de la relatividad, será lo suficientemente grande para que podamos estar seguros de que estamos tratando con la reacción original. Por tanto, en una teoría que combina las dos teorías, la cuántica y la relatividad, es imposible especificar con precisión la posición de las partículas. Si se hiciera esto, tendríamos que tolerar las incongruencias matemáticas que constituyen el principal problema de todas las teorías del campo cuántico. La teoría de matriz-S supera este problema especificando los momentos de las partículas pero permaneciendo lo suficientemente vaga en cuanto a la zona en la cual tiene lugar la reacción.



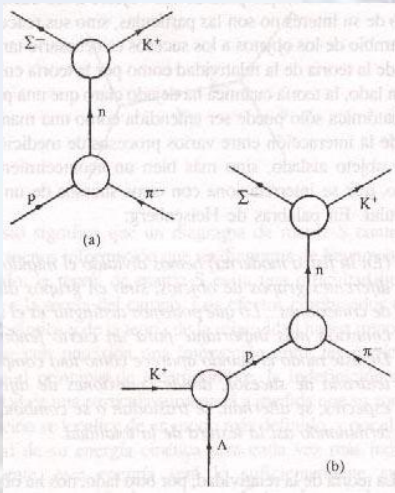
Lo importante y nuevo de la teoría de matriz-S es el cambio de énfasis, que pasa de los objetos a los sucesos; el objeto de su interés no son las partículas, sino sus reacciones. Tal cambio de los objetos a los sucesos es necesario tanto por parte de la teoría de la relatividad como por la teoría cuántica. Por un lado, la teoría cuántica ha dejado claro que una partícula subatómica sólo puede ser entendida como una manifestación de la interacción entre varios procesos de medición. No es un objeto aislado, sino más bien un acontecimiento, un suceso, que se interrelaciona con otros sucesos de un modo particular. En palabras de Heisenberg:

*(En la física moderna) hemos dividido el mundo no en diferentes grupos de objetos, sino en grupos distintos de conexiones... Lo que podemos distinguir es el tipo de conexión más importante para un cierto fenómeno... De este modo el mundo aparece como una complicada telaraña de sucesos, donde conexiones de diferentes especies, se alternan, se trasladan, o se combinan, determinando así la textura de la totalidad.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> W. Heisenberg, Physics and Philosophy, p3g, 96.

La teoría de la relatividad, por otro lado, nos ha obligado a concebir las partículas en términos espaciotemporales, es decir, como modelos cuatridimensionales, como procesos más que como objetos. El enfoque de la matriz-S combina estos dos puntos de vista. Usando el formalismo matemático cuatridimensional de la teoría de la relatividad, describe todas las propiedades de los hadrones en términos de reacciones (o más concretamente, en términos de probabilidades de reacción), estableciendo así un lazo íntimo entre las partículas y los procesos. Cada reacción incluye partículas que la unen a otras reacciones, edificando de este modo toda una red de procesos.

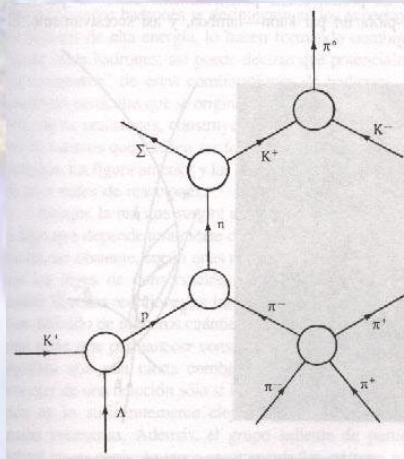




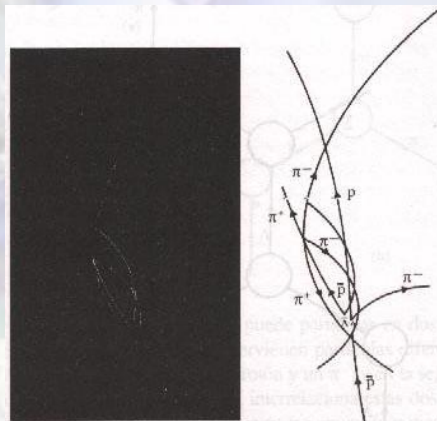
Un neutrón, por ejemplo, puede participar en dos reacciones sucesivas en las que intervienen partículas diferentes, en la primera, por ejemplo, un protón y un  $\pi^-$ , y en la segunda un  $\Sigma^-$  y un  $K^+$ . El neutrón, así, interrelaciona estas dos reacciones y las integra dentro de un proceso mayor (ver diagrama a). Cada una de las partículas iniciales y finales de este proceso participará en otras reacciones; el protón, por ejemplo, puede salir de una interacción entre un  $K^+$  y un  $\Lambda$ ; el  $K^+$  de la reacción original puede unirse a un  $K^-$  y un  $\pi^+$  o al  $\pi^-$  y tres piones más (ver diagrama b).

Así, el neutrón original es considerado como parte de toda una red de interacciones; como parte de un "entramado de sucesos", todos descritos mediante la matriz-S. Las interrelaciones de ese entramado no se pueden determinar con seguridad, pero están asociadas con las probabilidades. Cada reacción ocurre con alguna probabilidad, que dependerá de la energía disponible y de las características de la reacción, y estas probabilidades vienen dadas por los diversos elementos de la matriz-S.

Este enfoque permite hadrón de una manera neutrón de nuestra red, como una "situación de del cual surge, y también unión del  $\Sigma^-$  - el  $K^+$  en la Cualquiera de estas hadrones y también formar un neutrón y en decirse que son "estructura" del neutrón. de este modo, no se ordenación definida de sino que viene dada por partículas que puedan formar un hadrón. De potencialmente como un kaón-lambda, y así también tiene el potencial de desintegrarse en cualquiera de estas combinaciones de partículas siempre que haya suficiente energía disponible. Las tendencias a existir de un hadrón en sus diversas manifestaciones se expresarán mediante las probabilidades que existan para que se den las reacciones correspondientes, las cuales pueden ser todas ellas consideradas como aspectos de la estructura interna del hadrón.



definir la estructura de un totalmente dinámica. El por ejemplo, puede verse unión" del protón y del  $\pi^-$  como una situación de cual se desintegra. combinaciones de muchas otras podrán consecuencia puede componentes de la La estructura del hadrón, entiende como una sus partes constituyentes, todos los conjuntos de influenciarse entre sí para este modo un protón existe par neutrón-pión, un par sucesivamente. El protón

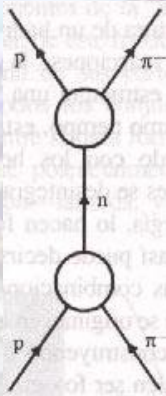


Red de reacciones que involucra protones, antiprotones,

Al definir la estructura de un hadrón como su tendencia a experimentar varias reacciones, la teoría de matriz-S confiere a la noción de estructura una connotación esencialmente dinámica. Al mismo tiempo, esta noción de estructura está en perfecto acuerdo con los hechos experimentales. Siempre que los hadrones se desintegran en los experimentos de colisión de alta energía, lo hacen formando combinaciones de otros hadrones; así puede



decirse que potencialmente "se componen" de estas combinaciones de hadrones. Cada una de las partículas que se originan en tal colisión sufrirá, a su vez, varias reacciones, construyendo de este modo toda una red de sucesos que pueden ser fotografiados en la cámara de burbujas. La figura anterior y las del capítulo 15 son ejemplos de tales redes de reacciones.



Aunque la red que surgirá en un experimento particular es algo que depende totalmente del azar, cada red está estructurada, no obstante, según unas reglas definidas. Estas reglas son las leyes de conservación antes citadas. Sólo podrán ocurrir aquellas reacciones en las que se conserve un conjunto bien definido de números cuánticos. Para empezar, la energía total tiene que permanecer constante en toda reacción. Esto significa que una cierta combinación de partículas puede emerger de una reacción sólo si la energía aportada a la reacción es lo suficientemente elevada para proporcionar las masas necesarias.

Además, el grupo saliente de partículas deberá en su conjunto tener exactamente los mismos números cuánticos que fueron aportados a la reacción por las partículas iniciales. Por ejemplo, un protón y un  $\pi^-$ , con una carga eléctrica total de 0, pueden disolverse en una colisión y volverse a agrupar para emerger como un neutrón más un  $\pi^+$ , pero no podrán emerger como un neutrón y un  $\pi^-$ , dado que este par llevaría una carga total de + 1.

De este modo, las reacciones entre los hadrones representan un flujo de energía en el cual se crean y se disuelven partículas, pero esta energía sólo puede fluir a través de determinados "canales", caracterizados por los números cuánticos que se conservan en las interacciones fuertes. En la teoría de la matriz-S, el concepto de canal de reacción es más básico que el de partícula. Se define como un conjunto de números cuánticos que puede ser transportado por varias combinaciones de hadrones y a veces también por un solo hadrón. La combinación de hadrones que fluye a través de un canal particular es cuestión de probabilidad, pero depende, ante todo, de la energía disponible. El diagrama anterior, por ejemplo, muestra una interacción entre un protón y un  $\pi^-$  en la cual se forma un neutrón como estado intermedio. De este modo, el canal de reacción es constituido primero por dos hadrones, después por un solo hadrón, y finalmente, por el par de hadrones inicial. El mismo canal podría construirse, si hubiera suficiente energía, por un par  $A-K^0$ , un par  $K^+$  y también por otras combinaciones diversas.

El concepto de canal de reacción resulta especialmente apropiado para tratar con las resonancias: estados del hadrón de muy corta vida, típicos en todas las interacciones fuertes. Se trata de fenómenos tan efímeros que los físicos en un principio se mostraron poco dispuestos a clasificarlos como partículas, e incluso hoy en día, la identificación de sus propiedades constituye todavía una de las mayores tareas de la física experimental de alta energía. Las resonancias se forman en las colisiones entre hadrones y se desintegran casi inmediatamente. No son visibles en la cámara de burbujas, pero se las puede detectar debido a un comportamiento muy especial de las probabilidades de reacción. La probabilidad de que dos hadrones que colisionan emprendan una reacción -interactúen mutuamente- dependerá de la energía que intervenga en la colisión. Si se modifica la cantidad de energía, variará también la probabilidad; puede aumentar o disminuir, dependiendo de los detalles de la reacción. Para ciertos valores de energía, sin embargo, se observa que la probabilidad de la reacción aumenta considerablemente, es decir que la reacción tiene más probabilidades de ocurrir con estos valores que con cualquier otra cantidad de energía. Este considerable aumento de la probabilidad está relacionado con la formación de un hadrón intermedio de corta vida, cuya masa es la correspondiente a la energía con la cual se observa el incremento.

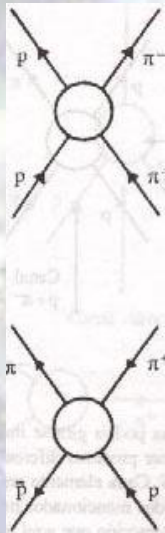


El motivo por el cual estos hadrones de corta vida son llamados resonancias tiene que ver con una analogía que se da con el bien conocido fenómeno de la resonancia vibratoria. En el caso del sonido, por ejemplo, el aire contenido dentro de una cavidad, responderá débilmente a una onda de sonido que venga del exterior, pero comenzará a "resonar" o a vibrar fuertemente cuando dicho sonido (u onda) alcance una cierta frecuencia, denominada frecuencia de resonancia. El canal de una reacción de hadrones puede compararse con dicha cavidad resonante, puesto que la energía de los hadrones colisionantes está en relación con la frecuencia de onda de la probabilidad correspondiente. Cuando esta energía, o frecuencia, alcanza un valor determinado el canal empieza a resonar; las vibraciones de la onda de probabilidad súbitamente se hacen muy fuertes y de este modo provocan un aumento considerable en la probabilidad de reacción. La mayor parte de los canales de reacción tienen varias energías de resonancia, correspondiendo cada una de ellas a la masa de un efímero hadrón intermedio que se forma cuando la energía de las partículas colisionantes alcanza el citado valor de resonancia.

Dentro del marco de la teoría de matriz-S, el problema de si a las resonancias debería llamárselas "partículas" o no, no existe. A todas las partículas se las considera como estados intermedios de una red de reacciones, y el hecho de que las resonancias vivan durante períodos mucho más cortos que otros hadrones no tiene una importancia fundamental. De hecho, la palabra "resonancia" es un término apropiado. Se aplica al fenómeno del canal de reacción y al hadrón que se forma durante ese fenómeno, mostrando así el íntimo lazo de unión existente entre las partículas y sus reacciones. Una resonancia es una partícula, pero no un objeto. Queda mucho mejor descrita como un suceso o un acontecimiento.

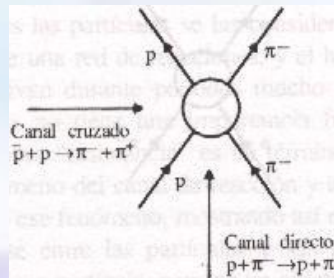
La descripción que se hace de los hadrones en la física de las partículas recuerda un poco las palabras de D. T. Suzuki ya citadas anteriormente: "Cualquier objeto es concebido por los budistas como un suceso y no como una cosa o una substancia". Lo mismo que los budistas captaron mediante su experiencia mística de la naturaleza, está ahora siendo redescubierto por medio de los experimentos y las teorías matemáticas de la ciencia moderna.

Para describir todos los hadrones como estados intermedios de una red de reacciones, es necesario tener en cuenta las fuerzas mediante las cuales se influyen mutuamente. Las que desvían o "dispersan" a los hadrones colisionantes, los disuelven y los reordenan en modelos diferentes, agrupando a algunos de ellos para formar situaciones de unión intermedias son las llamadas fuerzas de interacción fuerte. En la teoría de la matriz-S, al igual que en la teoría del campo, las fuerzas de interacción están asociadas con las partículas, pero el concepto de partículas virtuales no se emplea. En su lugar, la relación entre fuerzas y partículas se basa en una propiedad especial de la matriz-S conocida como "cruce". Para ilustrar esta propiedad, consideremos que el diagrama siguiente representa la interacción entre un protón y un  $\pi^-$ .



Si girásemos este diagrama 90 grados conservando el acuerdo adoptado en el capítulo 12 según el cual las flechas que señalan hacia abajo indican antipartículas, el nuevo diagrama representará una reacción entre un antiprotón ( $\bar{p}$ ) y un protón (p), surgiendo un par de piones, siendo  $\pi^+$  la antipartícula del  $\pi^-$  de la reacción original.

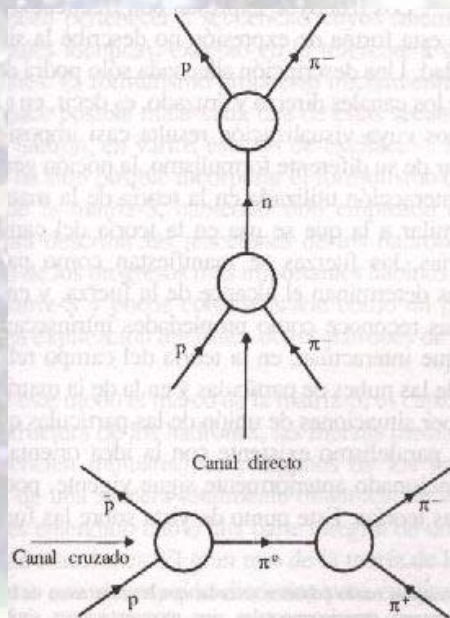
La propiedad de "cruce" de la matriz-S, se refiere al hecho de que estos dos procesos se describen mediante los mismos elementos de matriz-S. Esto significa que los dos diagramas no representan sino dos aspectos diferentes o dos "canales" de la misma reacción. Los físicos de las partículas están habituados a cambiar de un canal a otro en sus cálculos, y en lugar de girar los diagramas, tan sólo los leen de abajo arriba o de izquierda a derecha, y hablan del "canal directo" y del "canal cruzado". De esta manera la reacción de nuestro ejemplo se lee así:  $p + \pi^- \rightarrow p + \pi^-$  en el canal directo, y como  $\bar{p} + p \rightarrow \pi^- + \pi^+$  en el canal cruzado.





\* De hecho, este diagrama podría girarse mucho más, "cruzándose" sus líneas individuales a fin de obtener procesos diferentes también descritos por el mismo elemento de la Matriz-S. Cada elemento representa un conjunto de seis procesos distintos, pero sólo los dos mencionados más arriba resultan relevantes para el tema de las fuerzas de interacción que aquí tratamos.

La conexión entre fuerzas y partículas se establece mediante los estados intermedios de los dos canales. En el canal directo de nuestro ejemplo, el protón y el  $\pi^-$  pueden formar un neutrón intermedio, mientras que el canal cruzado puede construirse mediante un pión neutro intermedio ( $\pi^0$ ). Este pión -el estado intermedio del canal cruzado- se interpreta como la manifestación de la fuerza que actúa en el canal directo uniendo el protón y el  $\pi^-$  para formar el neutrón. De este modo los dos canales son necesarios para asociar las fuerzas con las partículas. Lo que en un canal aparece como una fuerza se manifiesta como una partícula intermedia en el otro.



Aunque matemáticamente es relativamente fácil cambiar de un canal a otro, resulta en extremo difícil -si es que es posible- lograr una representación intuitiva de esta situación. Ello es debido a que el "cruce" es un concepto esencialmente relativista que surge en el contexto del formalismo cuatridimensional de la teoría de la relatividad, y por lo tanto, resulta muy difícil de visualizar. Similar situación se da en la teoría del campo, donde las fuerzas de interacción están representadas como un intercambio de partículas virtuales. De hecho, el diagrama que muestra el pión intermedio en el canal cruzado recuerda mucho a los diagramas de Feynman que representan estos intercambios de partículas, y podría decirse, que el protón y el  $\pi^-$  interactúan "a través del intercambio de un  $\pi^0$ ". Los físicos se expresan con frecuencia de este modo, pero esta forma de expresión no describe la situación en su totalidad. Una descripción adecuada sólo podrá darse en términos de los canales directo y cruzado, es decir, en conceptos abstractos cuya visualización resulta casi imposible.

\* De cualquier modo debemos recordar que los diagramas de la Matriz-S no son diagramas espaciotemporales sino representaciones simbólicas de reacciones entre partículas. El cambio de un canal a otro tiene lugar en un espacio matemático y abstracto.

A pesar de su diferente formalismo, la noción general de fuerza de interacción utilizada en la teoría de la matriz-S es bastante similar a la que se usa en la teoría del campo. En ambas teorías, las fuerzas se manifiestan como partículas cuyas masas determinan el alcance de la fuerza, y en ambas teorías se las reconoce como propiedades intrínsecas de las partículas que interactúan, en la teoría del campo reflejan la estructura de las nubes de partículas y en la de la matriz-S son generadas por situaciones de unión de las partículas que interactúan. El paralelismo existente con la idea oriental de las fuerzas mencionada anteriormente, sigue vigente, por lo tanto, en ambas teorías. Este punto de vista sobre las fuerzas de interacción, nos lleva además a la importante conclusión de que todas las partículas conocidas deben tener algún tipo de estructura interna, pues sólo entonces podrán relacionarse con el observador y de este modo ser detectadas. En palabras de Geoffrey Chew, uno de los principales constructores de la teoría de la matriz-S: "una partícula verdaderamente elemental -desprovista absolutamente de estructura interna- no podría estar sujeta a unas fuerzas que nos permitiesen detectar su existencia. El simple conocimiento de la existencia de una partícula, implica que la partícula posee estructura interna".<sup>2</sup>



<sup>2</sup> G. F. Chew, *Impasse for the Elementary Particle Concept*, pág. 99.

Una ventaja del formulismo de la matriz-S es el hecho de que permite describir el "intercambio" de toda una familia de hadrones. Como dije en el capítulo anterior, todos los hadrones parecen pertenecer a secuencias cuyos miembros tienen propiedades idénticas, excepto en lo referente a sus masas y sus espines. El formulismo propuesto inicialmente por Tullio Regge hace posible tratar cada una de estas secuencias como un sólo hadrón, en varios estados de excitación. En años recientes, ha sido posible incorporar el formulismo de Regge al marco de la matriz-S, habiendo sido empleado con mucho éxito para describir las reacciones de los hadrones. Este ha sido uno de los progresos más importantes habidos en la teoría de la matriz-S y puede considerarse como un primer paso hacia una explicación dinámica de los patrones de las partículas.

De este modo el marco de la matriz-S, es capaz de describir la estructura de los hadrones, las fuerzas mediante las que se influyen mutuamente, y algunos de los patrones que forman, de una manera totalmente dinámica, en la cual cada hadrón es entendido como una parte integral de una inseparable red de reacciones. El gran reto de la teoría de la matriz-S, es emplear esta descripción dinámica para explicar las simetrías que dan origen a los modelos de hadrones y a las leyes de conservación comentadas en el capítulo anterior. En dicha teoría, las simetrías de los hadrones serían reflejadas en la estructura matemática de la matriz-S de modo que contendría solamente los elementos que correspondan a las reacciones permitidas por las leyes de conservación. Estas leyes, entonces, no tendrían ya la categoría de regularidades empíricas, sino que pasarían a ser una consecuencia de la estructura de la matriz-S y por tanto, una consecuencia de la naturaleza dinámica de los hadrones.

En la actualidad, los físicos están tratando de lograr este ambicioso propósito postulando varios principios generales que restringen las posibilidades matemáticas de construir los elementos de la matriz-S, dándole así a la propia matriz-S una estructura más definida. Hasta la fecha, tres de estos principios generales han sido ya establecidos. El primero fue sugerido por la teoría de la relatividad y por nuestra experiencia macroscópica del espacio y el tiempo. Dice que las probabilidades de reacción (es decir, los elementos de la matriz-S), deben ser independientes de los desplazamientos del aparato experimental en el espacio y en el tiempo, independientes de su orientación en el espacio, e independientes del movimiento del observador. Como ya comenté en el capítulo anterior, la independencia de la reacción de una partícula de sus cambios de orientación y desplazamiento en el espacio y en el tiempo, implica la conservación de las cantidades totales de rotación, momento y energía, que intervienen en la reacción. Estas "simetrías" son esenciales para nuestro trabajo científico. Si los resultados de un experimento cambiasen dependiendo de dónde y cuándo fuese realizado, la ciencia en su forma actual sería imposible. Este último requisito -que los resultados no deben depender del movimiento del observador- es el principio de relatividad que constituye la base de la propia teoría de la relatividad.

El segundo principio general viene sugerido por la teoría cuántica. Afirma que el resultado de una reacción particular sólo podrá predecirse en función de sus probabilidades y, además, que la suma de las probabilidades de todos los posibles resultados -incluyendo el caso de ausencia de interacciones entre las partículas- debe ser igual a 1. En otras palabras, podemos estar seguros que las partículas o bien interactuarán unas con otras o no interactuarán. Esta afirmación, aparentemente simplista, resulta de hecho, un poderoso principio, conocido como principio "unitario" y que restringe seriamente las posibilidades de construir los elementos de la matriz-S.

El principio tercero y último está relacionado con nuestros conceptos de causa y efecto y es conocido como el principio de causalidad. Afirma que la energía y el momento son transferidos a distancias espaciales solamente por las partículas, y que esta transferencia ocurre de tal modo que una partícula puede crearse en una reacción y destruirse en otra, sólo si la última reacción ocurre después de la primera. La formulación matemática del principio de causalidad implica que la matriz-S depende de las energías y los momentos de las partículas que intervienen en una reacción, excepto cuando los valores involucrados hacen posible la creación de nuevas partículas. Con tales valores, la estructura matemática de la matriz-S cambia bruscamente, hallando lo que los matemáticos denominan una "singularidad". Cada canal de reacción contiene varias de estas singularidades, es decir, en cada canal existen varios valores de energía y de momento en los que pueden crearse nuevas partículas. Las "energías de resonancia" antes citadas son ejemplos de estos valores.

El hecho de que la matriz-S presente singularidades es consecuencia del principio de causalidad, pero la localización de las singularidades no es determinada por él. Los valores de energía y de



momento en los que pueden ser creadas ciertas partículas son diferentes en los distintos canales de reacción y dependen de las masas y de otras propiedades de las partículas creadas. La localización de las singularidades reflejará las propiedades de tales partículas, y dado que todos los hadrones se pueden crear en reacciones entre partículas, las singularidades de la matriz-S reflejan todos los patrones y simetrías de los hadrones.

La principal finalidad de la teoría de la matriz-S es, por lo tanto, deducir de los principios generales, la estructura de las singularidades de la matriz-S. Hasta ahora, no ha sido posible construir un modelo matemático que satisfaga los tres principios. Puede ocurrir que sean suficientes para determinar todas las propiedades de la matriz-S y por lo tanto, todas las propiedades de los hadrones. Si resultara ser éste el caso, las implicaciones filosóficas de dicha teoría serían muy profundas. Los tres principios generales están relacionados con los métodos de observación y medición, es decir, con el marco científico. Si resultan suficientes para determinar la estructura de los hadrones, ello significaría que las estructuras básicas del mundo físico están determinadas, finalmente, por la manera en que nosotros las observamos. Cualquier cambio fundamental que tenga lugar en nuestros métodos de observación implicaría una modificación de los principios generales, la cual nos conduciría a una estructura diferente de la matriz-S y por lo tanto, implicaría una estructura diferente en los hadrones.

\* Esta conjetura, conocida como la hipótesis de la "tira de bota" será tratada con más detalle en el capítulo siguiente.

Una teoría de este tipo sobre las partículas subatómicas reflejará la imposibilidad de separar al observador de los fenómenos observados, lo que ya comenté con referencia a la teoría cuántica, en su forma más extrema. Significa, que las estructuras y los fenómenos que observamos en la naturaleza no son, más que creaciones de nuestra mente medidora y categorizante.

Este es uno de los dogmas fundamentales de la filosofía oriental. Los místicos orientales nos dicen una y otra vez que todas las cosas y sucesos que percibimos son sólo creaciones de la mente, que surgen de un estado particular de consciencia y se disuelven una vez trascendido ese estado. El hinduismo sostiene que todas las formas y estructuras que nos rodean son creadas por la mente bajo el hechizo de *mama*, y considera que nuestra tendencia a concederles un significado profundo es consecuencia de la ilusión humana. Los budistas llaman a esta ilusión *avidya* o ignorancia, y la ven como el estado de una mente "sucia". En palabras del Ashvaghosha:

*Quando la unidad de la totalidad de las cosas no es reconocida, surge la ignorancia y la particularización, y de este modo se desarrollan todas las fases de la mente contaminada. Todos los fenómenos del mundo no son nada más que una manifestación ilusoria de la mente y carecen de realidad propia.*<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Ashvaghosha. The Awakening of Faith, págs. 79, 86.

Este es también el tema constante de la escuela budista Yogacara que sostiene que todas las formas que percibimos son "sólo mentales", proyecciones o "sombras" de la mente:

*De la mente brotan innumerables cosas, condicionadas por la discriminación... Estas cosas son aceptadas por la gente como un mundo exterior... Lo que parece ser externo no existe en realidad; es la mente la que se ve como multiplicidad -el cuerpo, las propiedades y todo lo demás- todas estas cosas, te digo, no son más que mente.*<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Lankavatara Sutra, D. T. Suzuki, pág. 242.

En la física de las partículas, la deducción de los patrones o modelos de los hadrones desde los principios generales de la teoría de la matriz-S, constituye una tarea larga y ardua, y hasta ahora sólo unos pocos pasos han sido dados hacia su logro. No obstante, hay que tomar en serio la posibilidad de que algún día sean deducidas las propiedades de las partículas subatómicas partiendo de los principios generales, viéndose de este modo su dependencia de nuestro modelo científico. Es una conjetura emocionante pensar que esto pueda llegar a constituir una característica general de la física de las partículas, que aparecerá también en las futuras teorías sobre las interacciones electromagnéticas, débiles y gravitacionales. De resultar esto cierto, la física moderna habrá recorrido un largo camino, para finalmente estar de acuerdo con los sabios orientales en el sentido de que las estructuras del mundo físico son *maya*, son "sólo mentales".



La teoría de la matriz-S se acerca mucho al pensamiento oriental no sólo en su conclusión definitiva, sino también en su visión general de la materia. Describe el mundo de las partículas subatómicas como una red dinámica de sucesos y resalta el cambio y la transformación más que las estructuras o entidades básicas. En Oriente, este énfasis es particularmente acentuado en el pensamiento budista, donde todas las cosas son consideradas como dinámicas, impermanentes e ilusorias. Así escribe Radhakrishnan:

*¿Cómo llegamos a pensar en cosas, más que en procesos en este absoluto fluir? Cerrando los ojos ante los sucesivos acontecimientos. Es una actitud artificial que hace partes en el fluir de los cambios y las llama cosas... Citando sepamos la verdad de las cosas, nos daremos cuenta de lo absurdo que resulta venerar a tinos productos aislados de la incesante serie de transformaciones como si éstos fueran eternos y reales. La vida no es ninguna cosa ni el estado de una cosa, sino un continuo movimiento, un cambio.*<sup>5</sup>

<sup>5</sup> S. Radhakrishnan, Indian Philosophy (Allen & Unwin, U)ndres 1951), pág. 369.

Tanto el físico moderno como el místico oriental se han dado cuenta que todos los fenómenos de este mundo de cambio y transformación están relacionados dinámicamente entre sí. Los hindúes y los budistas consideran esta interrelación como una ley cósmica, la ley del *karma*, pero en general no se interesan por ningún modelo específico dentro de la red universal de sucesos. La filosofía china, que también resalta el movimiento y el cambio, desarrolló el concepto de los modelos dinámicos que se forman continuamente para disolverse de nuevo en el flujo cósmico del *Tao*. En el *I Ching* o Libro de los Cambios, estos modelos fueron elaborados dentro de un sistema de símbolos arquetípicos: los llamados hexagramas.

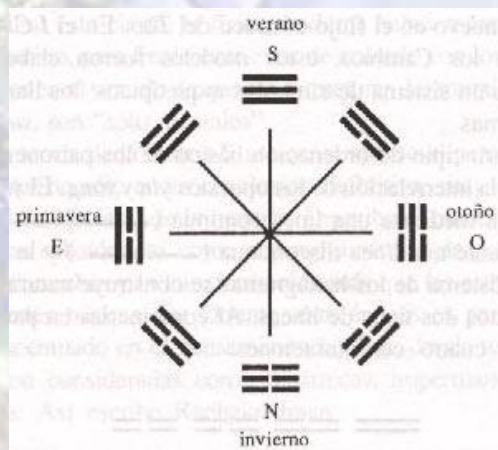
El principio de ordenación básico de los patrones del *I Ching* es la interrelación de los opuestos *ying* y *yang*. El *yang* se representa mediante una línea continua (———), el *fin* mediante una línea discontinua (— —) y la totalidad del sistema de los hexagramas se construye naturalmente con estos dos tipos de líneas. Al combinarlas en pares, se obtienen cuatro configuraciones.



y al añadir una tercera línea a cada una de éstas, se generan ocho "trigramas":

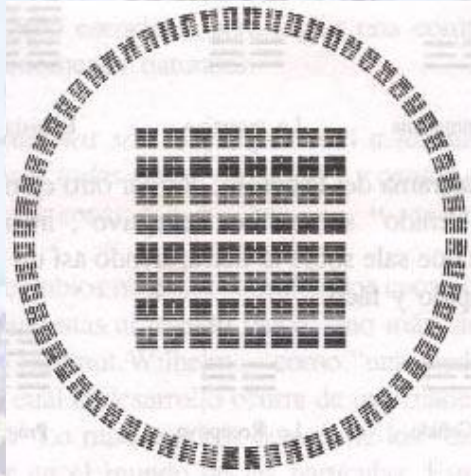


En la antigua China se consideraba que los "trigramas" eran representaciones de todas las posibles situaciones humanas y cósmicas. Se les dio nombres que reflejaban sus características básicas -tales como "Lo Creativo", "Lo Receptivo", "Lo Estimulante", etc.- y se los relacionó con muchas imágenes sacadas de la naturaleza y de la vida social. Representaban, por ejemplo, el Cielo, la Tierra, el Trueno, el Agua, etc., al igual que una familia compuesta de padre, madre, tres hijos y tres hijas. Además, se les asoció con los puntos cardinales y con las estaciones del año y algunas veces eran ordenados de la siguiente manera:



Así, los ocho trigramas se situaron alrededor de un círculo en el "orden natural" en que fueron generados, comenzando desde la parte superior (donde los chinos sitúan siempre el sur) y colocando los cuatro primeros trigramas en el lado izquierdo del círculo y los cuatro segundos en el lado derecho. Este orden muestra un alto grado de simetría, mostrando los trigramas opuestos líneas intercambiadas de *ying* y *yang*.

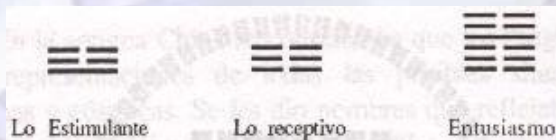




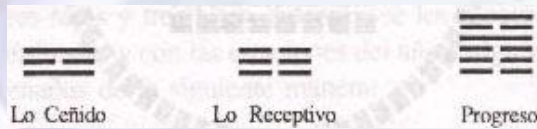
Dos diferentes colocaciones de los 64 hexagramas

Con el fin de aumentar el número de combinaciones posibles, los ocho trigramas fueron combinados por pares colocando uno encima del otro. De esta forma, se obtuvieron sesenta y cuatro hexagramas, formado cada uno de ellos por seis líneas continuas y seis discontinuas. Los hexagramas se ordenaron en varios modelos regulares, siendo los más comunes los que aparecen en la ilustración anterior: un cuadrado de ocho veces ocho hexagramas, y una secuencia circular que muestra la misma simetría que el arreglo circular de los trigramas.

Los sesenta y cuatro hexagramas son los arquetipos cósmicos en los cuales se basa el uso del *Ching* como oráculo. Para la interpretación de cualquier hexagrama es necesario tomar en cuenta los diversos significados de sus dos trigramas. Por ejemplo, cuando el trigramo de "Lo Estimulante" se encuentra situado encima del trigramo de "Lo Receptivo", el hexagrama se interpreta como el encuentro del movimiento con la devoción y, por tanto, inspirando entusiasmo, que es el nombre que se le da a dicho hexagrama.



El hexagrama del Progreso, por dar otro ejemplo, representa "Lo Ceñido" sobre "Lo Receptivo", interpretándose como el sol que sale sobre la tierra, siendo así un símbolo de progreso rápido y fácil.



En el *I Ching*, los trigramas y hexagramas representan los patrones del *Tao* generados por la interacción dinámica del ying y el yang, y se reflejan en todas las situaciones cósmicas y humanas. Estas situaciones, por lo tanto, no son consideradas como estáticas, sino más bien como etapas dentro de un flujo y cambio continuos. Esta es la idea básica del *Libro de los Cambios* que viene ya expresada en su mismo título. Todas las cosas y situaciones del mundo están sujetas al cambio y la transformación, y también lo están sus imágenes: los trigramas y los hexagramas. Se hallan en un estado de continua transición, convirtiéndose uno en otro, las líneas continuas empujan hacia afuera a fin de separarse en dos y las líneas discontinuas oprimen hacia adentro para crecer juntas.



Por esta idea suya de los patrones dinámicos generados por el cambio y la transformación, quizá el I Ching sea la analogía del pensamiento oriental más cercana a la teoría de la matriz-S. En ambos sistemas, se resaltan los procesos, no los objetos. En la teoría de la matriz-S estos procesos son las reacciones entre las partículas que dan origen a todos los fenómenos del mundo de los hadrones. En el *1 Ching*, los procesos básicos son denominados "los cambios" y se los considera como esenciales para lograr una comprensión de todos los fenómenos naturales:

*Los cambios son lo que permitió a los santos sabios alcanzar todas las profundidades y captar el origen de todas las cosas.*<sup>6</sup>

<sup>6</sup> R. Wilhelm, *The I Ching or Book of Changes* (Routledge & Kegan Paul, Londres, 1968), pág. 315.

Estos cambios no están considerados como leyes fundamentales impuestas al mundo físico, sino más bien -en las palabras de Hellmut Wilhelm- como "una tendencia interna según la cual el desarrollo ocurre de una manera natural y espontánea".<sup>7</sup> Lo mismo puede decirse de los "cambios" que tienen lugar en el mundo de las partículas. Estos, también reflejan las tendencias internas de las partículas, que se expresan, en la teoría de la matriz-S, en términos de probabilidades de reacción.

<sup>7</sup> R. Wilhelm, *Change* (Harper Torchbooks, Nueva York 1964, pág. 19).

Los cambios que tienen lugar en el mundo de los hadrones dan origen a estructuras y modelos simétricos que son simbólicamente representados mediante los canales de reacción. Ni las estructuras, ni las simetrías están consideradas como rasgos fundamentales del mundo del padrón sino como consecuencias de la naturaleza dinámica de las partículas, es decir, de sus tendencias al cambio y a la transformación.

También en el *1 Ching* los cambios dan origen a ciertas estructuras -los trigramas y los hexagramas. Al igual que los canales de reacción de las partículas, éstos son representaciones simbólicas de los patrones de cambio. Del mismo modo que la energía fluye a través de los canales de reacción, los "cambios" fluyen a través de las líneas de los hexagramas:

*Alteración, movimiento sin descanso.  
Fluir a través de los seis espacios vacíos,  
surgiendo y hundiéndose sin leyes fijas.  
...  
Aquí, sólo el cambio actúa.*<sup>8</sup>

<sup>8</sup> R. Wilhelm, ob. cit., pág. 348

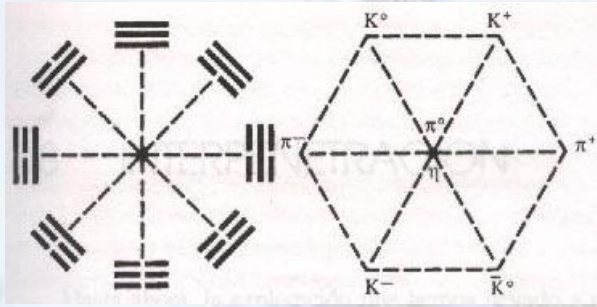
Desde el punto de vista chino, todas las cosas y fenómenos que nos rodean surgen de los patrones de cambio y se representan por medio de las diversas líneas de los trigramas y hexagramas. De este modo, las cosas del mundo físico no son consideradas como estáticas, como objetos independientes, sino meramente como etapas transitorias de un proceso cósmico que es el *Tao*:

*El Tao tiene cambios y movimientos. Por ello a las líneas se les denomina líneas de cambio. Las líneas tienen gradaciones y así, representan a las cosas.*<sup>9</sup>

<sup>9</sup> *Ibid.*, pág. 352.

Al igual que en el mundo de las partículas, las estructuras generadas por los cambios pueden ser ordenadas en varios modelos simétricos, como el modelo octogonal formado por los ocho trigramas, en el que los trigramas opuestos tienen intercambiadas sus líneas de *ying* y *yang*. Este modelo resulta vagamente similar al octeto de mesón visto en el capítulo anterior, en el que las partículas y las antipartículas ocupan lugares opuestos. Lo importante, sin embargo, no es esta similitud accidental, sino el hecho de que tanto la física moderna como el antiguo pensamiento chino consideran el cambio y la transformación como el aspecto *primario* de la naturaleza, y como secundarias las estructuras y las simetrías generadas por los cambios. En la introducción a su traducción del *1 Ching*, Richard Wilhelm considera esta idea como el concepto fundamental del *Libro de los Cambios*:





Los ocho trigramas..., se decía que estaban en un estado de continua transición, cambiándose uno en otro, del mismo modo que la transición de un fenómeno a otro está continuamente teniendo lugar en el mundo físico. Este es el concepto fundamental del Libro de los Cambios. Los ocho trigramas son símbolos que

representan los estados transitorios de cambio, son imágenes que constantemente se están modificando. La atención no se centra sobre las cosas en su estado de ser -como suele ser el caso en Occidente-, sino sobre sus movimientos dentro del cambio. Así, los ocho trigramas no son representaciones de las cosas como tales, sino de sus tendencias al movimiento.<sup>10</sup>

<sup>10</sup> R. Wilhelm, ob. cit., pág. 1.

En la física moderna, hemos llegado a ver las "cosas" del mundo subatómico de un modo muy parecido, basándonos en el movimiento, el cambio y la transformación y considerando a las partículas como etapas transitorias de un continuo proceso cósmico.



## 18 INTERPENETRACION

Hasta ahora, la exploración que hemos llevado a cabo sobre la visión del mundo sugerida por la física moderna ha mostrado repetidamente que la idea de los "ladrillos básicos" como constituyentes iniciales de la materia no puede ser ya sostenida. En el pasado, este concepto resultó muy útil para explicar el mundo físico en función de unos pocos átomos, las estructuras de los átomos en función de unos pocos núcleos rodeados de electrones, y, por último, las estructuras de los núcleos en función de dos "ladrillos básicos" nucleares, el protón y el neutrón. De este modo, los átomos, los núcleos y los hadrones, en diferentes momentos fueron todos ellos considerados como "partículas elementales". Sin embargo ninguno cumplió tal expectativa. Cada vez, estas partículas resultaron ser en sí mismas estructuras compuestas, y los físicos esperaban también cada vez que la siguiente generación de componentes sería la definitiva.

Por otro lado, las teorías de la física atómica y subatómica mostraban cada vez como más improbable la existencia de unas partículas totalmente elementales. Revelaron la interconexión básica existente en toda materia, demostraron que la energía del movimiento puede ser transformada en masa, y sugirieron que las partículas son procesos, más que objetos. Estos hallazgos indicaron claramente que la representación simple y mecanicista de los "ladrillos básicos" debía ser abandonada, y, sin embargo, muchos físicos todavía se niegan a hacerlo. La secular tradición de explicar estructuras complejas descomponiéndolas en componentes más sencillos, está tan profundamente arraigada en el pensamiento occidental que la búsqueda de estos componentes básicos continúa todavía.

Sin embargo, dentro de la física de las partículas existe una escuela de pensamiento radicalmente diferente, que parte de la idea de que la naturaleza no puede ser reducida a entidades básicas, ya sean partículas elementales o campos fundamentales. En lugar de ello debe, ser comprendida mediante su autocongruencia, siendo sus componentes congruentes entre sí y con ellos mismos. Esta idea surgió dentro del contexto de la teoría de la matriz-S y se la conoce como la hipótesis de la "tira de bota". Su creador y principal defensor es Geoffrey Chew, quien, partiendo de esta idea ha desarrollado una filosofía general de la "tira de bota" que abarca a la totalidad de la naturaleza, y además, la ha utilizado (en colaboración con otros físicos) para construir una teoría específica de las partículas, formulada en el lenguaje de la matriz-S. Chew ha descrito la hipótesis de la "tira de bota" en varios artículos<sup>1</sup> que han servido de base a la siguiente exposición.

<sup>1</sup> G. F. Chew, Bootstrap: A Scientific Idea?, Science vol. 161. 23-5-68.

La filosofía de la "tira de bota" constituye el rechazo final a la visión mecanicista del mundo por parte de la física moderna. El universo de Newton estaba constituido por un conjunto de entidades básicas con ciertas propiedades fundamentales, que habían sido creadas por Dios, y por ello, no eran objeto de mayor análisis. De un modo u otro, esta noción se hallaba implícita en todas las teorías de la ciencia natural, hasta que la teoría de la "tira de bota" afirmó de manera explícita que el mundo no puede ser comprendido como un ensamblaje de entidades no analizables. En esta nueva visión del mundo, el universo está considerado como una telaraña dinámica de sucesos relacionados entre sí. Ninguna de las propiedades de una parte de esta telaraña es fundamental; todas ellas siguen el ejemplo de las propiedades de las demás partes, y la consistencia total de sus interrelaciones mutuas determina la estructura de todo el entramado.

De esta manera, la filosofía de la "tira de bota" representa la culminación de un punto de vista sobre la naturaleza, que nace en la teoría cuántica con la observación de una interrelación esencial y universal, adquiere su contenido dinámico en la teoría de la relatividad, y es formulado en términos de probabilidades de reacción en la teoría de la matriz-S. Al mismo tiempo, esta idea de la naturaleza se acerca más al concepto oriental del mundo, estando en armonía con él tanto en cuanto a su filosofía general y como en su representación concreta de la materia.

La hipótesis de la "tira de bota" no sólo niega la existencia de constituyentes básicos de la materia, sino que no acepta ningún tipo de entidades básicas o fundamentales, sean cuales sean -leyes, ecuaciones o principios fundamentales- y como consecuencia de ello abandona otra idea que ha sido parte esencial de las ciencias naturales durante cientos de años. La creencia en la existencia de unas leyes fundamentales de la naturaleza era consecuencia de la creencia en un legislador divino, profundamente arraigada en la tradición judeocristiana. En palabras de Tomás de Aquino:

*Existe una Ley Eterna, es decir, la Razón, que está en la mente de Dios y gobierna todo el Universo.*<sup>2</sup>



<sup>2</sup> Citado por J. Needham en *Science and Civilisation in China*, vol. 11, pág. 538.

Esta idea de una ley divina y eterna de la naturaleza influenció sobremanera a la filosofía y la ciencia occidentales.

Descartes escribió sobre "las leyes que Dios ha puesto en la naturaleza", y Newton creía que el fin más elevado de su trabajo científico era el de evidenciar las "leyes impresas por Dios en la naturaleza". Descubrir las leyes fundamentales y definitivas de la naturaleza continuó siendo el propósito de los científicos naturales durante los siglos que siguieron a Newton.

En la física moderna, se ha desarrollado una actitud muy diferente. Los físicos han visto que todas sus teorías sobre los fenómenos naturales, incluyendo las "leyes" que los describen, son creaciones de la mente humana: propiedades de nuestro mapa conceptual de la realidad, más que una realidad en sí mismas. Este esquema conceptual es necesariamente limitado y aproximativo, como lo son todas las "leyes de la naturaleza" y las teorías científicas que las contienen. Todos los fenómenos naturales están a fin de cuentas interconectados, y para poder explicar cualquiera de ellos es necesario comprender todos los demás, lo cual, obviamente resulta imposible. El gran logro de la ciencia ha sido el descubrimiento de que las aproximaciones son posibles. Si nos damos por satisfechos con una "comprensión" aproximada de la naturaleza, podremos de este modo describir grupos seleccionados de fenómenos, olvidando deliberadamente otros fenómenos menos relevantes. Así, muchos fenómenos pueden ser explicados en función de unos pocos, y de este modo aspectos diferentes de la naturaleza pueden ser comprendidos de un modo aproximativo, sin por ello tener que comprenderlo todo a la vez. Este es el método científico: todas las teorías y modelos científicos son aproximaciones a la verdadera naturaleza de las cosas, pero el error de tales aproximaciones es, a veces, lo bastante pequeño para hacer que este enfoque tenga significado y validez. En la física de las partículas, por ejemplo, las fuerzas de interacción gravitacional que se dan entre las partículas son generalmente ignoradas, porque son muchos órdenes de magnitud más débiles que las fuerzas de las demás interacciones. Aunque el error causado por esa omisión es considerablemente pequeño, es evidente que estas interacciones gravitacionales tendrán que ser incluidas en futuras y más exactas teorías sobre las partículas.

Así, los físicos construyen una secuencia de teorías tras otra, todas ellas parciales y aproximadas pero cada una más precisa que la anterior, sin embargo ninguna de ellas es un informe completo y definitivo de los fenómenos naturales. Al igual que estas teorías, todas las "leyes de la naturaleza" son mudables, y están destinadas a ser sustituidas por futuras leyes más exactas, a medida que se van perfeccionando las teorías. El carácter incompleto de una teoría se suele reflejar en sus parámetros arbitrarios, en las llamadas "constantes fundamentales", es decir, en cantidades cuyos valores numéricos no son explicados por la teoría, sino que se insertan en ella tras haber sido hallados empíricamente. La teoría cuántica no puede explicar el valor empleado para la masa del electrón. La teoría del campo no puede explicar la magnitud de la carga del electrón, ni la teoría de la relatividad es capaz de explicar la velocidad de la luz. Bajo el punto de vista clásico, estas cantidades eran consideradas como constantes fundamentales de la naturaleza, que no requerían de más amplia explicación. En el concepto moderno, su papel de "constantes fundamentales" se considera como algo temporal y es un reflejo de las limitaciones que las teorías actuales presentan. Según la filosofía de la "tira de bota", todas y cada una de estas "constantes fundamentales" deberán ser explicadas en teorías futuras, a medida que la precisión de dichas teorías vaya aumentando. De esta manera, nos acercaremos a la situación ideal, situación que tal vez nunca se llegue a alcanzar, en la que la teoría no contenga constantes "fundamentales" no explicadas, y donde todas sus "leyes" cumplan el requisito de la total congruencia.

Sin embargo, incluso la teoría ideal debe poseer rasgos no explicados, aunque no necesariamente en forma de constantes numéricas. Mientras sea una teoría, necesitará de la aceptación de ciertos conceptos sin ser explicados, conceptos que forman el lenguaje científico. Llevar la idea de la "tira de bota" más allá nos conduciría ya a un terreno que trasciende a la ciencia:

*En un sentido amplio, la idea de la "tira de bota", aunque fascinante y útil, no es científica... La ciencia, tal como la conocemos, requiere de un lenguaje basado en un marco incuestionable. Por lo tanto, el intento de explicar todos los conceptos apenas puede llamarse "científico".<sup>3</sup>*

<sup>3</sup> G. F. Chew, ob. cit., págs. 762-763.



Evidentemente la visión de la naturaleza presentada por la "tira de bota", en la que todos los fenómenos del universo están determinados únicamente por su mutua autocongruencia, se acerca mucho a la visión oriental del mundo. Un universo indivisible, en el cual todas las cosas y sucesos están relacionados entre sí, no tendría sentido a menos que ser congruente y consistente. De alguna manera, tanto el requisito de la autocongruencia, que forma la base de la hipótesis de la "tira de bota", como la unidad e interrelación de todos los fenómenos, tan acentuada en el misticismo oriental, son tan sólo aspectos diferentes de la misma idea. Esta estrecha relación se aprecia con gran claridad en el taoísmo. Para los sabios taoístas, todos los fenómenos del mundo eran parte del Camino cósmico -el *Tao*- y las leyes que sigue el *Tao* no fueron establecidas por ningún legislador divino, sino que son inherentes a su naturaleza. Así, leemos en el *Tao Te Ching*:

*El hombre sigue las leyes de la Tierra.  
La Tierra sigue las leyes del Cielo. El Cielo sigue las leyes del Tao.  
El Tao sigue las leyes de su intrínseca naturaleza.*<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Lao Tzu, *Tao Te Ching*, cap. 25.

Joseph Needham, en su profundo estudio de la ciencia y civilización chinas, muestra cómo el concepto occidental de las leyes fundamentales de la naturaleza, con su idea implícita de la existencia de un legislador divino, carece de equivalente en el pensamiento chino. "En la visión china del mundo", escribe Needham, "la armoniosa cooperación de todos los seres surge, no de las órdenes de una autoridad superior ajena a ellos, sino del hecho de que todos ellos son parte de una jerarquía de conjuntos que forma un patrón cósmico, y a lo que ellos obedecen es a los dictados internos de sus propias naturalezas".<sup>5</sup>

<sup>5</sup> J. Needham, ob. cit., vol. 11, pág. 582.

Según Needham, los antiguos chinos ni siquiera tenían una palabra que correspondiese a la clásica idea occidental de "leyes de la naturaleza". El término más aproximado es *li*, que el filósofo neoconfuciano Chu Hsi describe como "los innumerables modelos -como venas- incluidos en el *Tao*".<sup>6</sup> Needham traduce *li* como "principio de organización" y comenta lo siguiente:

*En su sentido más antiguo significaba el patrón de las cosas, las señales del jade o las fibras del músculo... Adquirió el significado usual que figura en el diccionario como "principio", pero siempre conservó su connotación de "modelo" o "Patrón". En él existe una "ley" implícita, pero esta ley es la ley con la que las partes de un conjunto leen y se conforman en virtud de su misma existencia como partes de dicho conjunto... Lo más importante de las partes es que tienen que encajar exactamente con las demás partes del organismo que componen.*<sup>7</sup>

<sup>6</sup> J. Needham, ob. cit., vol. 11, pág. 484.

<sup>7</sup> *Ibid.*, págs. 558, 567.

Es fácil comprender cómo tal concepto condujo a los pensadores chinos a la idea que tan recientemente se ha desarrollado en la física moderna, de que la autoconsistencia o autocongruencia es la esencia de todas las leyes de la naturaleza. El párrafo siguiente de Ch'en Shun, discípulo directo de Chi Hsi que vivió a finales del siglo XIII, explica esta idea con palabras que podrían tomarse como una explicación perfecta del concepto de autocongruencia de la filosofía de la "tira de bota":

*Li es una ley natural e ineludible, de los acontecimientos y las cosas... "Natural e ineludible" significa que los acontecimientos (humanos) y las cosas (naturales) están hechos exactamente para acoplarse, para encajar. El significado de "ley" es que el acoplamiento sucede sin el más mínimo exceso o defecto... Los hombres de la antigüedad, investigando las cosas hasta el extremo y buscando sin descanso el *li*, quisieron dilucidar el carácter natural ineludible de los sucesos (humanos) y de las cosas (naturales), y esto quiere decir simplemente que lo buscaban en todos los lugares donde las cosas encajaban con precisión. Sólo eso.*<sup>8</sup>



<sup>8</sup> Citado por J. Needham, ob. cit., vol. 11, pág. 566.

Así, bajo el punto de vista oriental, al igual que bajo el de la física moderna, todas las cosas del universo están relacionadas con todas las demás y ninguna de sus partes es más fundamental o básica que las otras. Las propiedades de cual quiera de las partes están determinadas, no por una ley fundamental, sino por las propiedades de todas las demás partes. Tanto los físicos como los místicos se dan cuenta de que el resultado de esto es la imposibilidad de explicar cualquier fenómeno en su totalidad, pero luego sus actitudes difieren. Los físicos, como antes dije, se muestran satisfechos con una comprensión aproximada de la naturaleza. Los místicos orientales, por el contrario, no tienen ningún interés en el conocimiento aproximado o "relativo". El objeto de su interés es el conocimiento "absoluto" que implica una comprensión de la totalidad de la Vida. Siendo muy conscientes de la interrelación esencial del universo, advierten que explicar algo significa, en definitiva, demostrar cómo está relacionado con todo lo demás. Como esto resulta imposible, los místicos orientales insisten en que ningún fenómeno simple puede ser explicado (refiriéndose a fenómenos aislados). Ashvaghosha dice:

*En su naturaleza, fundamental, ninguna cosa puede ser nombrada ni explicada. Ninguna puede ser adecuadamente expresada bajo forma alguna de lenguaje.*<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Ashvaghosha, *The Awakening of Faith*, pág. 56.

De este modo, los sabios orientales, generalmente no se interesaban en explicar las cosas, sino más bien en obtener una experiencia directa no intelectual de la unidad de todas ellas. Esta era la actitud del Buda, que respondió a todas las preguntas sobre el significado de la vida, sobre el origen del mundo, o la naturaleza del *nirvana*, con un "noble silencio". Las respuestas carentes de sentido de los maestros Zen, cuando se les pide que expliquen algo, parecen tener el mismo propósito; hacer que el estudiante se dé cuenta de que todo es consecuencia del resto; que "explicar" la naturaleza tan sólo significaría mostrar su unidad; que, en definitiva, no hay nada que explicar. Cuando un monje le preguntó a Tozan, que estaba pesando lino, "¿Qué es el Buda?", Tozan dijo: "Este lino pesa tres libras"<sup>10</sup>; y cuando a Joshu le preguntaron: "¿Por qué vino a China Bodhidhanna?", éste contestó: "Un roble en el jardín"<sup>11</sup>

<sup>10</sup> P. Reys, *Zen Flesh, Zen Bones* (Anchor Books, Nueva York), pág. 104.

<sup>11</sup> *Ibid.*, pág. 119.

Una de las principales nietas del misticismo oriental es liberar a la mente humana de las palabras y de las explicaciones. Los budistas y los taoístas hablan de una "red de palabras" o una "red de conceptos", dando así idea de la telaraña interrelacionada con el mundo del intelecto. Mientras intentemos explicar las cosas, estaremos ligados al *karma*: estaremos atrapados en nuestra red de conceptos. Trascender las palabras y las explicaciones equivale a romper los lazos del *karma* y alcanzar la liberación.

La visión que los místicos orientales tienen del mundo comparte con la filosofía de la "tira de bota" no sólo su énfasis sobre la mutua interrelación y autocongruencia de todos los fenómenos, sino también su negación de la existencia de componentes fundamentales o básicos en la materia. En un universo que es un todo inseparable y donde todas las formas son fluidas y en constante cambio, ninguna entidad fundamental predeterminada tiene cabida. Por consiguiente, la idea de los "ladrillos básicos" con los que estaría construida la materia, en general no existe en el pensamiento oriental. Las teorías atómicas sobre la composición de la materia nunca se desarrollaron en el pensamiento chino, y aunque surgieron en algunas escuelas de filosofía hindú, ocupan en el misticismo indio más bien un lugar periférico. En el hinduismo, el concepto de los átomos existe en el sistema Jaina (considerado no ortodoxo, ya que no acepta la autoridad de los Vedas). En la filosofía budista, las teorías atómicas florecieron en dos escuelas de budismo Hinayana, pero son tratadas como productos ilusorios de *avidya* por la más importante rama Mahayana. Así dice Ashvaghosha:

*Dividiendo alguna materia bruta (o compuesta), podemos llegar a reducirla a átomos. Pero como el átomo también está sujeto a más divisiones, todas las formas de existencia material, ya sean burdas o finas, no son más que la sombra de la particularización y no se les puede atribuir ningún grado de realidad absoluta o independiente.*<sup>12</sup>



<sup>12</sup> Ashvaghosha, oh. cit., pág. 104.

De este modo, las principales escuelas de misticismo oriental están de acuerdo con la filosofía de la "tira de bota" en el sentido de que el universo es un conjunto totalmente interrelacionado, en el cual no existe ninguna parte que sea más fundamental que otra, así las propiedades de cualquiera de las partes serán determinadas por las propiedades de todas las demás. Podría decirse que cada parte "contiene" a todas las demás y, de hecho, una característica de la experiencia mística de la naturaleza parece ser precisamente esa sensación. En palabras de Sri Aurobindo:

*Para el sentido supramental, nada es realmente finito; está basado en el sentimiento de que todo está en cada uno y cada uno está en todo.*<sup>13</sup>

<sup>13</sup> S. Aurobindo, *The Synthesis of Yoga* (Aurobindo Ashram, Pondicherry India, 1957), pág. 989.

Esta idea de "todo en cada uno y cada uno en todo" fue extensamente elaborada en la escuela *Avatamsaka* del budismo Mahayana, considerada a veces como la culminación del pensamiento budista. Se basa en el *Sutra Avatamsaka*, el cual, según la tradición fue dado por el Buda mientras se hallaba en meditación profunda, después de su iluminación. Este voluminoso sutra, hasta el momento no traducido a ninguna lengua occidental, describe con gran detalle cómo se percibe el mundo en el estado iluminado de consciencia, cuando "los sólidos perfiles de la individualidad se funden y el sentimiento de lo finito deja de oprimirnos"<sup>14</sup>. En su última parte, llamada el *Gandavyuha*, cuenta la historia de un joven peregrino, Sudhana, y da un vivo relato de su experiencia mística del universo, que él percibe como una red perfecta de relaciones mutuas, donde todas las cosas y acontecimientos interactúan unos con otros, de tal manera que cada uno de ellos contiene, en sí mismo, a todos los demás. El siguiente pasaje del sutra, parafraseado por D.T. Suzuki, utiliza la imagen de una torre magníficamente decorada, para transmitir la experiencia ('le Sudhana:

*La Torre es tan ancha y espaciosa como el mismo cielo. El suelo está pavimentado con (innumerables) piedras preciosas de todos tipos, y dentro de la Torre hay (innumerables) palacios, pórticos, ventanas, escaleras, barandillas y pasadizos, todos ellos hechos de las siete clases de piedras preciosas...*

*Y dentro de esta Torre, espaciosa y exquisitamente adornada, hay también cientos de miles... de torres. cada una (te las cuales está tan exquisitamente adornada como la Torre principal y es tan espaciosa como el cielo. Y todas estas torres, más abundantes de lo que podría calcularse en números, no se molestan en absoluto unas a otras; cada una mantiene su existencia individual en perfecta armonía con todo el resto; nada impide a una torre estar fusionada con todas las demás, individual y colectivamente; es un estado de perfecta unión y, sin embargo, de perfecto orden. Sudhana, el joven peregrino, se ve él mismo en todas las torres y en cada una de ellas, pues todo está contenido en una y cada una de ellas contiene al todo.*<sup>15</sup>

<sup>14</sup> D. T. Suzuki, *On Indian Mahayana Buddhism*, pág. 150.

<sup>15</sup> *Ibid.*, págs. 183-184.

La Torre de este pasaje es, por supuesto, una metáfora del propio universo, y la perfecta interfusión mutua de sus partes se conoce en el budismo Mahayana como "interpenetración". El *Avatamsaka* aclara que esta interpenetración es esencialmente una interrelación dinámica que tiene lugar no sólo de un modo espacial, sino también temporalmente. Como ya dije, el espacio y el tiempo también se consideran como penetrándose entre sí.

La experiencia de la interpenetración en el estado iluminado puede considerarse como una visión mística de la idea de la "tira de bota", en la que todos los fenómenos del universo se relacionan mutuamente de manera armoniosa. En tal estado de consciencia, el inundo del intelecto es trascendido y las explicaciones causales se hacen innecesarias, siendo sustituidas por la experiencia directa de la interdependencia mutua de todas las cosas y sucesos. El concepto budista de la interpenetración, va por ello más allá de cualquier teoría científica de la "tira de bota". Sin embargo, existen en la física moderna modelos de partículas subatómicas basados en la



hipótesis de la "tira de bota", que muestran el más sorprendente paralelismo con las convicciones del budismo Mahayana.

Al formularse la idea de la "tira de bota" en un contexto científico, tiene que ser limitada y aproximativa, y su principal aproximación consiste en descuidar todo menos las interacciones fuertes. Dado que estas fuerzas de interacción son aproximadamente cien veces más fuertes que las electromagnéticas, y muchos órdenes de magnitud más fuertes que las interacciones débiles y gravitacionales, tal aproximación parece razonable. La "tira de bota" científica, así, trata exclusivamente con partículas que interactúan fuertemente, es decir con hadrones, y a menudo se la denomina "la tira de bota de los hadrones". Está formulada dentro del marco de la teoría de la matriz-S y su finalidad es deducir todas las propiedades de los hadrones y sus interacciones únicamente de su condición de autocongruencia. Las únicas "leyes fundamentales" aceptadas son los principios generales de la matriz-S tratados en el capítulo anterior, necesarios para nuestros métodos de observación y medida, y que constituyen el marco necesario para toda ciencia. Tal vez otras propiedades de la matriz-S tengan que postularse temporalmente como "principios fundamentales", pero se esperará a que emerjan como una consecuencia necesaria de la autocongruencia de la teoría completa. El postulado de que todos los hadrones forman secuencias descritas por el formulismo de Tullio Regge puede ser un principio de este tipo.

Así, en el lenguaje de la teoría de la matriz-S, la hipótesis de la "tira de bota" sugiere que la totalidad de la matriz-S y, por consiguiente, todas las propiedades de los hadrones, pueden ser determinadas únicamente por los principios generales, porque solamente hay una posible matriz-S congruente con los tres. Esta conjetura se apoya en el hecho de que los físicos nunca se han acercado a la construcción de un modelo matemático que satisfaga los tres principios generales. Si la única matriz-S congruente es la que describe todas las propiedades e interacciones de los hadrones, como asume la hipótesis de la "tira de bota", el fracaso de los físicos en construir una matriz-S parcialmente congruente se hace ya comprensible.

Las interacciones que se dan entre las partículas subatómicas son tan complejas que de ningún modo es seguro que una teoría de la matriz-S completa y autocongruente pueda alguna vez ser construida, pero sí podemos pensar en una serie de modelos parcialmente eficaces, aunque de menor alcance. Cada uno de ellos tendría la finalidad de cubrir sólo una parte de la física de las partículas y, por tanto, contendría algunos parámetros no explicados que representarían sus limitaciones, pero los parámetros de un modelo tal vez sean explicados por otro. Así, gradualmente, podrán cubrirse cada vez más fenómenos con una precisión cada vez mayor, mediante un mosaico de modelos entrelazados, cuyo número de parámetros no explicados continuará disminuyendo cada vez. La denominación de "tira de bota" no es apropiada para ningún modelo individual, sino que sólo puede aplicarse a una combinación de modelos mutuamente congruentes, ninguno de los cuales es más fundamental que los demás. Como expresa Chew: "un físico capaz de ver cualquier número de modelos diferentes parcialmente eficaces sin favoritismo, automáticamente se convierte en un "bootstrapper" (seguidor de la teoría de la "tira de bota")."<sup>16</sup>

<sup>16</sup> G. F. Chew, Hadron Bootstrap ob. cit., pág. 27.

Ya existe un cierto número de modelos parciales de ese tipo, los cuales indican que el programa de la "tira de bota" probablemente se llevará a cabo en un futuro no muy lejano. En lo que a los hadrones se refiere, el mayor de los retos de la teoría de la matriz-S y de la "tira de bota" siempre ha sido explicar la estructura del quark, tan característico en las interacciones fuertes. Hasta hace poco, el marco de la "tira de bota" no pudo explicar estas sorprendentes regularidades, y ésta fue la principal razón por la que no fue tomada muy en serio por la comunidad de físicos. La mayoría de los físicos preferían trabajar con el modelo de quark que proporcionaba, si no una explicación congruente, al menos una descripción fenomenológica. Sin embargo, la situación ha cambiado drásticamente en los últimos seis años. Varios descubrimientos importantes habidos en la teoría de la matriz-S han conducido a una mejor comprensión que ha posibilitado deducir la mayor parte de los resultados característicos del modelo del quark, sin necesidad de postular la existencia de quarks físicos. Estos resultados han generado gran entusiasmo entre los teóricos de la matriz-S y probablemente obligarán a los físicos a reevaluar totalmente sus actitudes hacia el enfoque de la "tira de bota" sobre la física subatómica.

El cuadro de los hadrones que nos presenta la teoría de la "tira de bota", puede resumirse con esta provocativa frase: "toda partícula se compone de todas las demás partículas". No debemos imaginar, sin embargo, que cada hadrón contiene a todos los demás en un sentido clásico y estático. Más que "contenerse" uno a otro, los hadrones se "envuelven" uno a otro en el sentido



dinámico y probable de la teoría de la matriz-S, siendo cada hadrón un "estado de unión" potencial de todos los conjuntos de partículas que puedan interactuar una con otra para formar el hadrón que se está considerando. En ese sentido, todos los hadrones son estructuras compuestas, cuyos componentes son, una vez más, hadrones, y ninguno de ellos es más elemental que los otros. Las fuerzas de unión que mantienen las estructuras se manifiestan mediante el intercambio de partículas, y estas partículas intercambiadas vuelven de nuevo a ser hadrones. De este modo, cada hadrón juega tres papeles: es una estructura compuesta, puede ser un componente de otro hadrón, y puede ser intercambiado entre constituyentes y ser así parte de las fuerzas que mantienen unida a la estructura. En este cuadro el concepto de "cruce" es algo esencial. Cada hadrón se mantiene unido mediante fuerzas relacionadas con el intercambio de otros hadrones en el canal de cruce, cada uno estos a su vez, se mantiene unido mediante fuerzas a las que contribuye el primer hadrón. De esta manera, "cada partícula ayuda a generar otras partículas, que a su vez la generan a ella".<sup>17</sup> Todo el conjunto de hadrones se genera a sí mismo de este modo, o se extrae, por así decir, mediante la "tira de bota" (autocongruencia). La idea, pues, es que este mecanismo extremadamente complejo de la "tira de bota" es autodeterminante, es decir, sólo existe un modo para lograrlo. En otras palabras, sólo existe un posible conjunto autocongruente de hadrones: el que se encuentra en la naturaleza.

<sup>17</sup> G. F. Chew, M. Gell-Mann & A. H. Rosenfeld, Strongly Interacting Particles, Scientific American, vol. 210 (febrero, 1964), pág. 93.

En la "tira de bota" de los hadrones, todas las partículas están dinámicamente compuestas una de otra, de un modo autocongruente, y en ese sentido puede decirse que todas ellas se "contienen" una a otra. En el budismo Mahayana, se aplica un concepto muy similar a la totalidad del universo. Esta red cósmica de cosas y acontecimientos que se interpenetran es ilustrada en el *Sutra Avatamsaka* con la metáfora de la red de Indra, un vasto entramado de gemas preciosas que cuelgan del palacio del dios Indra. En palabras de Sir Charles Eliot:

*En el cielo de Indra, se dice que hay una red de perlas, ordenadas de tal forma, que si miras a una, ves a todas las demás reflejadas en ella. Del mismo modo, cada objeto del mundo no es sólo él mismo, sino que incluye a todos los demás objetos y de hecho es todos los demás. "En cada partícula de polvo, se encuentran presentes Buscas innumerables"*<sup>18</sup>

<sup>18</sup> C. Eliot, Japanese Buddhism (Routledge & Kegan Paul, Londres, 1959), págs. 109-110.

La similitud de esta imagen con la "tira de bota" de los hadrones es verdaderamente sorprendente. La metáfora de la red de Indra podría con justicia ser llamada el primer modelo de la "tira de bota", creado por los sabios orientales unos 2.500 años antes de iniciarse la física de las partículas. Los budistas insisten en que el concepto de interpenetración no es comprensible de manera intelectual, sino que ha de ser experimentado por la mente iluminada en el estado de meditación. Así, escribe D. T. Suzuki:

*El Buda (en el Gandavyuha) ya no es el que vive en el mundo que se concibe en el espacio y en el tiempo. Su consciencia no es la de una mente ordinaria, que debe ser regulada de acuerdo con los sentidos y la lógica... El Buda del Gandavyuha vive en un mundo espiritual que tiene sus propias reglas.*<sup>19</sup>

<sup>19</sup> D. T. Suzuki, ob. cit., pág. 148.

En la física moderna, la situación es bastante similar. La idea de que cada partícula contiene a todas las demás, es inconcebible en el espacio y el tiempo ordinarios. Describe una realidad que, como la del Buda, tiene sus propias reglas. En el caso de la "tira de bota" de los hadrones, existen las reglas de la teoría cuántica y la teoría de la relatividad, siendo su concepto clave el que las fuerzas que mantienen unidas a las partículas son en sí mismas partículas intercambiadas en los canales de cruce. A este concepto se le puede dar un significado matemático preciso, pero es casi imposible de visualizar. Es un rasgo relativista de la "tira de bota", y dado que no tenemos experiencia directa del mundo cuatridimensional espaciotemporal, resulta extremadamente difícil imaginar cómo una sola partícula puede contener a todas las demás partículas y al mismo tiempo ser parte de cada una de ellas. Sin embargo, este es exactamente el punto de vista del Mahayana:



*Cuando el uno es contrapuesto a todo lo demás, se lo ve copio penetrándolo todo y al mismo tiempo, abrazando a todo en sí mismo.*<sup>20</sup>

<sup>20</sup> D. T. Suzuki, *The Essence of Buddhism* (Hozokan, Kyoto, Japón. 1968), pág. 52.

La idea de que cada partícula contiene a todas las demás no ha surgido sólo en el misticismo oriental, sino también en el pensamiento místico occidental. Está implícita, por ejemplo, en los famosos versos de William Blake:

*Para ver un mundo en un grano de arena  
y un cielo en una flor silvestre,  
sostén el infinito en la palma de tu mano,  
y la eternidad en una hora.*

Una vez más, una visión mística nos ha llevado a una imagen del tipo de la "tira de bota", si el poeta ve el mundo en un grano de arena, el físico moderno ve el mundo en un hadrón.

Una imagen similar aparece en la filosofía de Leibniz, quien consideraba al mundo como hecho de substancias fundamentales llamadas "mónadas", cada una de las cuales reflejaba a todo el universo. Esto le condujo a una visión de la materia que muestra similitudes con la del budismo Mahayana y con la teoría de la "tira de bota" de los hadrones. En su *Monadología*, escribe Leibniz:

*Cada porción de materia puede concebirse como ¡in jardín lleno de plantas y como un estanque lleno de peces. Pero cada rama de la planta, cada miembro del animal, cada gota de sus humores, es también un jardín y un estanque semejante.*<sup>21</sup>

\* Los paralelismos existentes entre el punto de vista de Leibniz sobre la materia y la teoría de la "tira de bota" de los hadrones ha sido recientemente discutido. Ver el artículo de G. Gale "Monadología de Chew" en el *Journal of History of Ideas* vol. 35 (Abril-Junio de 1974), págs. 339-48.

<sup>21</sup> P. P. Wiener, *Leibniz-Selections* (Charles Scribners Sons, Nueva York, 1951), pág. 547.

Es interesante considerar que la similitud de estas líneas con los pasajes del *Sutra Avatamsaka* antes mencionados pueda provenir de una influencia budista en Leibniz. Joseph Needham sostiene<sup>22</sup> que Leibniz conocía bien el pensamiento y la cultura China a través de traducciones que recibía de los monjes jesuitas y que su filosofía podría muy bien haber sido inspirada por la escuela neoconfucianista de Chu Hsi, conocida por él. Esta escuela, no obstante, tiene una de sus raíces en el budismo Mahayana, y en particular en la escuela *Avatamsaka* (en chino: *Hua-yen*) de la rama Mahayana. Needham, de hecho, menciona la metáfora de la red de perlas de Indra explícitamente en relación con las mónadas de Leibniz.

<sup>22</sup> J. Needham, ob. cit., vol. 11, págs. 496 y siguientes.

Una comparación más detallada de la idea de Leibniz sobre las "relaciones reflexivas" existentes entre las mónadas con la idea de la interpenetración del Mahayana parece demostrar, no obstante, que ambas son bastante diferentes, y que la concepción budista de la materia se acerca mucho más al espíritu de la física moderna que la de Leibniz. La principal diferencia entre la *Monadología* y el punto de vista budista parece ser que las mónadas de Leibniz son substancias fundamentales, que están consideradas como los constituyentes definitivos de la materia. Leibniz inicia la *Monadología* con estas palabras: "la mónada de la que vamos a hablar es meramente una substancia simple, que forma compuestos: *simple* quiere decir, sin partes". Continúa diciendo: "Y estas mónadas son los verdaderos átomos de la naturaleza, en una palabra, los elementos que componen todas las cosas"<sup>23</sup> Este punto de vista "fundamentalista" está en agudo contraste con la filosofía de la "tira de bota", y también es totalmente diferente de la visión del budismo Mahayana que rechaza cualquier entidad o substancia fundamental. La forma de pensar fundamentalista de Leibniz queda también reflejada en su visión de las fuerzas, a las que él considera como leyes "impresas por decreto divino" y esencialmente diferentes de la materia. "Las fuerzas y la actividad", escribe, "no pueden ser estados de algo meramente pasivo, como la materia".<sup>24</sup> Una vez más, esto va contra los conceptos de la física moderna y del misticismo oriental.



<sup>23</sup> P. P. Wiener, ob. cit.—, pág. 533.

<sup>24</sup> Ibid., pág. 161 .

En lo referente a la interrelación entre las mónadas, la principal diferencia con la "tira de bota" de los hadrones parece ser que las mónadas no interactúan unas con otras; ellas "no tienen ventanas", como dice Leibniz, y simplemente se reflejan una a otra. Por el contrario en el modelo de la "tira de bota" de los hadrones, al igual que en el budismo Mahayana, lo más notable es la interacción o "interpenetración", de todas las partículas. Además, los conceptos de materia de la "tira de bota" y del budismo Mahayana son ambos conceptos "espaciotemporales" que consideran a los objetos como sucesos cuya interpenetración mutua sólo es comprensible si se admite que el espacio y el tiempo, también se interpenetran.

La hipótesis de la "tira de bota" está todavía lejos de ser completada y las dificultades técnicas que su formulación implica son considerables. Sin embargo, los físicos han comenzado ya a extender su enfoque autocongruente más allá de la descripción de partículas de fuerte interacción. Esta extensión trascenderá eventualmente al presente contexto de la teoría de la matriz-S, que fue diseñado específicamente para describir las interacciones fuertes. Será necesario hallar un marco más general, capaz (le "tirar" de algunos conceptos en la actualidad aceptados sin explicación. Tendrán que ser derivados o deducidos de la autocongruencia general. Según Geoffrey Chew, éstos podrían incluir nuestra concepción del espacio-tiempo microscópico y, quizá incluso la de la consciencia humana:

*Llevada a su extremo lógico, la conjetura de la "tira de bota" significa que la existencia de la consciencia, junto con todos los demás aspectos de la naturaleza, es necesaria para que la totalidad del conjunto sea autocongruente.*<sup>25</sup>

<sup>25</sup> G. F. Chew, ob. cit., pág. 763.

Este punto de vista, una vez más, está en perfecta armonía con los de las tradiciones místicas orientales, que siempre han considerado a la consciencia como parte integrante del universo. En la visión oriental, los seres humanos, como todas las demás formas de vida, forman parte de un todo orgánico e inseparable. Su inteligencia, por consiguiente, implica que el todo también es inteligente. Al ser humano se le considera como la prueba viviente de la inteligencia cósmica, en nosotros, el universo repite una vez y otra su capacidad de producir formas, mediante las cuales es consciente de sí mismo.

En la física moderna, la cuestión de la consciencia surgió en relación con la observación de los fenómenos atómicos. La teoría cuántica ha evidenciado que estos fenómenos sólo pueden entenderse como lazos de una cadena de procesos, cuyo final es la consciencia del observador humano. En palabras de Eugene Wigner, "sin referencia a la consciencia no era posible formular las leyes (de la teoría cuántica) de un modo completamente congruente".<sup>26</sup> La formulación pragmática de la teoría cuántica utilizada por los científicos en sus obras no se refiere explícitamente a su consciencia. Sin embargo Wigner y otros físicos afirman que la explícita inclusión de la consciencia humana puede ser un aspecto esencial de las futuras teorías sobre la materia.

<sup>26</sup> E. P. Wigner, *Symmetries and Reflections*-Scientific M.I.T. Press, Cambridge, Mass, 1970), pág. 172.

Tal evolución abriría emocionantes posibilidades de una interacción directa entre la física y el misticismo oriental. La comprensión de la consciencia de uno mismo y de su relación con el resto del universo es el punto de partida de toda la experiencia mística. Los místicos orientales han explorado durante siglos varios modos de consciencia, y las conclusiones a las que han llegado son a menudo radicalmente diferentes de las ideas sostenidas en Occidente. Si los físicos desean realmente incluir la naturaleza de la consciencia humana en su investigación, el estudio de las ideas orientales podrá proporcionarles nuevos y estimulantes puntos de vista.

De esta manera, la futura ampliación de la "tira de bota" de los hadrones con la "tira de bota del espacio-tiempo" y tal vez también con la consciencia humana, abrirá el dominio a posibilidades sin precedentes que muy bien pueden ir más allá del marco convencional de la ciencia:



*Tal paso sería inmensamente más profundo que cualquier cosa comprendida en la "tira de bota" de los padrones. Nos veríamos obligados a afrontar el fugaz concepto de la observación y posiblemente, incluso el de la consciencia. Nuestro actual trabajo con la "tira de bota" de los hadrones puede que sólo sea un anticipo de una forma completamente nueva del trabajo intelectual humano, forma que no sólo trascenderá a la física, sino que incluso tal vez no podrá ser descrita como "científica".<sup>27</sup>*

<sup>27</sup> G. F. Chew ob. cit., pág. 765.

¿Dónde pues, nos lleva la idea de la "tira de bota"? Esto, desde luego, nadie lo sabe, pero resulta fascinante especular sobre su destino definitivo. Es posible imaginar una red de teorías futuras, cubriendo una gama cada vez mayor de fenómenos naturales con progresiva precisión. Una red que contendrá cada vez menos rasgos no explicados, derivando cada vez más su estructura de la mutua congruencia de sus panes. Algún día, se alcanzará un punto donde los únicos caracteres no explicados de este entramado de teorías, serán los elementos del marco científico. Más allá de ese punto, la teoría ya no será capaz de expresar sus resultados con palabras o con conceptos racionales, y de este modo trascenderá a la ciencia. En lugar de una *teoría* de la "tira de bota" sobre la naturaleza, se convertirá en una *visión* de la "tira de bota" de la naturaleza, trascendiendo los reinos del pensamiento y del lenguaje. sacándonos de la ciencia y llevándonos hacia el inundo de *acintya*, lo impensable. El conocimiento contenido en una visión así será completo, pero no podrá ser comunicado con palabras. Será el conocimiento que Lao Tse tenía en mente. hace más de dos mil años, al decir:

*El que sabe no habla.  
El que habla no sabe.<sup>28</sup>*

<sup>28</sup> Lao Tzu, Tao Te Ching, pág. 81.

## EPILOGO

El interés de las filosofías religiosas orientales es el conocimiento místico atemporal, que está más allá del razonamiento y que no puede ser expresado adecuadamente con palabras. La relación de este conocimiento con la física moderna no es más que uno de sus múltiples aspectos y, como todos los demás, no puede ser demostrado de un modo concluyente, sino que debe experimentarse de forma directa e intuitiva. Lo que espero haber logrado, hasta cierto punto, no es una demostración rigurosa, sino simplemente haber dado al lector una oportunidad de revivir de vez en cuando, una experiencia que para mí ha llegado a ser fuente de continua alegría e inspiración: descubrir que las teorías y los modelos principales de la física moderna conducen a una visión del mundo que es internamente congruente y que está en perfecta armonía con las ideas del misticismo oriental.

Para quienes hayan experimentado esta armonía, el significado de los paralelismos existentes entre los conceptos del mundo de los físicos y los de los místicos estará fuera de toda duda. La cuestión que nos interesa entonces, no es *si* estos paralelismos existen, sino *por qué* y, sobre todo, *¿qué* significa su existencia?

En su intento por comprender el misterio de la Vida, el hombre ha seguido caminos muy diferentes. Entre ellos se encuentran los caminos del científico y el místico, pero hay muchos más: los caminos de los poetas, de los niños, de los payasos o de los chamanes, por citar sólo unos cuantos. Estos caminos han resultado en diferentes descripciones del mundo, verbales y no verbales, que resaltan aspectos diferentes. Todos son válidos y útiles en el contexto en que surgen. Todos ellos, sin embargo, son sólo descripciones, o representaciones de la realidad y por tanto, limitados. Ninguno de ellos puede ofrecer una imagen completa del inundo.

La visión mecanicista del mundo sostenida por la física clásica es útil para describir el tipo de fenómenos físicos con los que nos encontramos en nuestra vida diaria y de este modo, resulta apropiada para tratar con nuestro medio ambiente cotidiano, habiendo logrado un notable éxito como base de la tecnología. Sin embargo, es inadecuada para describir los fenómenos físicos del mundo submicroscópico. La visión de los místicos es opuesta al concepto mecanicista del mundo y podría resumirse mediante la palabra "orgánica", pues considera que todos los fenómenos del universo son partes integrantes de un todo armónico e indivisible. En las tradiciones místicas esta



visión del mundo surge de los estados meditativos de consciencia. En su descripción del mundo, los místicos emplean conceptos nacidos de sus experiencias no ordinarias que en general, resultan inapropiadas para describir científicamente los fenómenos macroscópicos. Esta visión orgánica del mundo carece de utilidad para construir máquinas, y tampoco sirve para solucionar los múltiples problemas técnicos que surgen en nuestro mundo superpoblado.

En la vida diaria, tanto la visión del universo mecanicista como la orgánica son válidas y útiles: una para la ciencia y la tecnología la otra para la vida espiritual, equilibrada y plena. Sin embargo, al trascender las dimensiones de nuestro entorno cotidiano, los conceptos mecanicistas pierden su validez y tienen que ser sustituidos por conceptos orgánicos, que resultan muy similares a los empleados por los místicos. Lo que hemos tratado es la experiencia esencial de la física moderna. La física del siglo XX ha demostrado que los conceptos de la visión orgánica del mundo, aunque de escaso valor para la ciencia y la tecnología en la escala humana, resultan extremadamente útiles en los niveles atómico y subatómico. La visión orgánica, por tanto, parece más fundamental que la mecanicista. La física clásica, que está basada en la visión mecanicista, puede derivarse de la teoría cuántica, que se basa en la orgánica, mientras que no es posible hacerlo a la inversa. Esto parece indicarnos por qué los conceptos de la física moderna y del misticismo oriental son similares. Ambos surgen cuando el hombre inquiriere en la naturaleza esencial de las cosas -dentro de los más profundos reinos de la materia en la física y dentro de los más recónditos mundos de la consciencia en el misticismo- descubriendo entonces una realidad diferente, que trasciende la superficial apariencia mecánica de la vida diaria.

Los paralelismos existentes entre los conceptos de los físicos y los de los místicos se hacen todavía más evidentes si observamos otras similitudes que existen a pesar de sus diferentes enfoques. Para empezar, el método de ambos es completamente empírico. Los físicos obtienen su conocimiento de los experimentos; los místicos de sus percepciones meditativas. Ambas son observaciones, y tanto en la física como en el misticismo a tales observaciones se las considera como la única fuente de conocimiento. Por supuesto, el objeto de la observación es muy diferente en cada caso. El místico mira hacia dentro de sí mismo y explora los diversos niveles de su consciencia, lo cual incluye también al cuerpo como manifestación física de la mente. La experiencia del cuerpo es resaltada en muchas tradiciones orientales y a veces se la considera la clave de la experiencia mística del mundo. Cuando gozamos de buena salud no sentimos ninguna de las partes de nuestro cuerpo separada del resto, sino que somos conscientes de él como un todo integrado, y esta consciencia genera un sentimiento de bienestar y de felicidad. Del mismo modo, el místico es consciente de la totalidad del cosmos, que experimenta como una prolongación de su cuerpo. En palabras de Lama Govinda:

*Pura el hombre iluminado... cuya consciencia abraza la totalidad del universo, éste se convierte en su "cuerpo", mientras que su cuerpo físico se hace una manifestación de la Mente Universal, su visión interna una expresión de la más alta realidad, y sus palabras una expresión de la verdad eterna y del poder mántrico.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Lama Anagarika Govinda, Foundations of Tibetan Mysticism (Rider, Londres, 1973), pág. 225.

Al contrario que el místico, el físico comienza su investigación sobre la naturaleza esencial de las cosas, estudiando el mundo material. Penetrando en los mundos cada vez más recónditos de la materia, se ha hecho consciente de la unidad esencial de todas las cosas y sucesos. Incluso ha ido más lejos, ha aprendido que él mismo y su consciencia son parte integrante de esa unidad. Así, el místico y el físico llegan a la misma conclusión: uno partiendo del mundo interno, el otro del mundo externo. La armonía entre sus conceptos confirma la antigua sabiduría hindú de que *Brahman*, la realidad última externa, es idéntico a *Atman*, la realidad interior.

Una similitud más que se da entre los caminos del físico y el místico es el hecho de que sus observaciones tienen lugar en mundos que son inaccesibles para los sentidos ordinarios. En la física moderna, son los reinos del mundo atómico y subatómico; en el misticismo son los estados no ordinarios de consciencia donde se trasciende el mundo sensorial. Los místicos hablan de dimensiones más elevadas en las que las impresiones de diferentes centros de consciencia se integran en un conjunto armónico. Algo similar se da en la física moderna, donde se ha desarrollado un formulismo cuatridimensional espaciotemporal que unifica los conceptos y las observaciones procedentes de diferentes niveles del mundo ordinario tridimensional. En ambos casos, las experiencias multidimensionales trascienden el mundo sensorial y por ello, son casi imposibles de expresar en lenguaje corriente.



Así vemos que los caminos del físico moderno y del místico oriental, que al principio parecían sin relación alguna entre sí, tienen, de hecho, mucho en común. Por ello, no es sorprendente que en sus descripciones del mundo se den paralelismos asombrosos. Una vez aceptadas todas estas analogías existentes entre la ciencia occidental y el misticismo oriental, surgirán ciertas preguntas sobre sus posibles consecuencias e implicaciones. ¿Estará la ciencia moderna, con toda su sofisticada maquinaria, simplemente redescubriendo la antigua sabiduría, conocida por los sabios orientales desde hace miles de años? En consecuencia, ¿deberían abandonar los físicos el método científico y ponerse a meditar? ¿Podría darse una influencia mutua entre la ciencia y el misticismo, tal vez incluso una síntesis?

En mi opinión la respuesta a todas estas preguntas es un rotundo "no". Creo que la ciencia y el misticismo son dos manifestaciones complementarias de la mente humana, de sus facultades racionales e intuitivas.

El físico moderno experimenta el mundo a través de una enorme especialización de la mente racional; el místico gracias a una enorme especialización de la mente intuitiva. Ambos enfoques son totalmente diferentes e implican mucho más que una visión determinada del mundo físico. Sin embargo, son complementarios, como hemos aprendido a decir en física. Ni uno está comprendido en el otro, ni puede ninguno de ellos reducirse al otro, sino que ambos son necesarios y se complementan mutuamente para darnos una comprensión más completa del mundo. Parafraseando un antiguo proverbio chino podemos decir que los místicos comprenden las raíces del Tao, pero no sus ramas; los científicos comprenden sus ramas, pero no sus raíces. La ciencia no necesita del misticismo y el misticismo no necesita de la ciencia; pero el hombre sí necesita de ambos. La experiencia mística es necesaria para comprender la naturaleza más profunda de las cosas, y la ciencia es esencial para la vida moderna. Lo que necesitamos entonces, no es una síntesis, sino una interacción dinámica entre la intuición mística y el análisis científico.

Hasta ahora, esto no se ha logrado en nuestra sociedad. En la actualidad, nuestra actitud es demasiado *yang* -por emplear de nuevo la terminología china- demasiado racional, masculina y agresiva. Los mismos científicos son un ejemplo típico. Aunque sus teorías están llevando a una visión del mundo que es muy similar a la de los místicos, es sorprendente lo poco que esto ha afectado las actitudes de la mayoría de los científicos. En el misticismo, el conocimiento no puede darse separado de una forma determinada de vida, que se convierte en su manifestación viva. Adquirir el conocimiento místico significa sufrir una transformación: incluso podría decirse que el propio conocimiento es la transformación. El conocimiento científico, por el contrario, puede permanecer abstracto y teórico. Por eso la mayor parte de los físicos de hoy no parecen darse cuenta de las implicaciones filosóficas, culturales y espirituales de sus teorías. Muchos de ellos apoyan activamente a una sociedad todavía basada en la visión mecanicista y fragmentada del mundo, sin darse cuenta que la ciencia está señalando más allá de dicho concepto, está señalando hacia la unidad del universo, que incluye no sólo nuestro medio ambiente natural, sino también a nuestros congéneres, los seres humanos. Creo que la visión del mundo implícita en la física moderna es incongruente con la sociedad actual, que no refleja la armónica interrelación que observamos en la naturaleza. Para alcanzar tal estado de equilibrio sería necesaria una estructura social y económica radicalmente distinta: una revolución cultural en el verdadero sentido de la palabra. La supervivencia de toda nuestra civilización tal vez dependa de la capacidad que tengamos para efectuar ese cambio. Dependerá, en definitiva, de nuestra habilidad para adoptar algunas de las actitudes *yin* del misticismo oriental; de nuestra capacidad para experimentar la totalidad de la naturaleza, y el arte de vivir en ella.

## **VUELTA A LA NUEVA FISICA**

### **Apéndice a la segunda edición**

Desde la primera edición de *El Tao de la Física*, en diversas áreas de la física subatómica ha tenido lugar un progreso considerable. Como decía en el prefacio de esta edición, los nuevos descubrimientos no han venido a invalidar ninguno de los citados paralelismos con el pensamiento oriental sino que, al contrario, los han reforzado. En este Apéndice voy a exponer los resultados más relevantes de las nuevas investigaciones llevadas a cabo en física atómica y subatómica hasta el verano de 1982.

Uno de los paralelismos más significativos entre la física y el misticismo oriental, ha sido el descubrimiento de que los componentes de la materia y los fenómenos subyacentes con ellos



relacionados, están todos interconectados, hasta el punto de no ser posible considerarlos como entes aislados, sino sólo como partes integrales de un todo unificado. La idea de una "interrelación cuántica" básica, tratada con detalle en el capítulo 10, fue respaldada por Bohr y Heisenberg durante toda la historia de la teoría cuántica. Sin embargo, durante las dos últimas décadas ha merecido una renovada atención, al llegar los físicos a darse cuenta de que el universo puede estar interrelacionado de formas mucho más sutiles de lo que antes se había pensado. El nuevo tipo de interconexión recientemente observado, no sólo refuerza las similitudes existentes entre los conceptos de físicos y místicos sino que también presenta la intrigante posibilidad de relacionar la física subatómica con la psicología de Jung y, tal vez, incluso con la parapsicología, arrojando al mismo tiempo cierta luz sobre el importante papel jugado por la probabilidad en la física cuántica. En la física clásica, la probabilidad se emplea siempre que se desconozcan algunos detalles implicados en un fenómeno. Por ejemplo, cuando tiramos los dados, podríamos - en principio - predecir el resultado, si conociésemos todos los detalles mecánicos involucrados en la operación - la composición exacta de los dados, de la superficie sobre la que caen, etc. Estos detalles reciben el nombre de variables locales porque están dentro de los objetos implicados. En la física subatómica las variables locales están representadas por conexiones entre eventos separados espacialmente, a través de señales -partículas y redes de partículas- que siguen las leyes usuales de la separación espacial. Por ejemplo, ninguna señal puede transmitirse más rápidamente que la velocidad de la luz. Pero aparte de estas conexiones locales, han aparecido recientemente otras no locales; conexiones que son instantáneas y no pueden predecirse, en el momento actual, de un modo preciso y matemático.

Estas conexiones no locales son consideradas por algunos físicos como la misma esencia de la realidad cuántica. En la teoría cuántica los fenómenos individuales no siempre tienen una causa bien definida. Por ejemplo, el salto de un electrón de una órbita atómica a otra, o la desintegración de una partícula subatómica, pueden ocurrir de forma espontánea sin causa alguna que los provoque. Nunca podemos predecir cuándo y cómo va a suceder tal fenómeno; todo lo que podemos predecir es su probabilidad. Esto no quiere decir que los sucesos atómicos ocurran de una manera completamente arbitraria; significa tan sólo que no son provocados por causas locales. El comportamiento de cualquier parte está determinado por sus conexiones no locales con el conjunto, y dado que no conocemos estas conexiones con precisión, tenemos que sustituir el estrecho concepto clásico de causa y efecto por el concepto más amplio de causalidad estadística. Las leyes de la física atómica son leyes estadísticas, según las cuales las probabilidades de que ocurran hechos atómicos quedan determinadas por la dinámica de todo el sistema. Mientras que en la física clásica las propiedades y el comportamiento de las partes determinan las propiedades y el comportamiento de todo el conjunto, en la física cuántica la situación es inversa: el conjunto determina el comportamiento de las partes.

Así, la probabilidad es empleada en la física clásica y en la física cuántica por razones similares. En ambos casos existen variables "ocultas", desconocidas para nosotros, y esta ignorancia nos impide hacer predicciones exactas. No obstante, hay una diferencia crucial. Mientras que las variables ocultas en la física clásica son mecanismos locales, las de la física cuántica son no-locales; son conexiones instantáneas con el universo como un todo. En el mundo cotidiano, macroscópico, las conexiones no locales carecen de importancia relativa, y por eso podemos hablar de objetos separados y formular las leyes que describen su comportamiento en términos de certeza. Pero, a medida que nos movemos hacia dimensiones más pequeñas, la influencia de las conexiones no locales se hace más fuerte, las seguridades dejan paso a las probabilidades y cada vez se hace más difícil separar cualquier parte del universo de la totalidad del mismo.

La existencia de conexiones no locales, y el papel fundamental jugado por la probabilidad, es algo que Einstein nunca pudo aceptar. Este fue el tema de su histórico debate con Bohr celebrado en la década de 1920, en el que Einstein expresó su oposición a la interpretación de Bohr sobre la teoría cuántica con su famosa frase "Dios no juega a los dados con el universo".<sup>1</sup> Al finalizar el debate, Einstein tuvo que admitir que la teoría cuántica, tal y como Bohr y Heisenberg la interpretaban, formaba un sistema de pensamiento consistente, pero él seguía convencido de que en el futuro se hallaría una interpretación determinista, basada en variables locales ocultas.

<sup>1</sup> Ver P. A. Schilpp Albert Einstein.

Lo esencial en la discrepancia entre Einstein y Bohr era la firme creencia del primero en alguna realidad externa, compuesta por elementos separados espacialmente independientes. En su tesón por demostrar que la interpretación de Bohr sobre la teoría cuántica era incongruente, Einstein ideó un experimento, conocido como el experimento Einstein Podolsky-Rosen (EPR)<sup>2</sup>. Tres décadas más tarde, John Bell desarrolló un teorema basado en el experimento EPR, que prueba



que la existencia de variables locales ocultas es incongruente con las predicciones estadísticas de la teoría cuántica.<sup>3</sup> El teorema de Bell descargó un golpe contundente a la postura de Einstein, demostrando que el concepto de realidad como conjunto de partes separadas, unidas por conexiones locales, es incompatible con la teoría cuántica.

<sup>2</sup> Ver D. Boten, Quantum Theory (Prentice-Hall, New York, 1951 pág. 614.

<sup>3</sup> Ver H. P. Stapp op. cit.

En años recientes el experimento EPR ha sido de nuevo repetidamente discutido y analizado por físicos interesados en la interpretación de la teoría cuántica, pues es ideal para mostrar la diferencia entre los conceptos clásicos y los cuánticos.<sup>4</sup> Para la finalidad aquí perseguida será suficiente con describir una versión simplificada de dicho experimento, en la que intervienen dos electrones en rotación y que está basada en una extensa explicación dada por David Bohm.<sup>5</sup> Para comprender la esencia del asunto es necesario antes entender algunas de las propiedades de la rotación (o espín) del electrón. La imagen clásica de una pelota de tenis en rotación no es del todo apropiada para describir el giro de una partícula subatómica. De algún modo, el espín de la partícula es una rotación alrededor del propio eje de la partícula, pero, como siempre ocurre en física subatómica, este concepto clásico es bastante limitado. En el caso de un electrón su espín está restringido a dos valores: la cantidad de espín es siempre la misma, pero el electrón puede girar en una u otra dirección, en el sentido de las agujas del reloj o al contrario, pero siempre sobre un eje de rotación dado. Los físicos a veces indican estos dos valores del espín como "arriba" y "abajo".

<sup>4</sup> Ver, por ejemplo, B. d'Espagnat, The Quantum Theory and Reality Scientific American, Nov. 1979.

<sup>5</sup> D. Bohm, Quantum Theory pág. 614.

La principal propiedad de un electrón en rotación, que no puede entenderse en términos clásicos, es el hecho de que su eje de rotación no siempre puede ser definido con seguridad. Al igual que los electrones muestran tendencias a existir en determinados lugares, también muestran tendencias a girar sobre determinados ejes. Sin embargo, cada vez que se efectúe una medición del eje de rotación, el electrón se hallará girando en una u otra dirección, pero siempre con ese eje. En otras palabras, el acto de la reedición da a la partícula un eje determinado de rotación, pero antes de que la medición se realice, no puede decirse que gire alrededor de un eje determinado. simplemente tiene una cierta tendencia, o potencialidad, a hacerlo así.

Una vez entendido esto sobre el espín de electrón podemos examinar el experimento EPR y el teorema de Bell. En el experimento intervienen dos electrones rotando en direcciones opuestas, para que su espín total sea cero. Existen varios métodos experimentales para colocar dos electrones en esa situación, en que las direcciones de los espines individuales no se conocen con seguridad, pero el espín combinado de ambos electrones es definitivamente cero. Ahora, supongamos que estas dos partículas son impulsadas por separado mediante algún proceso que no afecte a sus rotaciones. A medida que se alejan en direcciones opuestas, su espín combinado seguirá siendo cero, y una vez separadas a una gran distancia, se miden sus espines individuales. Un aspecto importante del experimento es el hecho de que la distancia entre las dos partículas puede ser extraordinariamente grande; una partícula puede estar en Nueva York y la otra en París, o una en la Tierra y la otra en la Luna.

Supongamos ahora que el espín de la partícula 1 es medido a lo largo de un eje vertical y vemos que está "arriba". Dado que el espín combinado de las dos partículas es cero, esta medición nos dice que el espín de la partícula 2 debe estar "abajo". Así pues, al medir el espín de la partícula 1, obtenemos una medición indirecta del espín de la partícula 2 sin perturbar de ningún modo a esa partícula. El aspecto absurdo del experimento EPR es que el observador es libre de elegir el eje de medición. La teoría cuántica nos dice que las rotaciones de los dos electrones alrededor de cualquier eje serán siempre opuestas, pero existirán sólo como tendencias, o potencialidades, antes de que se haga la medición. Una vez que el observador haya elegido un eje determinado y haya realizado la medición, este acto dará a ambas partículas un eje determinado de rotación. El punto crucial es que podemos elegir nuestro eje de medición en el último minuto, cuando los electrones están ya muy separados. En el instante en que realicemos nuestra medición sobre la partícula 1, la partícula 2, que puede estar a kilómetros de distancia, adquirirá un espín definido a lo largo del eje elegido. ¿Cómo sabe la partícula 2 qué eje hemos escogido? No da tiempo a que reciba esa información mediante ninguna señal convencional.



Este es el punto clave del experimento EPR, y en esto es en lo que Einstein difería de Bohr. Según Einstein, dado que ninguna señal podía viajar a mayor velocidad que la de la luz, es imposible que la medición efectuada en un electrón determine instantáneamente la dirección del espín del otro electrón, a miles de kilómetros de distancia. Según Bohr el sistema bi-partícula forma un todo indivisible -aunque estas partículas se hallen separadas por una gran distancia-, y como un todo, no puede ser analizado en términos de partes independientes. Incluso si los dos electrones están muy separados en el espacio, estarán no obstante, unidos por conexiones instantáneas, no locales. Estas conexiones no son señales en el sentido einsteiniano; trascienden nuestras convencionales ideas sobre la transferencia de información. El teorema de Bell apoya la postura de Bohr y demuestra rigurosamente que el concepto de Einstein de una realidad física consistente en elementos independientes, separados espacialmente es incompatible con las leyes de la teoría cuántica. En otras palabras, el teorema de Bell demuestra que el universo está fundamentalmente interconectado, que es interdependiente e inseparable. Exactamente como el sabio budista Nagarjuna afirmaba, hace ya cientos de años:

*Las cosas derivan su ser y su naturaleza de su dependencia mutua y en sí mismas no son nada.*

Las investigaciones que actualmente se están realizando en física tienden hacia la finalidad de unificar las dos teorías básicas en una teoría completa de las partículas subatómicas. Todavía no ha sido posible formular esta teoría completa, pero tenemos varias teorías y modelos parciales que describen muy bien ciertos aspectos de los fenómenos subatómicos. En la actualidad existen en la física de las partículas dos tipos de teorías "cuántico-relativistas" que dan resultados satisfactorios en campos diferentes. Las primeras son el grupo de las teorías cuánticas del campo (ver cap. 14), que explican las interacciones electromagnéticas y las llamadas interacciones débiles; al segundo tipo pertenece la llamada teoría de matriz-S (ver cap. 17), que explica satisfactoriamente las interacciones fuertes. Un problema importante que aún está por resolver es la unificación de la teoría cuántica y la teoría general de la relatividad en una teoría cuántica de la gravedad. Aunque los recientes progresos habidos en las teorías de la "supergravedad"<sup>6</sup> pueden representar un paso hacia la solución de este problema, todavía no se ha encontrado ninguna teoría totalmente satisfactoria.

<sup>6</sup> Ver D. Z. Freedman y P. van Nieuwenhuizen, Supergravity and the Unification of the laws of Physics, Scientific American, Abril 1981).

Las teorías del campo cuántico, descritas con detalle en el capítulo 14, están basadas en el concepto del campo cuántico, ente fundamental que puede existir de forma continua, como campo, y en forma discontinua, como partículas, existiendo diferentes clases de partículas que se asocian con diferentes tipos de campos. Estas teorías han venido a sustituir la idea de las partículas como objetos básicos, por el concepto mucho más sutil de los campos cuánticos. No obstante, tratan también con entidades básicas y por lo tanto en cierto sentido, son teorías semi-clásicas, que no manifiestan la naturaleza cuántico-relativista de la materia subatómica en toda su extensión.

La electrodinámica cuántica, primera de las teorías del campo cuántico, debe su éxito al hecho de que las interacciones electromagnéticas son muy débiles y por ello hacen posible mantener en cierto grado, la distinción clásica entre la materia y las fuerzas de interacción. Lo mismo ocurre con las teorías del campo que tratan con interacciones débiles. De hecho, esta similitud entre las interacciones electromagnéticas y las débiles se ha visto recientemente muy reforzada con el desarrollo de un nuevo tipo de teorías del campo cuántico, llamadas teorías *gauge*, lo cual ha posibilitado la unificación de ambas interacciones. En la teoría unificada resultante - conocida como la teoría de Weinberg-Salam por los nombres de sus dos constructores principales. Steven Weinberg y Abdus Salam- las dos interacciones permanecen distintas, pero llegan a estar entrelazadas matemáticamente y se hace referencia a ellas de forma colectiva como interacciones "electrodébiles"<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Ver G. Hooft, Gauge Theories of the Forces between Elementary Particles, Scientific American (Junio, 1980).

El método de la teoría *gauge* se ha aplicado también a las interacciones fuertes mediante el desarrollo de una teoría del campo llamada cromodinámica cuántica (CDQ), y muchos físicos están ahora tratando de lograr la "gran unificación" de la CDQ con la teoría de Weinberg Salam.<sup>8</sup> Sin embargo, el empleo de la teoría *gauge* para describir las partículas de fuerte interacción es



bastante problemático. Las interacciones entre hadrones son tan fuertes, que la diferenciación entre partículas y fuerzas se hace borrosa y, por ello, la CDQ no ha tenido mucho éxito en la descripción de los procesos que incluyen partículas de interacción fuerte. Sólo funciona en unos pocos fenómenos muy especiales -los llamados procesos de dispersión "profundamente inelásticos"- en los que las partículas se comportan, por razones todavía no muy bien comprendidas, de un modo similar a como lo hacen los objetos clásicos. Pese a los muchos y grandes esfuerzos realizados, los físicos no han podido aplicar la CDQ más allá de esta estrecha gama de fenómenos, y las esperanzas que inicialmente despertó como estructura teórica para las propiedades de las partículas de interacción fuerte, hasta ahora, no han sido cumplidas.<sup>9</sup>

<sup>8</sup> Ver H. Georgi, A united Theory of Elementary Particles and Forces. S.A. Abril 1981.

<sup>9</sup> Ver Charm and Beyond Annual Review of Nuclear and Particle Science, 1978.

La cromodinámica cuántica es la formulación matemática actual del modelo del quark (ver cap. 16), considerándose los campos asociados con los quarks y refiriéndose el "cromo" a la propiedad de color de estos campos de quarks. Como todas las teorías *gauge*, la CDQ ha sido modelada a través de la electrodinámica cuántica (EDQ). Mientras que en la EDQ las interacciones electromagnéticas son mediadas por el cambio de fotones entre partículas cargadas eléctricamente, en la CDQ las interacciones fuertes son mediadas por el cambio de "gluones" entre quarks coloreados. Los gluones (del inglés "glue", cola) no son verdaderas partículas, sino una especie de cuantos que actúan como pegamento uniendo a los quarks para formar mesones y bariones.<sup>10</sup>

<sup>10</sup> H. Georgi, O P. cit.

Durante la última década el modelo del quark tuvo que ser desarrollado y refinado considerablemente pues se descubrieron muchas partículas nuevas en los experimentos de colisión con energías cada vez mayores. Como se describió en el capítulo 16, cada uno de los tres quarks postulados inicialmente y etiquetados con los calificativos de "arriba", "abajo" y "extraño", fue necesario ser considerado en tres colores diferentes, apareciendo luego un cuarto quark, también en tres colores, que fue etiquetado como "encanto". Más recientemente, dos nuevos calificativos fueron añadidos al modelo: "t" y "b" de *top* (el de arriba) y *bottom* (el de abajo) o, más poéticamente, de "true" (verdadero) y "beautiful" (hermoso), lo cual eleva el número total de quarks a dieciocho -seis calificativos o sabores y tres colores. Algunos físicos, y no me sorprende, han encontrado este elevado número de "ladrillos básicos" muy poco atractivo, sugiriendo que ha llegado el momento de pensar en un número más reducido de componentes "verdaderamente elementales" para los quarks...

Mientras toda esta teorización y construcción del modelo seguía, los experimentadores continuaron buscando tres quarks, pero jamás fueron capaces de detectar ninguno, y esta persistente ausencia de quarks libres se ha convertido en el principal problema del modelo del quark. En la estructura de la CDQ, a este fenómeno se le dio el nombre de confinamiento del quark, debido a la idea de que los quarks están, por alguna causa, permanentemente confinados dentro de los hadrones y por consiguiente nunca podrán ser vistos. Se han propuesto varios mecanismos que justifiquen el confinamiento de los quarks, pero hasta la fecha no se ha formulado ninguna teoría consistente al respecto.

Esta es, pues, la situación actual del modelo del quark: para justificar los modelos observados en el espectro del hadrón, serían necesarios, al menos, dieciocho quarks y ocho gluones; ninguno de éstos ha sido observado como partículas libres y su existencia como componentes físicos del hadrón llevaría a serias dificultades teóricas; se han desarrollado diversos mecanismos para explicar su permanente confinamiento, pero ninguno de ellos representa una teoría dinámica satisfactoria, mientras que la CDQ, la estructura teórica del modelo del quark, puede aplicarse sólo a una gama muy estrecha de fenómenos. Sin embargo, pese a todas estas dificultades, la mayoría de los físicos aún mantienen la idea de los "ladrillos básicos", tan profundamente arraigada en nuestra tradición científica occidental.

Los descubrimientos más impresionantes realizados en la física de las partículas, quizás hayan tenido lugar recientemente en la teoría de matriz-S y en el enfoque de la "tira de bota" (ver los capítulos 17 y 18), que no aceptan ningún tipo de entidades fundamentales, sino que intentan comprender la naturaleza mediante su auto-consistencia. En este libro he dejado claro que yo considero la filosofía de "la tira de bota" como la culminación del pensamiento científico actual, y he hecho hincapié también en que es la que más se acerca al pensamiento oriental, tanto en su



filosofía general como en su representación específica de la materia. Al mismo tiempo, constituye un enfoque muy difícil que es, en la actualidad, seguido por sólo una pequeña minoría de físicos. Para la mayor parte de los físicos, la filosofía de la "tira de bota" resulta demasiado extraña a sus formas tradicionales de pensamiento para que puedan apreciarla con seriedad, y esta falta de apreciación incluye también a la teoría de matriz-S. Resulta curioso y muy significativo, el hecho de que, pese a que los conceptos básicos de esta teoría son empleados por todos los físicos de las partículas cada vez que analizan los resultados de los experimentos de dispersión y los comparan con sus predicciones teóricas, ni siquiera un solo premio Nobel le ha sido concedido a ninguno de los sobresalientes físicos que en las últimas décadas contribuyeron al desarrollo de la teoría de matriz-S.

El mayor de los retos de la teoría de matriz-S y de la "tira de bota" ha sido explicar la estructura de las partículas subatómicas. Aunque nuestra actual comprensión del mundo subatómico excluye la existencia de quarks como partículas físicas, no hay duda que los hadrones presentan simetrías de quark que habrán de ser explicadas con alguna teoría sobre las interacciones fuertes. Hasta hace poco tiempo el enfoque de la "tira de bota" no podía explicar estas desconcertantes similitudes, pero en los últimos seis años se ha dado un mayor avance en la teoría de matriz-S. Así se ha llegado a una teoría de la "tira de bota" que puede explicar la estructura del quark sin necesidad de postular la existencia de quarks físicos. Además, la nueva teoría de la "tira de bota" arroja cierta luz sobre algunas cuestiones no comprendidas anteriormente".<sup>11</sup>

<sup>11</sup> F. Capra Quark Physics Without Quarks, American Journal of Physics, Enero 1979.

Para comprender la esencia de este nuevo descubrimiento es necesario aclarar el significado de la estructura del quark dentro del contexto de la teoría de matriz-S. Mientras que en el modelo del quark las partículas se representan esencialmente, como bolas de billar que contienen bolas de billar más pequeñas, el método de matriz-S, holístico y totalmente dinámico, considera las partículas como patrones de energía interrelacionados en un continuo proceso universal: como correlaciones, o interconexiones entre varias partes de un tejido cósmico inseparable. En esta estructura, el término "estructura del quark" se refiere al hecho de que la transmisión de energía y el flujo de información en esta red de sucesos transcurre por líneas bien definidas, produciendo la dualidad asociada con los mesones y la triplicidad asociada con los bariones. Este es el equivalente dinámico de la afirmación de que los hadrones se componen de quarks. En la teoría de matriz-S no existen entidades diferentes ni ladrillos básicos, tan sólo hay un flujo de energía que muestra ciertos modelos bien definidos.

Entonces la cuestión es: ¿cómo surgen los modelos concretos de quarks? El elemento clave de la nueva teoría de "la tira de bota" es la idea del orden como un aspecto nuevo e importante de la física de las partículas. Orden, en este contexto, quiere decir orden en la interconexión de los procesos subatómicos. Existen diversas formas en las que las reacciones de las partículas pueden interconectarse y, por consiguiente, podrán definirse distintas categorías de orden. El lenguaje de la topología -muy conocido por los matemáticos pero nunca antes aplicado a la física de las partículas- es el que se emplea para clasificar estas categorías de orden. Una vez incorporado este concepto del orden a la estructura matemática de la teoría de matriz-S, sólo unas pocas categorías especiales de relaciones ordenadas resultan ser compatibles con las propiedades conocidas de la matriz-S. Estas categorías de orden son precisamente los modelos de quarks observados en la naturaleza. Así pues, la estructura del quark aparece como una manifestación del orden y como una necesaria consecuencia de su consistencia, sin necesidad de postular a los quarks como componentes físicos de los hadrones.

La aparición del orden como concepto nuevo y central en la física de las partículas no sólo ha generado un mayor adelanto en la teoría de matriz-S, sino que puede tener consecuencias de gran alcance en la totalidad de la ciencia. En la actualidad, el orden en la física subatómica es aún algo misterioso y no del todo explorado. Sin embargo, es curioso advertir que, al igual que los tres principios de la matriz-S, la noción del orden juega un papel muy básico en ese enfoque científico de la realidad y constituye un aspecto crucial de nuestros métodos de observación. La capacidad de reconocer el orden parece ser un aspecto esencial de la mente racional, toda percepción de un modelo es, de alguna manera, la percepción de un orden. La clarificación del concepto de orden en un campo de investigación donde los esquemas de materia y mente están siendo reconocidos cada vez más como reflejos uno del otro, promete abrir fascinantes fronteras del conocimiento.

Según Geoffrey Chew, iniciador de la idea de la "tira de bota", y que ha sido la fuerza unificadora y el líder filosófico de la teoría de matriz-S durante las dos últimas décadas, la expansión del enfoque de la "tira de bota" más allá de los hadrones puede llevar a la posibilidad sin



precedentes de vemos obligados a incluir explícitamente en nuestras futuras teorías de la materia el estudio de la consciencia humana. Ese "paso futuro", escribía Chew, "sería algo inmensamente más profundo que cualquier otro componente de la "tira de bota" de los hadrones... Nuestro actual esfuerzo con la "tira de bota" puede por ello constituir sencillamente el anticipo de una forma completamente nueva del trabajo intelectual humano".

Desde que escribí estas palabras, hace casi quince años, los nuevos descubrimientos realizados en la teoría de matriz-S han llevado a Chew mucho más cerca de tratar con la consciencia de un modo explícito. Además, no es el único físico que se ha movido en esta dirección. Uno de los más emocionantes descubrimientos realizados en las últimas investigaciones ha sido una nueva teoría propuesta por David Bohm, el físico que quizás ha ido más lejos que ningún otro en el estudio de las relaciones existentes entre la consciencia y la materia, dentro de un contexto científico. El enfoque de Bohm es mucho más general y ambicioso que la actual teoría de matriz-S, y puede ser considerado como un intento de unir con la "tira de bota" el concepto de espacio-tiempo con otros conceptos básicos de la teoría cuántica, a fin de llegar a una teoría de la materia cuántico-relativista y congruente.<sup>12</sup>

<sup>12</sup> D. Rohm. Wholeness and the implicate Order, Routledge & Kegan Paul, London, 1980.

El punto de partida de Bohm, como ya indiqué en el capítulo 10 es la idea de una "totalidad irrompible" considerando que las conexiones no locales evidenciadas en el experimento EPR son un aspecto esencial de esa "totalidad". Las conexiones no locales parecen ser ahora la fuente de la formulación estadística de las leyes de la física cuántica, pero Bohm quiere ir más allá de la probabilidad y explorar el orden que él considera inherente al entretreído cósmico de relaciones a un nivel más profundo. "no manifestado". A esto le llama un orden "implícito" o "envuelto", en el que las interconexiones del conjunto no tienen nada que ver con la localización en el espacio y el tiempo, sino que exhiben una cualidad totalmente diferente: la de su "envoltura".

Bohm utiliza el holograma como una analogía para este orden implícito, por su propiedad de que cada una de las partes, en cierto sentido, contiene al conjunto.<sup>13</sup> Si se ilumina cualquier parte de un holograma, se reconstruirá la imagen completa, aunque muestre menos detalle que la imagen lograda con un holograma completo. En opinión de Bohm, el mundo real está estructurado según los mismos principios generales, estando el conjunto implícito en cada una de sus partes.

<sup>13</sup> La holografía es una técnica de fotografía sin lentes basada en la interferencia de las ondas luminosas. La fotografía resultante se llama "holograma".

Bohm se da cuenta de que la analogía del holograma es demasiado limitada para ser empleada como modelo científico del orden implícito a nivel subatómico, y a fin de expresar la naturaleza esencialmente dinámica de la realidad a este nivel ha inventado el término "holomovimiento" como base de todas las entidades manifestadas. El holomovimiento, según Bohm, es un fenómeno dinámico del que fluyen todas las formas del universo material. La finalidad de su enfoque es estudiar el orden implícito en este holomovimiento, no ocupándose de la estructura de los objetos, sino más bien de la estructura del movimiento, teniendo así en cuenta, tanto la unidad como la naturaleza dinámica del universo.

Según Bohm, el espacio y el tiempo son formas que fluyen del holomovimiento, hallándose también envueltos en su orden. Bohm cree que la comprensión del orden implícito no sólo llevará a una más profunda comprensión de la probabilidad en la física cuántica, sino que también hará posible hallar las propiedades básicas del espacio-tiempo relativista. De este modo, la teoría del orden implícito facilitaría una base común para la teoría cuántica y la teoría de la relatividad.

Para comprender el orden implícito, Bohm ha creído necesario considerar la consciencia como un rasgo esencial del holomovimiento y tenerla explícitamente en cuenta en su teoría. Considera a la mente y a la materia como interdependientes y correlacionadas, pero no conectadas causalmente. Ambas están mutuamente envolviendo proyecciones de una realidad superior, que no es ni materia ni consciencia.

En la actualidad, la teoría de Bohm se encuentra aún en etapa de ensayo y, aunque está desarrollando un formulismo matemático que incluye matrices y topología, la mayor parte de sus afirmaciones son más cualitativas que cuantitativas. No obstante, parece darse una intrigante relación, incluso en esta etapa preliminar, entre su teoría del orden implícito y la teoría de la "tira de bota" de Chew. Ambos enfoques están basados en la misma visión del mundo como un entretreído dinámico de relaciones. Los dos atribuyen un papel central al concepto del orden;



ambos utilizan matrices para representar el cambio y la transformación, y la topología para clasificar las categorías de orden.

Finalmente, ambos enfoques reconocen que la consciencia puede ser un aspecto esencial del universo que deberá ser incluido en la futura teoría de los fenómenos físicos. Esa teoría futura puede muy bien surgir de la fusión de las teorías de Bohm y Chew, pues ambas representan dos de los enfoques más imaginativos, más filosóficos y más profundos efectuados sobre la realidad física.

## **EL FUTURO DE LA NUEVA FISICA**

### **Apéndice a la tercera edición**

#### **LA VISION**

El origen del *Tao de la Física* fue una consecuencia de la magnífica experiencia que tuve en la playa de Santa Cruz durante el verano de 1969, ya descrita en la introducción.

Un año más tarde me fui de California para continuar mis investigaciones en el Imperial College de Londres. Con la intención de ilustrar mi experiencia de la danza cósmica habida en la playa, antes de partir diseñé un fotomontaje que representaba a Shiva danzando, superpuesto sobre los rastros de las partículas que colisionan en el interior de una cámara de burbujas. Esta hermosa imagen simbolizaba para mí los paralelismos existentes entre la física y el misticismo, que justamente estaba yo entonces empezando a descubrir. Un día, a finales de 1970, sentado en mi apartamento cercano al Imperial College de Londres, contemplaba el cuadro, cuando de pronto tuve una clara visión. Supe con una certeza total que *algún* día los paralelismos existentes entre la física moderna y el misticismo oriental serían del conocimiento público y también sentí que mi posición personal era muy favorable para explorar dichos paralelismos en profundidad y para escribir un libro sobre ellos.

Cinco años más tarde, en el otoño de 1975, el *Tan de la Física* era publicado por Wildwood Mouse de Londres, en Enero de 1976 lo fue en Estados Unidos por Shambala Publications. Ahora, quince años más tarde, quiero efectuar algunas preguntas: ¿Se ha convertido mi visión en realidad? ¿Son hoy en día los paralelismos existentes entre la física moderna y el misticismo oriental del conocimiento público, o al menos, llevan camino de serlo? ¿Sigue siendo válida mi tesis inicial, o necesita ser reformulada? ¿Cuáles han sido las principales críticas efectuadas a esa tesis y cómo respondería yo a ellas hoy? Y finalmente: ¿Cuál es hoy mi punto de vista, cómo evoluciona y dónde creo yo que está el mayor potencial para futuros trabajos en este sentido? En este epílogo, voy a presentarles mis respuestas a estas preguntas, del modo más cuidadoso y honesto que pueda.

#### **IMPACTO DEL LIBRO**

Durante estos quince años el *Tao de la Física* ha sido acogido con un entusiasmo que sobrepasó mis más audaces expectativas. Al escribirlo, algunos amigos de Londres me decían que una venta de diez mil ejemplares suponía ya un gran éxito, mientras tanto yo secretamente soñaba que tal vez se podrían vender cincuenta mil. Hoy, la cifra de ventas supera ya el millón de ejemplares en todo el mundo. El libro ha sido traducido a más de una docena de idiomas diferentes, estando en marcha otras traducciones. Todas sus ediciones se siguen vendiendo bien.

Esta tremenda respuesta tuvo un fuerte impacto en mi vida. Durante estos quince años he viajado extensamente, he dado conferencias ante públicos profesionales y profanos en Estados Unidos, en Europa y en Asia y he comentado las implicaciones de la "nueva física" con hombres y mujeres de todos los estratos. Estas conversaciones me han ayudado enormemente a entender el amplio contexto cultural de mi trabajo y ahora creo que precisamente ese contexto constituye el principal motivo de la entusiasta acogida que recibió. Una y otra vez, he sido testigo de la gran respuesta que tanto el libro como mis conferencias han causado en la gente. Una y otra vez, hombres y mujeres me escriben o se acercan a mí después de mi conferencia para decirme: "Ha expresado usted algo que yo sentía desde hace ya mucho tiempo, sin haber sido nunca capaz de ponerlo en



palabras". Generalmente no se trata de científicos, tampoco de místicos, sino de gente normal, y sin embargo, extraordinaria: artistas, abuelas, hombres de negocios, maestros, granjeros, enfermeras, gentes de todas las edades, tanto jóvenes como mayores de cincuenta años. Algunos de ellos bastante mayores y entre las más emotivas cartas que recibí están las de hombres y mujeres mayores de setenta años, mayores de ochenta y en dos o tres casos, mayores de noventa.

¿Qué fibra hizo vibrar el *Tao de la Física* en todas esas personas? ¿Qué hay en el libro que ellos mismos hayan experimentado también? Creo que el reconocimiento de los paralelismos existentes entre la moderna física y el misticismo oriental constituye una parte de un movimiento mucho mayor, de un cambio fundamental en nuestros puntos de vista sobre el mundo o paradigmas, tanto en la ciencia como en la sociedad, cambio que está teniendo lugar en la actualidad tanto en Europa como en Norteamérica y que nos lleva a una profunda transformación cultural. Esa transformación, ese profundo cambio de consciencia, es lo que tantas personas han sentido de un modo intuitivo durante las pasadas dos o tres décadas y éste es el motivo por el que el *Tao de la Física* ha hecho vibrar unas cuerdas tan generadoras de respuestas.

### **EL CAMBIO DE PARADIGMA**

En mi segundo libro *El Punto Crucial* exploré las implicaciones sociales del actual cambio de paradigmas. Mi punto de partida para esta exploración fue el convencimiento de que los principales problemas de nuestro tiempo -la amenaza de la guerra nuclear, la devastación de nuestro medio ambiente, nuestra incapacidad para acabar con la pobreza y el hambre en el mundo, por nombrar sólo los más urgentes- constituyen todos facetas de una misma y única crisis, que básicamente es una crisis de percepción. Se deriva del hecho de que la mayoría de nosotros -y especialmente nuestras más grandes instituciones sociales- apoyamos los conceptos y valores de una visión del mundo obsoleta, apoyamos a un paradigma que es inadecuado para tratar con los problemas de nuestro sobrepoblado y mundialmente interconectado mundo. Al mismo tiempo, tanto investigadores en la vanguardia de la ciencia, como diversos movimientos sociales y numerosas agrupaciones alternativas están desarrollando una nueva visión de la realidad que formará la base de nuestra futura tecnología, de nuestro sistema económico y de nuestras instituciones sociales.

Este paradigma que ahora está en retirada ha dominado nuestra cultura durante varios cientos de años, durante los que ha modelado nuestra sociedad occidental y ha tenido una significativa influencia sobre el resto del mundo. Este paradigma consiste en un cierto número de ideas y de valores, entre ellos el concepto del universo como un sistema mecánico compuesto de "ladrillos" elementales y básicos, el concepto del cuerpo humano como una máquina, el concepto de la vida como una competitiva lucha por la existencia, la creencia en un ilimitado progreso material que puede ser alcanzado mediante el crecimiento económico y tecnológico, y por último -aunque no lo menos importante- la creencia en que una sociedad en la que la mujer está en todos los aspectos sometida al hombre, es algo "natural". Durante las últimas décadas, todas estas suposiciones han comenzado a considerarse muy limitadas y muy necesitadas de una radical revisión.

Esta revisión ya está, en realidad, teniendo lugar. El nuevo paradigma que está ahora apareciendo puede ser descrito de diversas maneras. Podría denominarse un concepto holístico del mundo, una concepción del mundo que lo considera más como un todo integrado que como una reunión de sus partes. También podría denominarse un concepto ecológico del mundo y éste es el término que yo prefiero. Empleo el término "ecológico" con un sentido más amplio y profundo del que normalmente se le confiere. La consciencia ecológica en este sentido profundo reconoce la interdependencia fundamental de todos los fenómenos y la integración de los individuos y las sociedades en los procesos cíclicos de la naturaleza. Esta profunda consciencia ecológica está ya apareciendo en diversas áreas de nuestra sociedad, tanto dentro como fuera del ámbito de la ciencia.

El paradigma ecológico es apoyado por la ciencia moderna, pero su raíz se halla en una percepción de la realidad que va más allá del esquema científico y que es consciente de la singularidad de toda vida, de la interdependencia de sus múltiples manifestaciones, y de sus ciclos de cambio y transformación. En definitiva, esta profunda consciencia ecológica es la consciencia espiritual. Cuando se comprende el concepto del espíritu humano como el modo de consciencia en que el individuo se siente unido al cosmos como un todo, queda claro que la consciencia ecológica es espiritual en su esencia más profunda, no sorprendiendo entonces, que la nueva visión de la realidad se encuentre en total armonía con las tradiciones espirituales



Así, ahora puedo exponer con claridad el contexto más extenso de *El Tao de la Física*. La nueva física es parte integral de una nueva visión del mundo que está ahora apareciendo en todas las ciencias y también en la sociedad. Se trata de una visión del mundo, es una visión del mundo ecológica, basada, en definitiva, en la consciencia espiritual. Por consiguiente, no es sorprendente que el nuevo paradigma, tal como se manifiesta en la física y en las demás ciencias, esté en armonía con muchas ideas de las tradiciones espirituales.

De este modo, mi tesis original, es aún válida e incluso ha quedado más clara al ser reformulada y expuesta en un contexto conceptual más amplio. Al mismo tiempo, ha sido confirmada por recientes progresos habidos en todas las ciencias, especialmente en biología y psicología, estando de este modo en la actualidad, mucho más firme. Cada vez es más evidente que el misticismo, o la filosofía eterna, como algunas veces se llama, constituye el más consistente fondo filosófico para el nuevo paradigma científico.

Sin embargo, este punto de vista no es todavía generalmente reconocido, pero se está extendiendo, tanto dentro como fuera de la ciencia. En la misma onda que *El Tao de la Física* se han publicado, al menos, una docena de libros, con bastante éxito, sobre las relaciones existentes entre la ciencia moderna y las tradiciones místicas, y se han celebrado vanas conferencias internacionales importantes sobre este tema en las que intervinieron distinguidos científicos, entre ellos varios a quienes les ha sido concedido el premio Nobel, al igual que eminentes representantes de las tradiciones espirituales. Mi mensaje original ha sido inmensamente ampliado con todos estos acontecimientos.

### **INFLUENCIA DE HEISENBERG Y CHEW**

Quisiera ahora volver al nuevo paradigma de la ciencia y comentar sus principales características. Recientemente he intentado identificar un conjunto de criterios para el nuevo paradigma en su aplicación científica. Sugiero seis criterios: los dos primeros se refieren a nuestra visión de la naturaleza, los otros cuatro a nuestra epistemología. Creo que estos seis criterios son características comunes al pensamiento del nuevo paradigma en todas las ciencias, pero dado que esto es un epílogo a *El Tao de la Física*, los ilustraré con ejemplos de la física, mencionando brevemente cómo se reflejan en las tradiciones del misticismo oriental.

Antes de tratar estos seis criterios quiero reconocer con enorme gratitud la deuda que tengo con dos notables físicos que han sido mis principales fuentes de inspiración, influenciando de una manera decisiva mi pensamiento científico: Werner Heisenberg y Geoffrey Chew. Siendo un joven estudiante leí el clásico libro de Heisenberg sobre la historia y la filosofía de la física cuántica: *La Física y la Filosofía* el cual ejerció sobre mí una enorme influencia. Este libro ha sido mi compañero inseparable durante todos mis estudios y mi trabajo como físico y hoy, soy consciente de que fue Heisenberg quien sembró la semilla del *Tao de la Física*. Tuve la suerte de conocer a Heisenberg a principios de la década de los setentas. Mantuvimos largas conversaciones y una vez terminado *El Tao de la Física* lo repasé con él, un capítulo tras otro. Fue el apoyo y la inspiración personal de Heisenberg lo que me hizo soportar aquellos difíciles años, cuando me decidí a desarrollar una idea radicalmente nueva.

Geoffrey Chew pertenece a una generación diferente a la de Heisenberg y los demás grandes fundadores de la física cuántica pero no tengo la más mínima duda de que los futuros historiadores de la ciencia considerarán su contribución a la física del siglo XX tan significativa como la de ellos. Al igual que Einstein revolucionó el pensamiento científico con su teoría de la relatividad y Bohr y Heisenberg lo hicieron con su interpretación de la mecánica cuántica introduciendo cambios tan radicales que incluso Einstein se negó a aceptarlos, Chew ha dado el tercer revolucionario paso en la física del siglo XX. Su teoría de la "tira de bota" unifica la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica en una teoría que representa un radical rompimiento con todo el enfoque occidental hacia la ciencia básica.

Desde que conocí a Chew hace ya más de veinte años me sentí fascinado por su teoría y por su filosofía de la ciencia y he tenido la suerte de mantener una estrecha relación y un continuo intercambio de ideas con él. Nuestras frecuentes conversaciones han sido fuente de constante inspiración para mí y han dado forma, de manera definitiva a toda mi visión de la ciencia.

### **PENSAMIENTO DEL NUEVO PARADIGMA EN LA CIENCIA**



Permítanme ahora volver a mis seis criterios sobre el pensamiento del nuevo paradigma en la ciencia. El primer criterio se refiere a la relación existente entre la parte y el todo. En el paradigma clásico y mecanicista de la ciencia se creía que en cualquier sistema complejo la dinámica del todo podía ser comprendida partiendo de las propiedades de las partes. Una vez conocidas las partes - sus propiedades fundamentales y los mecanismos a través de los que interactúan- se podía inferir, al menos en principio, la dinámica del conjunto. Así, la norma era: para comprender cualquier sistema complejo, es necesario descomponerlo en sus partes integrantes. Tales partes en sí mismas no podían ser explicadas más que descomponiéndolas en partes más pequeñas. Por mucho que se continúe con este proceso, siempre acabaremos, en algún punto, topándonos con los ladrillos básicos: elementos, sustancias, partículas, y así sucesivamente, cuyas propiedades no será ya posible explicar. Partiendo de esos ladrillos básicos y de sus leyes fundamentales de interacción, se pasaría entonces a elaborar el conjunto más amplio, la totalidad, tratando de explicar su dinámica en función de las propiedades de las partes componentes. Esta visión fue iniciada por Demócrito en la antigua Grecia y tal fue el proceso formalizado por Descartes y Newton, que constituyó el punto de vista científico oficial hasta el siglo XX.

En el nuevo paradigma, la relación entre las partes y el todo es más simétrica. Creemos que aunque ciertamente las propiedades de las partes contribuyen a nuestra comprensión del todo, al mismo tiempo, esas propiedades de las partes sólo podrán ser totalmente comprendidas a través de la dinámica de la totalidad. La totalidad es lo primario, y una vez comprendida su dinámica, de ella se podrán inferir, al menos en principio, las propiedades y los patrones de interacción de las partes. Este cambio en la relación entre la parte y la totalidad tuvo lugar dentro del campo científico, primero en la física, con el desarrollo de la teoría cuántica. En aquellos años, los físicos descubrieron con gran asombro que el concepto de parte -tal como átomo o partícula- en el sentido clásico no podía ya seguir siendo utilizado. La parte había dejado de estar perfectamente definida y mostraba propiedades diferentes, dependiendo del contexto experimental.

Poco a poco, los físicos comenzaron a darse cuenta de que la naturaleza, en el nivel atómico, no se presenta como un universo mecánico compuesto de ladrillos básicos, sino más bien como una red de relaciones, y que, finalmente, en esta telaraña interconectada, no existen en absoluto partes. De cualquier modo que la queramos llamar, una parte no es más que un modelo que presenta cierta estabilidad y, por lo tanto, capta nuestra atención. Heisenberg quedó tan impresionado por la nueva relación entre la parte y el conjunto, que la utilizó como título para su autobiografía: *Der Teil und das Ganze*.

La consciencia de la unidad e interrelación mutua de todas las cosas y acontecimientos, la experiencia de todos los fenómenos como manifestaciones de una unidad básica es también la característica más común de la visión oriental del mundo. Podría decirse que constituye la propia esencia de dicha visión del mundo, al igual que de todas las tradiciones místicas. Todas las cosas se ven como interdependientes, inseparables, y como modelos transitorios de la misma realidad última.

El segundo criterio del nuevo paradigma en cuanto al pensamiento de la ciencia tiene que ver con un cambio de pensar en función de la estructura, a pensar en función del proceso. En el antiguo paradigma se creía que existían estructuras fundamentales y, después, fuerzas y mecanismos a través de los cuales éstas interactuaban, lo que originaba los diferentes procesos. En el nuevo paradigma, pensamos que el proceso es lo primario, lo básico, y que cada estructura observada es una manifestación de un proceso subyacente.

Esta forma de pensar sobre los procesos llegó a la física con la teoría de la relatividad de Einstein. El reconocimiento de que la masa es una forma de energía eliminó de la ciencia el concepto de sustancia material, y con ello también el de una estructura fundamental. Las partículas subatómicas no están hechas de algún tipo de material sino que son modelos de energía. La energía, sin embargo, está relacionada con la actividad y con los procesos, y esto implica que la naturaleza de las partículas subatómicas sea, intrínsecamente, dinámica. Al observarlas, no vemos sustancia alguna ni tampoco estructura fundamental. Todo lo que vemos son modelos dinámicos que cambian continuamente uno dentro del otro, una continua danza de energía.

Esta idea de proceso es también una de las principales características de las tradiciones místicas orientales. La mayoría de sus conceptos, imágenes y mitos incluyen el tiempo y el cambio como elementos esenciales. Cuanto más se estudian los textos hindúes, budistas y taoístas, más evidente se hace que en todos ellos el mundo es concebido en función del movimiento, del flujo y del cambio. En realidad, fue la imagen de la danza cósmica de Shiva, en la que todas las formas se crean y se disuelven continuamente, la que me abrió los ojos a los paralelismos existentes entre la física moderna y el misticismo oriental.



En la física moderna, la imagen del universo considerado como una máquina ha sido sustituida por la de un conjunto dinámico e interconectado, cuyas partes son, esencialmente interdependientes y han de ser comprendidas como modelos de un proceso cósmico. Para definir un objeto en esta telaraña de relaciones interconectadas, nos tenemos que abrir camino entre las interconexiones - tanto conceptual como físicamente, mediante nuestros instrumentos de observación- y, al hacerlo, aislamos ciertos modelos y los interpretamos como objetos. Diferentes observadores podrán hacerlo de diferentes maneras. Por ejemplo, cuando se identifica un electrón, puede hacerse a través de algunas de sus conexiones con el resto del mundo, de distintas formas, empleando diferentes técnicas de observación. De acuerdo con ello, el electrón puede aparecer como una partícula o puede aparecer como una onda. Lo que veamos dependerá de cómo miremos.

Fue Heisenberg quien descubrió el papel crucial desempeñado por el observador en la física cuántica. Según Heisenberg, nunca podemos hablar de la naturaleza sin, al mismo tiempo, hablar de nosotros mismos. Y este será mi tercer criterio sobre el concepto del nuevo paradigma de la ciencia. Creo que es válido para toda la ciencia moderna, y deseo llamarlo: el paso de la ciencia objetiva a la ciencia *epistémica*. En el antiguo paradigma, se creía que las descripciones científicas eran objetivas, es decir, independientes del observador humano y del proceso del conocimiento. En el nuevo paradigma, creemos que la epistemología -la comprensión del proceso del conocimiento- debe ser incluida explícitamente en la descripción de los fenómenos naturales. En este punto, no existe un consenso entre los científicos sobre cuál es la epistemología apropiada, pero sí existe un acuerdo emergente en el sentido de que la epistemología tendrá que formar parte integral de toda teoría científica.

La idea de que el proceso del conocimiento constituye una parte integral de nuestra comprensión de la realidad, es bien conocida por todo estudiante de misticismo. El conocimiento místico nunca podrá lograrse mediante una observación desapegada y objetiva, pues siempre exige una participación total, con todo nuestro ser. De hecho, los místicos van mucho más allá de la postura de Heisenberg. En la física cuántica no es posible ya separar al observador de lo observado, pero ambos son todavía perfectamente distinguibles, sin embargo los místicos en meditación profunda, llegan a un punto en el que la distinción entre lo observado y el observador desaparece totalmente, un punto en el que el sujeto se funde con el objeto.

El cuarto criterio sobre el pensamiento del nuevo paradigma es, tal vez, el más profundo de todos y el que más difícil resultará a los científicos habituarse a él. Se refiere a la antigua metáfora del conocimiento como un edificio.

Los científicos hablan de leyes *fundamentales*, refiriéndose al *fundamento*, o base, del edificio del conocimiento. El conocimiento debe ser edificado sobre cimientos sólidos y firmes. Existen unos *ladrillos elementales* con los que está construida la materia, existen ecuaciones *fundamentales*, constantes fundamentales, principios *fundamentales*. Esta metáfora del conocimiento como un edificio con sólidos cimientos ha sido empleada por la ciencia y la filosofía occidental durante miles de años.

Sin embargo los cimientos del conocimiento científico, no siempre se han mantenido sólidos. Han variado con frecuencia, y en varias ocasiones se han hecho completamente añicos. Cada vez que tienen lugar grandes revoluciones científicas, se sienten tambalear los cimientos de la ciencia. Descartes escribió en su celebrado *Discurso del Método* sobre la ciencia de su tiempo: "Considero que nada sólido puede edificarse sobre unos cimientos tan movedizos". Descartes, se dispuso entonces a edificar una nueva ciencia sobre cimientos firmes, pero trescientos años más tarde, Einstein en su autobiografía, escribía el siguiente comentario sobre el desarrollo de la física cuántica: "Era como si quitaran la tierra de bajo mis pies, sin ver en lugar alguno cimientos firmes sobre los que poder edificar".

Así, una y otra vez, a lo largo de la historia de la ciencia se ha tenido la sensación de que los cimientos del conocimiento se tambaleaban, o incluso se derrumbaban. El actual cambio de paradigma en la ciencia vuelve a evocar tales sentimientos, pero puede que ésta sea la última vez; no porque ya no vaya a haber más progresos o más cambios sino porque en el futuro no habrá cimientos. Quizás en la ciencia futura no creamos necesario edificar nuestros conocimientos sobre unos cimientos firmes, y entonces sustituyamos la metáfora de los cimientos por la metáfora de la red o de la telaraña. Al igual que vemos la realidad que nos rodea como una red de relaciones, también nuestras descripciones, nuestros conceptos, modelos y teorías formarán una red interconectada que representará a los fenómenos observados. En dicha red, no habrá nada primario ni secundario, no habrá cimientos.

La nueva metáfora del conocimiento como una red sin cimientos firmes es extremadamente incómoda para los científicos. Esto lo afirmó explícitamente por vez primera Geoffrey Chew hace treinta años en la llamada teoría de la "tira de bota". Según esta teoría la naturaleza no puede ser



reducida a entidades fundamentales, como ladrillos básicos de la materia, sino que ha de ser entendida en su totalidad, a través de la autoconsciencia. Las cosas existen en virtud de sus relaciones mutuas, y toda la física ha de seguir únicamente el requisito de que sus componentes sean congruentes unos con otros y también con ellos mismos.

Durante los últimos treinta años, Chew ha utilizado el método de la "tira de bota" para desarrollar, junto con sus colaboradores, una teoría comprensiva de las partículas subatómicas, y al mismo tiempo una filosofía más general de la naturaleza. Esta teoría de la "tira de bota" no sólo abandona la idea de los ladrillos básicos, componentes fundamentales de la materia, sino que no acepta entidad fundamental de ningún tipo -ya sean constantes, leyes o ecuaciones fundamentales. Ninguna de las propiedades de una parte de este entramado es fundamental; todas ellas dependen de las propiedades de las otras partes, y la consistencia total de sus interrelaciones determinará la estructura de todo el entramado.

El hecho de que la filosofía de la "tira de bota" no acepte entidades fundamentales la convierte, en mi opinión, en uno de los sistemas más profundos del pensamiento occidental. Al mismo tiempo, resulta tan extraña a nuestras formas de pensamiento científico tradicionales que sólo es seguida por una pequeña minoría de físicos. Sin embargo, en el pensamiento oriental la negativa a aceptar entidades fundamentales es bastante común, sobre todo en el budismo. En realidad, podría decirse que el contraste entre "fundamentalistas" y partidarios de la "tira de bota" en la física de partículas tiene su paralelo en el contraste que se da entre las corrientes imperantes del pensamiento oriental y occidental. La reducción de la naturaleza a sus fundamentos básicos es un procedimiento griego, que surgió en la filosofía griega junto con el dualismo entre el espíritu y la materia. La visión del universo como un entramado de relaciones sin entidades fundamentales, por otro lado, es una característica del pensamiento oriental. Halló su más clara expresión y su elaboración más trascendental en el budismo Mahayana, y cuando yo escribí *El Tao de la Física* hice que su punto final fuera la estrecha correspondencia existente entre la física de la "tira de bota" y la filosofía budista.

Estos cuatro criterios sobre el pensamiento del nuevo paradigma que he presentado hasta aquí son todos independientes. La naturaleza es vista como una red dinámica de relaciones interconectadas que incluye al observador humano como componente integral. Las partes de esta red son modelos estables sólo relativamente. Del mismo modo, los fenómenos naturales son descritos en función de una red análoga de conceptos, en los que ninguna parte es más fundamental que otra.

Este nuevo esquema conceptual suscita de entrada una importante pregunta. Si todo se halla conectado con todo lo demás, ¿cómo vamos a entender alguna vez algo? Dado que todos los fenómenos naturales están, en definitiva, interconectados, para explicar cualquiera de ellos tendremos que comprender a todos los demás, lo cual, obviamente, es imposible. Lo que convierte a la filosofía de la "tira de bota" en una teoría científica es el hecho de que pueda existir un conocimiento aproximado. Si resulta satisfactoria una comprensión aproximada de la naturaleza, podremos de este modo describir grupos de fenómenos, omitiendo otros fenómenos menos relevantes. Así, muchos fenómenos pueden ser explicados en función de unos cuantos y, de este modo, podemos entender de forma aproximada diferentes aspectos de la naturaleza sin tener que comprender todo de una vez.

Esta percepción es crucial en toda la ciencia moderna y representa mi criterio número cinco: el cambio desde una verdad absoluta a unas descripciones aproximadas. El paradigma cartesiano estaba basado en una creencia total en la seguridad del conocimiento científico, claramente establecida por Descartes. En el nuevo paradigma se reconoce que todas las teorías y conceptos científicos, son limitados y aproximados. La ciencia nunca podrá darnos una comprensión completa y definitiva. Los científicos no tratan con la verdad (en el sentido de una exacta correspondencia entre su descripción y los fenómenos descritos) sino con descripciones limitadas y aproximadas de la realidad. La más hermosa expresión que he hallado de este criterio es de Louis Pasteur: "La ciencia avanza a través de respuestas tentativas a una serie de preguntas cada vez más sutiles, que penetran cada vez más en la esencia de los fenómenos naturales".

Es interesante comparar de nuevo esta actitud científica moderna con las actitudes de los místicos, y aquí encontramos una de las más significativas diferencias entre los científicos y los místicos: Los místicos, generalmente, no se interesan en el conocimiento aproximado. Lo que desean es el conocimiento absoluto, que implica la comprensión de la totalidad de la existencia. Siendo conscientes de la interrelación esencial existente entre todos los aspectos del universo, se dan cuenta de que explicar algo significa, finalmente, mostrar cómo está conectado con todo lo demás. Al resultar esto imposible, los místicos insisten con frecuencia en que ningún fenómeno



aislado puede ser explicado en su totalidad. En general no se interesan demasiado en dar explicaciones sino en la experiencia directa y no intelectual de la unidad de todo.

Mi último criterio, finalmente, no expresa una observación sino más bien una defensa. Creo que la supervivencia humana frente a la amenaza del holocausto nuclear y de la devastación de nuestro medio ambiente natural sólo será posible si somos capaces de modificar, de forma radical, los métodos y los valores en los que nuestra ciencia y nuestra tecnología están basadas. Como último criterio, abogo por el cambio desde una actitud de dominio y control de la naturaleza, incluidos los seres humanos, a una actitud de cooperación y de no violencia.

Nuestra ciencia y nuestra tecnología están basadas en la creencia de que la comprensión de la naturaleza implica su dominio por parte del hombre. Aquí utilizo la palabra hombre a propósito, pues estoy hablando de una conexión muy importante entre la visión mecanicista del mundo por parte de la ciencia y el sistema patriarcal de valores: la tendencia masculina a querer controlarlo todo. En la historia de la ciencia y la filosofía occidentales esta conexión fue personificada por Francis Bacon, quien, en el siglo XVII, defendió el nuevo método empírico con términos apasionados y, a veces francamente perversos. La naturaleza ha de ser "perseguida en sus errabundeos", escribió Bacon, "obligada al servicio" y "esclavizada". Se la debe "meter en cintura" y la meta del científico es "torturarla hasta que revele sus secretos". Estas violentas imágenes de la naturaleza como si fuera una mujer a quien hubiera que torturar para que revelase sus secretos con la ayuda de dispositivos mecánicos, nos recuerda a las torturas de mujeres durante los juicios por brujería que se celebraban en aquel siglo XVII, juicios con los que Bacon estaba muy familiarizado, pues fue juez general del rey James I. Se trata de una relación crucial y temible entre la ciencia mecanicista y los valores patriarcales, que tuvo un tremendo impacto en el desarrollo posterior de la ciencia y de la tecnología.

Antes del siglo XVII, los fines de la ciencia eran la sabiduría, la comprensión del orden natural y el logro de vivir en armonía con dicho orden. En el siglo XVII esta actitud, que podríamos llamar ecológica, cambió al signo opuesto. Desde Bacon, el fin de la ciencia ha sido el conocimiento, que suele ser utilizado para dominar y controlar a la naturaleza, y hoy, la ciencia y la tecnología se emplean principalmente para propósitos peligrosos, dañinos y antiecológicos.

Este cambio de visión del mundo que ahora está teniendo lugar tendrá que incluir forzosamente un profundo cambio de valores: en realidad, un cambio completo de intención pasando del intento de dominar y controlar la naturaleza a una actitud de cooperación y de no-violencia. Este tipo de actitud profundamente ecológica es la actitud característica de las tradiciones espirituales. Los antiguos sabios chinos lo expresaron de forma muy bella: "Quienes siguen el orden natural, siguen la corriente del Tao".

## **CRITICAS AL TAO DE LA FISICA**

Me gustaría continuar comentando las críticas que ha tenido *El Tao de la Física* a lo largo de todos estos años. Una pregunta que con frecuencia me hacen es: ¿cómo aceptaron mis colegas de la comunidad física la tesis básica del libro? Como se podría esperar, la mayoría de los físicos fueron muy desconfiados al principio y algunos incluso se sintieron amenazados por el libro. Los que se sintieron amenazados, reaccionaban de un modo típico: con ira. Solían hacer comentarios insultantes y bastante virulentos, bien en revistas o en conversaciones privadas, lo cual reflejaba su propia inseguridad.

La razón por la que *El Tao la Física* podría considerarse como una amenaza para ellos, estriba en una, muy extendida, mala interpretación sobre la naturaleza del misticismo. En la comunidad científica el misticismo ha sido, generalmente, concebido como algo vago, confuso, nebuloso y decididamente poco científico. Ver sus preciadas teorías comparadas con esa actividad vaga, confusa y sospechosa resultó, naturalmente, bastante amenazante para muchos físicos.

Esta apreciación errónea del misticismo es, ciertamente, muy lamentable, pues al hojear los textos clásicos de las tradiciones místicas, descubrimos que la profunda experiencia mística nunca es descrita como algo vago o confuso, sino, al contrario, siempre se asocia a la claridad. Las típicas metáforas que suelen describir dicha experiencia suelen ser: "levantar el velo de la ignorancia", "liberarse de la ilusión", "limpiar el espejo de la mente", "percibir la luz pura", "alcanzar la plena consciencia" -todas ellas implican iluminación, claridad. La experiencia mística trasciende el análisis intelectual, por eso su claridad es de un tipo diferente, sin embargo, no hay nada vago o confuso en estas experiencias. De hecho, la palabra *enlightenment* (iluminación), utilizada en los países de habla inglesa para describir al siglo XVII europeo, época del nuevo enfoque científico y



cartesiano, es uno de los términos más antiguos y más utilizados para describir la experiencia mística.

Afortunadamente, esta equivocada asociación del misticismo con cosas vagas y oscuras ya está cambiando. A medida que el pensamiento oriental ha empezado a interesar cada vez a más personas y la meditación ha dejado ya de ser considerada como algo ridículo o dudoso, el misticismo está siendo tomado más en serio, incluso entre la comunidad científica.

Permítanme ahora repasar algunas de las críticas más frecuentes efectuadas a *El Tao de la Física*, con las que he tropezado muchas veces durante los últimos quince años. Antes que nada, quiero decir que me complace que entre todas las críticas recibidas de compañeros físicos, en ninguna de ellas se haya encontrado defecto alguno en mi exposición de los conceptos de la física moderna. Algunos no están de acuerdo con la importancia que doy a ciertos trabajos actuales, pero, que yo sepa, nadie ha hallado errores en *El Tao de La Física*. Así que esa parte ha aguantado muy bien durante estos quince años.

Hay dos argumentos que se repiten más que ningún otro en las críticas efectuadas a mi tesis. El primero de ellos dice que los hechos científicos de hoy quedarán invalidados por las investigaciones de mañana. ¿Cómo, entonces, -pregunta dicha crítica- puede algo tan pasajero como un modelo o teoría de la física moderna compararse con la experiencia mística, que se supone atemporal y eterna? ¿No significaría ello que la verdad del misticismo permanecerá o se derrumbará según lo hagan las teorías de la física moderna?

Este argumento parece muy convincente, pero está basado en un concepto erróneo sobre la naturaleza de la investigación científica. Tiene razón en que en la ciencia no existe la verdad absoluta. Todas las afirmaciones científicas son descripciones limitadas y aproximadas, y estas descripciones aproximadas se van mejorando en trabajos posteriores y en pasos sucesivos. Sin embargo, cuando estas teorías o modelos son mejorados en pasos sucesivos, el conocimiento no cambia de forma arbitraria. Cada nueva teoría estará relacionada con la precedente de una forma bien definida, aunque, en el caso de una revolución científica esto puede no ser evidente durante cierto tiempo. La nueva teoría nunca invalida, la antigua de forma absoluta, sencillamente mejora su enfoque. Por ejemplo, la mecánica cuántica no vino a demostrar que la mecánica newtoniana estuviera equivocada, tan sólo demostró que la física newtoniana tenía ciertas limitaciones.

Ahora conviene advertir que, cuando una teoría se extiende a nuevos dominios, cuando la nueva teoría viene a mejorar el enfoque del tema, no se abandonan todos los conceptos de la antigua teoría. Y en mi opinión, precisamente los conceptos de nuestras teorías actuales que se relacionan con las ideas de las tradiciones místicas, son los que no quedarán invalidados, sino que permanecerán.

Y esto lo puedo aplicar incluso a la física newtoniana. Uno de los descubrimientos clave de Newton, tal vez su descubrimiento *clave* y por supuesto uno de los más famosos, fue el hecho de que existe un orden uniforme en el universo. Según cuenta la leyenda, Newton advirtió en un súbito instante de intuición, cuando una manzana cayó del árbol, que la fuerza que atrajo la manzana hacia la tierra es la misma fuerza que atrae a los planetas hacia el sol.

Ese fue el punto de partida de la teoría de la gravedad newtoniana, y esa idea -la existencia de un orden uniforme en el universo no quedó invalidada por la mecánica cuántica ni por la teoría de la relatividad. Al contrario, se vio confirmada e incluso potenciada por las nuevas teorías.

Del mismo modo, pienso que la unidad y la interrelación del universo y la naturaleza intrínsecamente dinámica de sus fenómenos naturales -los dos grandes temas de la física moderna- no quedaran invalidados por futuras investigaciones. Serán reformulados, y muchos conceptos de hoy, serán sustituidos mañana por un conjunto de conceptos diferentes. Pero, dicha sustitución tendrá lugar de manera ordenada, y los temas básicos que utilizo en mi comparación con las tradiciones místicas se impondrán, creo, en lugar de verse invalidados. Esta creencia mía ya se está confirmando, no sólo a través de los nuevos avances de la física, sino también mediante los significativos avances logrados por la biología.

La segunda crítica, que también he oído repetidas veces, sostiene que los físicos y los místicos hablan de dos mundos diferentes. Los físicos se ocupan de la realidad cuántica, algo sin conexión con los fenómenos cotidianos, mientras que los místicos se ocupan precisamente de fenómenos que tienen lugar a una escala mayúscula, de cosas que no tienen nada que ver con el mundo de los cuantos.

Bueno. Antes que nada hemos de darnos cuenta de que la realidad cuántica no está en absoluto desconectada de los fenómenos a gran escala. Por ejemplo, uno de los fenómenos físicos más importantes del mundo corriente, la solidez de la materia es consecuencia directa de ciertos efectos cuánticos. Por tanto, podemos confirmar este argumento diciendo que los místicos no se ocupan explícitamente de la realidad cuántica, mientras que los físicos sí.



En lo referente al concepto de dos mundos diferentes, mi punto de vista es que sólo hay un mundo -este imponente y misterioso mundo, como lo llama Carlos Castaneda- pero, esta única realidad tiene múltiples aspectos, múltiples dimensiones y niveles. Los físicos y los místicos se ocupan de aspectos distintos de la realidad. Los físicos exploran los niveles de la materia, los místicos los niveles de la mente. Lo que tienen en común sus exploraciones, en ambos casos, sobrepasa la percepción sensorial ordinaria. Y, como Heisenberg nos enseñó, si la percepción no es ordinaria, la realidad tampoco lo es.

De este modo, nos encontramos con físicos que experimentan las interioridades de la materia ayudados de sofisticados instrumentos y místicos que experimentan las interioridades de la consciencia con la ayuda de sofisticadas técnicas de meditación. Ambos alcanzan un nivel de percepción no ordinario, y en estos niveles no ordinarios los modelos y principios de organización que observan parecen ser muy similares. La forma en que los modelos submicroscópicos están interrelacionados para los físicos refleja el modo en que los modelos macroscópicos están interrelacionados para los místicos. Y solamente cuando aislamos esos modelos macroscópicos en nuestro modo de percepción ordinaria, los identificamos como objetos ordinarios e independientes.

Otra crítica, que con frecuencia se ha suscitado, se muestra de acuerdo en que los físicos y los místicos se aplican a niveles diferentes de la realidad, pero argumenta que el nivel de los místicos es espiritual, superior, y que incluye al nivel inferior en el que ocurren los fenómenos físicos, mientras que el nivel físico no incluye al espiritual.

Bueno. Para empezar, quisiera hacer la observación de que llamar superior a un nivel e inferior a otro es un residuo del pensamiento del antiguo paradigma -de nuevo la metáfora del edificio en lugar de la red. Sin embargo, estoy de acuerdo en que la física no tiene nada que decir sobre otros niveles, o dimensiones de la realidad -vida, mente, consciencia, espíritu, etc. La *física* no tiene nada que decir sobre estos niveles, pero la *ciencia* sí.

Creo que el nuevo paradigma de la ciencia, para el que propongo mis seis criterios, ha encontrado su más apropiada formulación en la nueva teoría de vivir, en los sistemas de autoorganización surgido a partir de la cibernética durante estas últimas décadas. Ilya Prigogine, Gregory Bateson, Humberto Maturana y Francisco Varela son algunos de los principales contribuyentes a esta teoría. Es una teoría que se aplica a organismos vivos individuales, a sistemas sociales y a ecosistemas, y promete llevarnos a una concepción unificada de la vida, de la mente, de la materia y de la evolución. El enfoque de estos sistemas confirma totalmente los paralelismos existentes entre la física y el misticismo y añade otros que van más allá del nivel de la física: el concepto del libre albedrío, los de la vida y la muerte, de la naturaleza de la mente, y otros más. Entre todos estos conceptos existe una profunda armonía, tal como se expresan en la teoría de los sistemas autoorganizados y sus correspondientes conceptos de las tradiciones místicas.

## **EVOLUCION ACTUAL Y POSIBILIDADES FUTURAS**

Así llegamos a la actual evolución y a las posibilidades futuras en la formulación de un nuevo paradigma científico. Desde que escribí *El Tao de la Física*, he sufrido un importante cambio de percepción en lo referente al papel de la física en esta evolución. Cuando empecé a estudiar el cambio de paradigma en las diversas ciencias, me di cuenta de que todo estaba basado en la concepción del mundo según la física newtoniana, y me pareció que la nueva física era el modelo ideal para los nuevos conceptos y métodos de otras disciplinas. Posteriormente, me he dado cuenta de que tal visión da a entender que el nivel físico es, de algún modo, más fundamental que otros. Hoy considero a la nueva física, y sobre todo la teoría de la "tira de bota", como un caso especial del enfoque de sistemas, que se ocupa de sistemas "no vivos". Aunque el cambio de paradigma en la física sigue teniendo un especial interés pues fue el primero en la ciencia moderna, la física ha perdido ya su papel como modelo para otras ciencias.

Por consiguiente, considero que la evolución futura de la tesis que presenté en *El Tao de la Física* no pasa tanto por posteriores exploraciones de los paralelismos existentes entre la física y el misticismo, como en la extensión de estos paralelismos a otras ciencias. En realidad, esto se ha efectuado ya, y desearía mencionar algunos de estos trabajos. En lo que atañe a las similitudes entre el misticismo y la neurociencia, la mejor fuente que yo conozco es Francisco Varela, uno de los iniciadores de la teoría de los sistemas autoorganizados. Varela, junto con Evan Thomson, está escribiendo un libro sobre la contribución que la teoría budista sobre la mente puede suponer para la ciencia cognoscitiva. Mientras tanto, su libro, *The Tree of Knowledge*, del que es coautor Humberto Maturana constituye la mejor exposición de sus ideas.



En psicología, se ha llevado a cabo un notable trabajo en la exploración de las dimensiones espirituales de la psicología transpersonal. Stanislav Grof, Ken Wilber, Frances Vaughan, y muchos otros han publicado libros sobre este tema, muchos de ellos antes que *El Tao de la Física*, sin olvidara Carl Gustav Jung.

En las ciencias sociales, la dimensión espiritual surgió con el ensayo de E. F. Schumacher "Economía Budista", publicado por primera vez a finales de los sesenta y que, desde entonces, ha sido explorado por muchos grupos y organizaciones alternativas, tanto en teoría como de un modo práctico. Estrechamente relacionada con estos movimientos, surgió una nueva forma de política orientada ecológicamente, conocida como política Verde, la cual considero como la manifestación política del cambio cultural hacia el nuevo paradigma. Los aspectos espirituales de este movimiento político, han sido tratados por Charlene Spretnak en su libro, *Dimensión Espiritual de la Política Verde*.

Finalmente, quisiera decir unas palabras sobre mi modo de ver el misticismo oriental, que también ha cambiado algo durante los últimos quince años. Ante todo, siempre estuvo claro para mí, y ya lo dije en *El Tao de la Física*, que los paralelismos del tipo que yo señalaba entre la física y el misticismo oriental podrían también aplicarse a las tradiciones místicas occidentales. Mi próximo libro *Belonging to the Universe*, del que es coautor el hermano David Steindl-Rast, trata algunos de estos paralelismos. Además, ya no creo que en Occidente podamos adoptar las tradiciones espirituales orientales sin modificarlas de manera muy significativa a fin de adaptarlas a nuestra cultura. Mis creencias se ven fortalecidas por las conversaciones que he mantenido con muchos maestros espirituales orientales, quienes no han podido comprender algunos aspectos cruciales del nuevo paradigma que está naciendo ahora en Occidente.

Por otro lado, creo también que nuestras propias tradiciones espirituales tendrán que sufrir algunos cambios radicales a fin de estar en armonía con los valores del nuevo paradigma. La espiritualidad que se corresponde a esta nueva visión de la realidad y que estoy aquí perfilando es muy posible que tenga un señalado carácter ecológico, orientada hacia la tierra y marcadamente postpatriarcal. Este tipo de espiritualidad está en la actualidad siendo desarrollada por diferentes grupos y movimientos, tanto dentro como fuera de las religiones. Un ejemplo sería la espiritualidad centrada en la creación, promovida por Matthew Fox y sus colegas en el Holy Names College de Oakland, California.

Estos son tan sólo algunos ejemplos de la evolución del nuevo paradigma. Mi contribución ha sido ofrecer una síntesis de su aparición y sus implicaciones sociales en *El Punto Crucial* y refinar más esa síntesis en colaboración con algunos notables colegas con quienes fundé una central de pensamiento ecológico, el Elmwood Institute (P.O.Box 5765, Berkeley, CA 94705).

Durante estos años he conocido a muchas personas extraordinarias con quienes estoy en deuda. De estos encuentros nacieron muchas amistades duraderas. Cuando, hace ya más de veinte años decidí escribir *El Tao de la Física* inicié un camino que entrañaba considerables riesgos profesionales, emocionales y económicos. Inicié este camino solo, al igual que muchos de mis amigos y colegas que hicieron lo mismo en sus respectivos campos. Hoy todos nos sentimos mucho más fuertes. Estamos inmersos en múltiples movimientos alternativos que forman parte de lo que yo llamo la "cultura emergente", multitud de grupos que representan diferentes facetas de la misma nueva visión de la realidad y que gradualmente se van uniendo para formar una poderosa fuerza de transformación social.

## BIBLIOGRAFIA

- Alfven H., *Worlds-Antiworlds* W. H. Freeman, San Francisco, 1966.  
Ashvaghosha, *The Awakening of Faith*, trans. D. T. Suzuki (Open Court, Chicago, 1900).  
Aurobindo, *Guía del Yoga Integral* (Plaza Janés, col. Realismo Fantástico, Barcelona, 1982).  
- *On Yoga II* (Aurobindo Ashram, Pondicherry, India, 1958).  
D. Bohm and B. Hiley, *On the Intuitive Understanding of Nonlocality as Implied by Quantum Theory*, Foundations of Physics, vol. 5 (1975).  
N. Bohr, *Nuevos ensayos sobre física atómica y conocimiento humano* (Aguilar, Madrid, 1970).  
- *Atomic Physics and the Description of Nature* (Cambridge University Press, London, 1934).  
M. Capek, *The Philosophical Impact of Contemporary Physics* (D. Van Nostrand, Princeton, New Jersey, 1961).  
C. Castaneda, *Las enseñanzas de don Juan* (Fondo de Cultura Económica, México, 1974).  
*Una realidad aparte* (Fondo de Cultura Económica, México, 1974).  
*Viaje a Ixtlán* (Fondo de Cultura Económica, México, 1975).



- Relatos de Poder (Fondo de Cultura Económica, México, 1976).
- G. F. Chew, *Bootstrap: A Scientific Idea?*, Science, vol. 161 (May 23rd, 1968), págs. 762-5.
- Hadron Bootstrap: *Triumph or Frustration?*, Physics Today, vol. 23 (October 1970), págs. 23-8.
- Impasse for the Elementary Particle Concept*, The Great Ideas today (William Benton, Chicago, 1974).
- G. F. Chew, M. Gell-Mann, and A. H. Rosenfeld, *Strongly Interacting Particles*, Scientific American, vol. 210 (February 1964); págs. 74-83. Una traducción de este artículo figura en el libro *Partículas Elementales*, (Prensa Científica, Barcelona, 1984).
- Chuang Tzu, trans. James Legge, arranged by Clae Waltham (Ace Books, New York, 1971).
- *Interioridades* (Monte Avila Editor, Caracas, 1972).
- A. K. Coomaraswamy, *Induismo y Budismo* (Taurus, (Madrid, 1977).
- *The Dance of Shiva* (The Noonday Press, New York, 1969).
- P. Crosland (ed.), *The Science of Mailer* (History of Science Readings, Penguin Books, England, 1971).
- A. David-Neel, *Místicos y Magos del Tibet*. (Espasa-Calpe, Madrid). A. Einstein, *Essays in Science Philosophical Library*, New York, 1934).
- *Mi visión del mundo* (Tusquets, Barcelona, 1984).
- *La Teoría de la Relatividad*. Alianza Editorial, Madrid. 1984).
- C. Eliot, *Japanese Buddhism* (Routledge & Kegan Paul, London, 1959).
- R. P. Feynman, R. B. Leighton, and M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics* (Addison-Wesley, Reading, Mass., 1966).
- K. W. Ford *The World of Elementary Particles* (Blaisdell, New York, 1965). Fung Yu-Lan, *A Short History of Chinese Philosophy* (Macmillan, New York, 1958).
- Lama Anagarika Govinda, *Fundamentos de la mística tibetana* (Eyras, Madrid, España).
- *Logic and Symbol in the Multy-Dimensional Conception of the Universe*, The Middle Way (Buddhist Society, London), vol, 36 (February, 1962), págs. 151-5.
- W. K. Guthrie, *Los filósofos griegos* (Fondo de Cultura Económica, México, 1981).
- W. Heisenberg, *Physics and Philosophy* (Allen & Unwin, London, 1963).
- *Physics and Beyond* (Allen & Unwin, London, 1971).
- E. Herrigel, *Zen en el arte del tiro con arco* (Kier, Buenos Aires).
- F. Hoyle, *The Nature of the Universe* (Penguin Books, England, 1965). - *Frontiers of Astronomy* (Heinemann, London, 1970).
- R. E. Hume, *The Thirteen Principal Upanishads* (Oxford University Press, London, 1934).
- W. James, *The Varieties of Religious Experience* (Fontana, London, 1971).
- J. Jeans, *The Growth of Physical Science* (Cambridge University Press, London, 1951).
- P. Kaplcaw, *Los tres pilares del Zen*.
- G. Keynes (ed.), *Blake Complete Writings* (Oxford University Press, London, 1969).
- G. S. Kirk, *Heraclitus* (Cambridge University Press, London, 1970).
- A. Korzybski, *Science and Sanity* (The International Non Aristotelian Library, Conn., U.S.A., 1958).
- J. Krishnamurti, *Freedom from the Known*, edited by Mary Lutyens (Gollanez, London, 1969).
- Chuan-Tzu, traps. W. A. Ricketts (Hong Kong University Press, 1965).
- Lao Tzu, *Tao The Ching*, trans. Ch'u Ta-Kao (Allen & Unwin, London, 1970). Lao Tzu, *Tao Te Ching*, trans. Gia-Fu Feng and Jane English (Wildwood House, London, 1972).
- T. Leggett, *A First Zen Reader* (C. E. Tuttle, Rutland, Vermont, 1972).
- A. C. B. Lovell, *The Individual and the Universe* (Oxford University Press, London, 1958).
- *Our Present Knowledge of the Universe* (Manchester University Press, 1967).
- Maharishi Mahesh Yogi, *Bhagavad Gita*, Chapters 1 -6, (Penguin Books, England, 1973).
- j. Mascaró, *The Bhagavad Gita* (Penguin Books, England, 1970). - *The Dhammapada* (Penguin Books, England, 1973).
- J. Mehra (ed.), *The Physicist's Conception of Nature* (D. Reidel, Dordrecht, Holland, 1973).
1. Miura and R. Fuller-Sasaki, *The Zen Koan* (Harcourt Brace, New York, 1965). F. M. Muller (ed.), *Sacred Books of the East* (Oxford University Press), vol, XLIX, Buddhist Mahayana Sutras.
- T. R.V. Murti, *The Central Philosophy of Buddhism* (Allen & Unwin, London, 1955).
- J. Needham, *Grandeza y miseria de la tradición científica china* (Anagrama, Barcelona, 1977).
- J. R. Oppenheimer, *La Ciencia y el Conocimiento Común* (C.S.I.C., Madrid, 1955).
- S. Radhakrishnan, *Indian Philosophy* (Allen & Unwin, London, 1951). P. Repts, *7.en Flesh, Zen Bones* (Anchor Books, New York).
- N. W. Riss, *Three Ways of Asian Wisdom* (Simon and Schuster, New York, 1966). B. Russell, *Historia de la Filosofía Occidental* (España Calpe, Madrid, 1978), M. Sachs, *Space Time and Elementary Interactions in Relativity*, Physics Today, vol. 22 (February, 1969), pags, 50 -60.



- D. W. Sciama, *The Unity of the Universe* (Faber and Faber, London, 1959).
- P. A. Schilpp (ed.), *Albert Einstein: Philosopher-Scientist* (The Library of Living Philosophers, Evanston, Illinois, 1949).
- W. T. Stace, *The Teachings of the Mystics* (New American Library, New York, 1960).
- H. P. Stapp, *S-matrix Interpretation of Quantum Theory*, Physical Review, vol. D3 (March 15th, 1967). págs. 1.303-20.
- D. T. Suzuki, *Introducción al budismo Zen* Mensajero, Bilbao, 1979).
- Outlines of Mahayana Buddhism* (Schocken Books, New York, 1963).
- On Indian Mahayana Buddhism*, ed. Edward Conze (Harper & Row, New York, 1968).
- Zen and Japanese Culture* (Bollingen Series, New York, 1959).
- Studies in the Lankavatara Sutra* (Routledge & Kegan Paul, London, 1952).
- Preface to B. L. Suzuki, *Mahayana Buddhism* (Allen & Unwin, London, 1959), pág. 30.
- W. Thirring, *Urbau.rteine der Materie*, Almanach der ÚsteRCichischen Akademie der Wissenschaften, vol. 118 (1968), págs. 153-62.
- S. Vivekananda, *Jnana Yoga* (Advaita Ashram, Calcutta, India, 1962. A. W. Watts, *El camino del zen* (Edhasa, Barcelona, 1978).
- V. F. Weisskopf, *Physics in the Twentieth Century Selected Essays* (M.I.T. Press, Cambridge, Mass., 1972).
- H. Weyl, *Philosophy of Mathematics and Natural Science* (Princeton University Press, 1949).
- A. N. Whitehead *The Interpretation of Science*, Selected Essays ed.by A. H. Johnson (Bobbs-Merrill, Indianapolis, N. Y., 1967).
- H. Wilhelm, *Significado del I Ching* (Paidós, col. Orientalia, Buenos Aires, 1980). R. Wilhelm, *El ,I Ching o Libro de las Mutaciones* (Edhasa, Barcelona, 1980). - *The Secret of the Golden Flower* (Routledge & Kegan Paul, London, 1972).
- F. L. Woodward (Trans. and ed.), *Some Sayings of the Buddha according to the Pali Canon* (Oxford University Press, London, 1973).
- H. Zimmer, *Myths and Symbols in Indian Art and Civilisation* (Princeton University Press, 1972).



**ÍNDICE**

Agradecimientos  
Prefacio a la segunda edición  
Prefacio a la primera edición

**I. EL CAMINO DE LA FÍSICA**

1. La Física Moderna. ¿Un Camino con corazón?
2. Saber y Ver
3. Más allá del Lenguaje
4. La Nueva Física

**II. EL CAMINO DEL MISTICISMO ORIENTAL**

5. Hinduismo
6. Budismo
7. El Pensamiento Chino
8. Taoísmo
9. Zen

**III. LOS PARALELISMOS**

10. La Unidad de Todas las Cosas
11. Más allá del Mundo de los Opuestos
12. Espacio-Tiempo
13. El Universo Dinámico
14. Vacío y Forma
15. La Danza Cósmica
16. Simetrías del Quark. ¿Un nuevo Koan?
17. Patrones de Cambio
18. Interpenetración

**Epílogo**

Vuelta a la nueva física  
El futuro de la nueva física  
Bibliografía  
Referencias

Fin