

TEORÍA DE LAS SUPERCUERDAS

Patricio Diaz Pazos

Estoy convencido de que la interpretación matemática pura permite descubrir los conceptos y las leyes que los relacionan, y eso nos da la clave para comprender la naturaleza...En cierto sentido, pues, yo creo que el pensamiento puro puede captar la realidad, como soñaban los antiguos.

Albert Einstein, 1936.

[1. [Introducción](#)] [2. [De la Relatividad General y la Gravedad](#)] [3. [De la Física de Partículas Elementales](#)] [4. [Grandes Teorías Unificadas](#)] [5. [De la Teoría Kaluza-Klein](#)] [6. [Teoría de las Supercuerdas](#)] [7. [Simetrías de Dualidad](#)] [8. [Qué se busca con las Supercuerdas](#)] [9. [Controversias...](#)] [10. [Bibliografía](#)]

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

Al tomar la pluma con la intención de escribir algún tema sobre física teórica que fuera atractivo, especialmente para mí -- y en esto creo ser sincero -- ya que nunca podría referirme a algo literalmente si no sintiera una especial atracción por ello, dentro de una selección, tomé la decisión de hacer un desarrollo literario sucinto sobre lo que he podido estudiar y entender sobre lo que se ha venido llamando, dentro del mundo de la física teórica, Teoría de las Supercuerdas, conocida como TSC.

Pero antes de partir con lo que me he propuesto, considero oportuno puntualizar algunos aspectos que tienen que ver con una posición personal frente a la TSC.

Aunque otras veces ya me he referido literariamente a esta teoría y he precisado mi falta de convicción para con ella lo que, necesariamente, no significa un rechazo o descalificación; sin embargo, estoy convencido que la poca convicción que profeso para con la Teoría de las Supercuerdas es posible que quede reflejada en las palabras que a continuación escriba sobre ella, aunque ello, en ningún caso, signifique una falta de reconocimiento al crédito científico que se merece. Apelo a que se me acepten estas palabras de explicación. Einstein, como otros físicos teóricos, pasaron y pasan gran parte de su vida, intentando alcanzar un prodigio científico que tal vez era y/o es imposible: unir la Teoría de la Relatividad con la de la Mecánica Cuántica que describe el universo a escala atómica. No logró Einstein su sueño de enlazar las leyes físicas del macrocosmo con las del microcosmo, ni tampoco, hasta ahora, lo han logrado otros muchos estudiosos, lo que se ha venido a convertir en una aspiración generalizada del estudio sobre el funcionamiento del universo.

La generalidad de los físicos teóricos buscan estructurar una gran unificación entre la Teoría de la Relatividad General y la Mecánica Cuántica. La primera, comporta toda la capacidad necesaria para explicar los efectos de la fuerza gravitatoria sobre un espacio-tiempo curvo. Sin embargo, no se ha podido distinguir consecuencias precisas

de las posibles fuerzas que actúen sobre una partícula, ya que ésta sigue, normalmente, una trayectoria inercial o toma el camino más corto posible, describiendo como una geodesia sobre el espacio-tiempo curvo. Por ello, explicar todas las fuerzas conocidas bajo el alero de una misma idea, un concepto, una sola teoría, representa la más cara aspiración que embarga a los científicos focalizados en entender el total comportamiento de la naturaleza. Muchos de ellos, piensan que si ello se logra, también se habría colocado término al camino que ha seguido, dentro de la humanidad, el desarrollo de la física.

CAPÍTULO II DE LA RELATIVIDAD GENERAL Y LA GRAVEDAD

La masa es la causante de configurar la curvatura del espaciotiempo. Así, la masa genera un cambio en la trayectoria que toman las partículas, ya que urde el espacio por donde ésta transita. En escalas grandes esto es muy preciso, tanto como lo es la electrodinámica cuántica en las escalas subatómicas. Con su precisión se puede predecir cuando una estrella puede ser removida por causas de un campo gravitatorio. También explica la relación entre masa inercial* y la gravedad. Sin embargo, para una partícula no se ha podido distinguir una fuerza gravitatoria que afecte su trayectoria, ya que ésta, normalmente, se desplaza en un trazado geodésico que sigue una trayectoria inercial. No se ha podido observar actuando a una fuerza gravitatoria distante sobre una partícula, pero sí se ha podido distinguir una trayectoria específica para las partículas determinada dada por la curvatura local del espacio.



Un electrón está siempre emitiendo y absorbiendo fotones. Mientras está solo, esta actividad creativo-destructiva no altera su movimiento. En un átomo, en cambio, su cercanía al núcleo positivo hace que la generación y absorción de fotones sea disímil -- desigual en diferentes direcciones -- y resultando sus movimientos circulares en vez de rectilíneos. En la EDC** no se plantea el problema de la interacción a distancia, porque electrón y núcleo se comunican a través de

mensajeros, los fotones, indicando por su intermedio dónde están y cómo se mueven. Si un neutrón rápido impacta al núcleo y lo lanza lejos, los electrones del vecindario se enteran un instante después, precisamente el tiempo que toma a los fotones mensajeros hacer el recorrido desde el núcleo al exterior del átomo. Para la información se requiere un tiempo, la interacción no es instantánea.

Pero ¿qué pasa en ello con la gravedad? Bueno, no la mencionamos simplemente porque no hay una teoría cuántica de la gravedad. O mejor dicho, es posible que exista, pero todavía no hemos sido capaces de conocerla. Puede ser que ande revoloteando como una paloma por ahí arrancándose de los muchos que se encuentran ansiosos de atraparla. Lo cierto es que todavía no se tienen claros los caminos a seguir para encontrar la forma de cómo construirla.

El problema es fácil de diagnosticar pero difícil de resolver. Sabemos formular la gravedad mediante la geometría del espaciotiempo, pero todavía no hemos encontrado nada verdaderamente consistente que nos permita transformar geometría

en partículas. Estas viajan en el espaciotiempo llevando sus mensajes, pero geoméricamente cómo...La respuesta se sigue buscando.

Sin embargo, como seres humanos precavidos e inteligentes, y pese a las dificultades que hemos señalado, al cuanto de la gravedad ya le tenemos nombre: gravitón^{***}. Claro que no lo hemos visto ni siquiera en una pelea de perros y más parece un recordatorio de lo poco habilidosos que hasta la fecha hemos demostrado ser ante el desafío de cuantizar la gravedad. No hay pruebas de que el gravitón exista, aún cuando muchos experimentos en el pasado reciente hayan procurado, sin éxito, atraparlo.

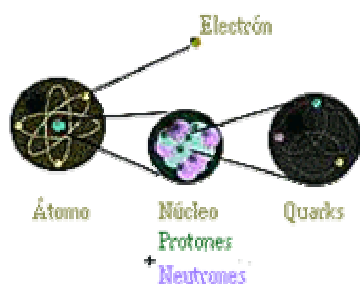
(*) Definición Masa Inercial en Dinámica Newtoniana Modificada

(**)EDC=Electrodinámica Cuántica

(***)Gravitón: cuanto del campo gravitacional linealizado.

CAPÍTULO III DE LA FÍSICA DE PARTÍCULAS ELEMENTALES

Hacer formulaciones lo más sencillas y precisas sobre la física de las partículas elementales y sus interacciones representa para los físicos que se centran en el estudio de la física de altas energías uno de sus más caros anhelos.



El devenir de la evolución de la física nos ha hecho conscientes de que teorías a ciertas escalas de energía se incompatibilizan y, regularmente, adquieren la propiedad de ser "límites fronterizos" de una teoría más general que trabaja a una escala de energía mayor que la asociada a las teorías independientes y que, además, casi siempre suele ser de una mayor sencillez conceptual. Sin embargo, como ha sido la "gracia" de los humanos que

procuran hacer ciencia en física siguen explorando posibilidades dentro de la teoría que actualmente describe bastante bien a las partículas elementales y que se conoce como Modelo Estándar (ME).

El ME es una teoría que fue enunciada a los finales de los años sesenta y, hasta ahora, comporta bastante éxito desde el punto de vista experimental. En sus principios medulares describe las tres fuerzas no gravitacionales que cohabitan en la naturaleza: la fuerza fuerte, la débil, y electromagnética. Se trata de una teoría consistente; sin embargo, más de una "arbitrariedad" ha sido necesario aceptar. Tiene diecisiete parámetros libres, como por ejemplo, las constantes de acoplamiento, el espectro de masa fermiónica, etc., cuyos orígenes no son fáciles de entender teóricamente.

Para que el ME cumpla con sus funciones predictivas es necesario postular la existencia de una masiva partícula escalar llamada bosón de Higgs, la cual, todavía, no ha sido posible observar experimentalmente, pero no se pierden las esperanzas.

Ahora bien, cuando se habla de hacer trabajos en energías superiores a las típicas del ME, o sea, de alrededor de 100 GeV, más de un modelo se encuentra al alcance para posibles generalizaciones del ME consistentes con la correspondiente información experimental. Entre ellos, podemos mencionar los siguientes: modelos con dos dobletes de Higgs, modelos con simetrías izquierda-derecha, sistemas compuestos, métodos lagrangianos, efectivos, supersimetría, teorías supergravitatorias, grandes teorías unificadas (GTU), etc.. Los tres primeros de los nombrados son consistentes a una escala de energía algo más allá de la escala de Fermi (240 GeV) -llamadas también extensiones mínimas-, los restantes se extienden de manera natural hasta la escala de Planck (1.019 GeV)

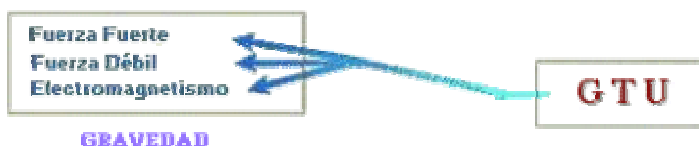
SOBRE PARTÍCULAS Y ENERGÍA

Aunque la masa de las partículas puede expresarse en términos convencionales como minúsculas fracciones de un gramo, los científicos suelen usar otro sistema de medida: una unidad de energía llamada electrónvoltio (eV), definido como la energía adquirida por un electrón al atravesar una variación de un voltio de un campo electromagnético. El concepto de partículas como diminutos fajos de energía deriva de la fórmula de Einstein para la equivalencia de masa y energía, $E = mc^2$. Un protón, por ejemplo, posee una masa de aproximadamente 10^{-14} gramos, o 938.300.000 eV. El contenido de energía de la materia es significativo para los físicos que estudian las partículas más efímeras con aceleradores de alta energía, utilizando las colosales máquinas para producir materia allá donde antes no existía ninguna. Estas nuevas partículas toman forma de la energía liberada cuando dos haces de partículas aceleradas golpean de frente. La masa de las partículas creadas nunca puede exceder la energía de las colisiones, que se mide en miles de millones de electrónvoltios (expresada como giga-electrónvoltios, o GeV). En los aceleradores más grandes de hoy en día, la energía del haz de partículas alcanza unos pocos cientos de GeV, justo lo suficiente para crear los misteriosos portadores de la fuerza débil, los bosones W y Z, cuyas masas son casi de 100 GeV. Según la teoría cuántica contemporánea, estas partículas fueron abundantes unos 10^{-11} segundos después del inicio de la expansión, cuando el mismo nivel de energía permeaba todo el universo. Los niveles de energía de momentos muy anteriores son probablemente inalcanzables. Unos 10^{-11} segundos después de que el universo iniciara su expansión, la energía media de una partícula era de 10^{14} GeV. Para alcanzar un nivel similar, un acelerador que usara la ingeniería incorporada en el Acelerador Lineal de Stanford, de tres kilómetros de largo y 40 GeV, debería tener aproximadamente un año luz de longitud.

CAPÍTULO IV GRANDES TEORÍAS UNIFICADAS

Es un sentimiento maravilloso el descubrir las características unificadoras de un complejo de fenómenos diversos que parecen totalmente desconectados en la experiencia directa de los sentidos.

Albert Einstein, 1901



De la Teoría de Campo Unificada

Partiendo de su teoría de la relatividad general para describir la gravedad, y de la teoría de Maxwell para el electromagnetismo, Einstein buscó una teoría unificada más amplia, que integrase ambas fuerzas. Cuando Einstein hacía esto, aún se sabía muy poco de las fuerzas débil y fuerte, fuerzas que hoy se consideran tan fundamentales como la gravedad y el electromagnetismo. Einstein creía que la teoría del campo unificado surgiría de la fusión de la mecánica cuántica con la relatividad general. En este intento Einstein fracasó, ya que en su trabajo no pudo integrar las propiedades intrínsecas de la cuántica. La relatividad general es el instrumento correcto para calcular una respuesta, pero no es la base más precisa para explicar una fuerza. Sin embargo, la electrodinámica cuántica en que la base de una fuerza se encuentra en el intercambio de partículas exhibe mejores progresos para explicar las propiedades de un electrón y del campo electromagnético.

Aunque las tentativas de Einstein de elaborar una teoría de campo unificado no tuvo éxito, sus trabajos inspiraron a otros científicos, indicándoles que era posible que las diversas fuerzas de la naturaleza fuesen manifestaciones de un sólo campo unificado. Mientras estudiaban las fuerzas débil, fuerte y electromagnética, tenían siempre presente la idea de la unificación, que les atraía como la tierra prometida.

De esos esfuerzo salen las teorías de campo que unifican las tres fuerzas (la electromagnética, la débil y la fuerte) se denominan "Grandes Teorías Unificadas" o GTU. Por condición previa, las GTU no se proponen una unificación de campo total, ya que no incluyen la gravedad, que es, con mucho, la más débil de las cuatro fuerzas conocidas. Estas teorías, aunque dejen sin resolver problemas trascendentales que la física requiere explicarse, igual han significado un gran avance en la unificación de las diversas partículas cuánticas.

Muchos físicos están convencido de que si bien teorías como las GTU han aclarado la dinámica del universo primitivo, mientras no exista una teoría totalmente unificada (que incluya la gravedad) no se podrá describir el origen del universo. Porque si imaginamos que retrocedemos en el tiempo hasta el universo muy primitivo, la temperatura y la energía de interacción de partículas cuánticas pueden aumentar sin límite de modo de que llegara un momento en que se penetre en la escala de distancias de Planck . El problema de la gravedad cuántica se plantea inevitablemente si queremos aclarar el origen del universo.

Las GTU otorga una respuesta parcial a las quisicosas que se manifiestan en el ME, las que entre otras, podemos mencionar a la aparición de tres generaciones de leptones y quarks, la cuantización de la carga eléctrica, las relaciones de las masas fermiónicas, la existencia de neutrinos masivos, etc. Esta clase de teorías están basadas en una extensión de la llamada simetría de norma de la teoría a grupos de mayor dimensionalidad y buscan incorporar las interacciones ya conocidas a través de los subgrupos de los grupos de norma. Ejemplos de este tipo de teorías basadas en los grupos de norma $SO(10)$ y $SU(5)^*$ son de sumo interés fenomenológico. Sin embargo, estas teorías tienen (por lo menos hasta ahora) todavía una serie de problemas e inconsistencias, al margen de la no incorporación de gravedad. Una de las dificultades persistente en las GTU es el problema de la jerarquía de las masas de los fermiones i.e. Se debe explicar el hecho de que la masa del electrón sea menor que la masa del muón y ésta, a su vez, sea menor que la masa del leptón tau.

Ese problema se puede resolver mediante la introducción de la supersimetría . Para evitar tener un problema de jerarquía**, la supersimetría se debe romper (debe dejar de ser válida) a escalas de energía menores que 1000 GeV. Una

posible explicación para este rompimiento de la supersimetría se hace mediante la introducción de una especie de subterfugio llamado supergravedad. Así, la supergravedad indica la necesidad de incorporar la gravitación (hasta ahora ausente) al esquema total del cuadro de unificaciones.

Las GTU, aunque dejen sin resolver problemas trascendentales, han significado un gran avance en la unificación de las diversas partículas cuánticas. Por ejemplo, a muchos les abruma el gran número de gluones, quarks y leptones. Lo atractivo de la idea de las GTU reside, en parte, en el hecho de que esta proliferación de partículas cuánticas es, en realidad, superficial y todos los gluones, así como los quarks y los leptones, pueden considerarse como simples componentes de unos cuantos campos de unificación fundamentales. Aplicando la supersimetría de las GTU, esos componentes del campo pueden convertirse unos en otros. El motivo de que parezca que las partículas cuánticas tienen propiedades distintas en la naturaleza es que la simetría unificadora está rota.



Todas las manifestaciones de las GTU están basadas en una teoría de campos de partículas puntuales. Así, por ejemplo, las partículas elementales en estas teorías definen un punto en el espaciotiempo. La descripción cuántica en el espaciotiempo requiere que las interacciones físicas se den de manera

puntual, es decir, que las interacciones se den en un punto del espaciotiempo.

Es un consenso, más o menos generalizado, que las teorías de campos basadas en la noción de partículas puntuales necesariamente tienen que generar una serie de problemas relacionados con la existencia de un número muy grande de teorías y la aparición de infinitos en las cantidades físicas que pueden ser medidas experimentalmente. Una propuesta para resolver este tipo de problemas de los que adolece la teoría cuántica de campos (en la cual están basadas las GTU y en general toda la física de altas energías) es la Teoría de Cuerdas (TC). Esta teoría, propuesta por vez primera en los años sesenta y que ha tenido varios altos y bajos, ha venido, progresivamente, ganando tiempo de estudio de un número, cada vez mayor, de físicos teóricos y matemáticos a prestarle una mayor atención a las posibilidades que podría otorgar con una mayor maduración teórica. Es el tema en el cual, posteriormente, centraremos nuestra atención, especialmente a lo que se ha llamado segunda revolución de la teoría con el nombre de las Supercuerdas (TSC)

(*) Modelo "SU(5) mínimo" de Howard George y Sheldon Glashow. Se trata del primero que aporta una verdadera unificación, que, por su economía, se convirtió en el prototipo de las futuras teorías unificadoras. Otorga un cuadro conceptual definido de las distancias microscópicas y considera que el protón es inestable y tiende a desintegrarse.

(**) El micromundo posee una jerarquía de distancias, hitos en el camino que conduce a distancias cada vez más cortas. Las energías relativamente bajas de los aceleradores de partículas actuales permiten a los físicos descender a las distancias del modelo tipo, a unos 10^{-10} cm. Ahora bien, la estimación de la jerarquía de distancias es la siguiente:

escala	electrodébil	=	10^{-16} cm.
escala	GTU	=	10^{-29} cm.
escala de Planck = 10^{-33} cm.			

CAPÍTULO V DE LA TEORÍA KALUZA - KLEIN

Hasta hoy, no se ha logrado, ni mucho menos, inventar una teoría de campo consistente totalmente unificadora que incluya la gravedad. Se han dado grandes pasos, pero las brechas "científicounificantes" siguen siendo amplias. El punto de partida ha sido siempre la Teoría de la Relatividad General y conceptos con ella relacionados, por la excelencia que manifiesta esa teoría para explicar la física gravitatoria macrocópica. El problema que se presenta surge de la necesidad de modificar esta teoría sin perder por ello las predicciones ya probadas de la gravedad a gran escala y resolver al mismo tiempo los problemas de la gravedad cuántica en distancias cortas y de la unificación de la gravedad con las otras fuerzas de la naturaleza. Intentos recientes, y muy recientes, existen como solución a este problema, que han despertado gran interés. Entre ellos, podemos destacar, entre otros, los siguientes: la Teoría de la Supergravedad, la Teoría de Kaluza-Klein, y la Teoría de las Supercuerdas. Pero, por ahora, y focalizándonos hacia el tema central de este trabajo, nos vamos a referir sucintamente a la segunda, ya que ésta comporta una gran relación con la tercera, que es a la que dedicaremos un mayor tiempo. Sin embargo, corresponde señalar que las tres ideas que hemos mencionado más otras que también son importantes, sólo el tiempo podrá decirnos si van a llevar a los físicos a callejones sin salida o si nos conducen hacia una teoría general del universo. Pero son "ideas vesánicas", lo suficiente como para poder ser quizás ciertas.

La experiencia confirma que el hecho de que las dimensiones espaciotemporales del mundo en que vivimos sean tres más una, está escrito sin más en las leyes de la física tal como lo conocemos y pretendemos saber hoy. No todos los físicos aceptan ello y propugnan que la dimensionalidad de nuestro mundo debería deducirse lógicamente de una teoría general del universo y no constituir un postulado inicial. Claro que, todavía estos científicos, aún no pueden calcular el número de dimensiones espaciotemporales observadas a partir de primeros principios. No obstante, sin embargo, han elaborado y continúan haciéndolo estructuras conceptuales en la que tal cálculo podría tener sentido algún día. De esas estructuras conceptuales, las más conocidas y elaboradas son: la Teoría Kaluza-Klein y la Teoría de las Supercuerdas. Ambas surgen de otra generalización de la relatividad general cuatridimensional einsteniana, esta vez para espacios de más dimensiones. Para exponer una síntesis de la curiosa teoría Kaluza-Klein, en esta ocasión usaré una descripción de algunos aspectos del electromagnetismo.

La fuerza eléctrica está presente en una multiplicidad de fenómenos que a diario percibimos. Desde las chispas que se pueden observar cuando uno se saca las prendas de vestir en la noche; a los rayos que vemos en los alto del cielo cuando somos espectadores de una tormenta atmosférica; a tantos y tantos aparatos que nos parecen indispensables, que en inglés se llaman electrical household appliance y que, en castellano, simplemente electrodomésticos, y a otros muchos más de largo detalle. Su origen es la carga eléctrica, esa propiedad extraña que poseen, por ejemplo, el electrón y el protón. Es curioso que algunas partículas están cargadas eléctricamente y otras no. Cosas de la naturaleza. El electrón y el protón tienen carga eléctrica; el neutrón y el neutrino no la tienen. ¿Por qué? No tenemos la menor idea. Hasta ahora lo consideramos como un antecedente que debemos de aceptar sin más vueltas.

Lo cierto es que los electrones se repelen y en cambio electrones y protones se atraen. De ello sale la frase cotidiana, cuando decimos "cargas de igual signo se repelen, cargas de distinto signo se atraen". Aquí, observamos la posibilidad de una atracción y de una repulsión; mientras que, en la gravedad, sólo distinguimos una acción de atracción. Figuradamente podemos referirnos a ello como que mientras las masas todas se "aman", hay cargas que se "aman" y otras que se "odian". Ahora bien, es gracia a esto, que puede ser considerado bastante ambiguo, el mundo es como es. La atracción torna posible los átomos, ya que los protones en el núcleo atraen a los electrones y así los atrapan y forman las 92 especies naturales de átomos que existen, por su parte, la repulsión es esencial para que los diferentes objetos comporten la consistencia necesaria que su funcionalidad reclama.

Matemáticamente, la fuerza eléctrica fue descubierta en el año 1785 por el ingeniero en estructuras Charles Coulomb. Ahora bien, con respecto a grandes distancias, la fuerza eléctrica actúa igual a como lo hace la gravedad: al duplicar la distancia, su magnitud disminuye a la cuarta parte (ley inversa al cuadrado de la distancia). Sin embargo, pese a que tienen esta similitud, no obstante se presenta una diferencia sustancial entre ellas. Mientras la gravedad depende de la masa del objeto (se duplica cuando la masa también lo hace), la fuerza eléctrica sólo depende de su carga (también se duplica con la carga, pero no se afecta si se duplica la masa). Todo esto tiene una consecuencia distinguible. Mientras dos cuerpos de distinta masa caen igual hacia un tercero que los atrae por gravedad, dos objetos de diferente carga caen en forma diferente si son atraídos eléctricamente hacia un tercero. La fuerza eléctrica no es reductible a una propiedad geométrica del espaciotiempo, como lo es la gravedad. Lo descrito arriba nos introduce en un frente de reflexión, investigación y observación no muy cómodo como para estar inserto en él. La ley de fuerza eléctrica de Coulomb no indica que si hay una carga eléctrica aquí y otra en la Luna, ellas se influyen mutuamente a través del vacío del espacio intermedio, tal como las masas lo hacen según la teoría de Newton de la gravedad. Pero en el cuento ¿cómo metemos a la relatividad general? Buena pregunta. Para ello, podría considerarse la posibilidad de un espaciotiempo de cinco dimensiones en vez de cuatro. Matemáticamente la cuestión calza, pero...

La posibilidad de que existan dimensiones extras "disminutas" aparte de las "cuatro grandes" del espaciotiempo (dimensiones tan disminutas y pequeñas que no contradicen la experiencia) la descubrió matemáticamente, en el marco de la relatividad general de Einstein, el alemán Theodoro Kaluza en 1919 (la publicación del artículo que conozco es de 1922). Kaluza, matemático y filólogo, estudió las ecuaciones de Einstein generalizándolas para un espaciotiempo de cinco dimensiones en que la quinta dimensión "extra" era compacta: configurada por un circulito. Kaluza supuso que en cada punto del espaciotiempo cuatridimensional ordinario había un pequeño círculo, lo mismo que lo hay en cada punto a lo largo de la línea de un cilindro bidimensional.

Igual que en el espacio ordinario podemos movernos de un punto a otro, podemos imaginar una partícula que se mueve al rededor del pequeño círculo en la quinta dimensión. Por su puesto, no se mueve muy lejos (y en modo alguno en las dimensiones «grandes»), porque el círculo es muy pequeño y lo único que hace es dar vueltas y vueltas. Pero aun así, ¿qué significa la posibilidad de este movimiento extra? Kaluza demostró que esta libertad de movimiento adicional asociada a una simetría de círculo en cada punto del espaciotiempo, podía considerarse la simetría de medida simple del campo electromagnético. Esta interpretación no ha de resultar muy sorprendente desde un punto de vista moderno si consideramos que una simetría (como la simetría del circulito) entraña automáticamente la existencia de un campo de medida (como el campo electromagnético). La teoría de las cinco dimensiones de Kaluza no sólo describía, pues, la curvatura del espaciotiempo cuatridimensional grande en función de las ecuaciones gravitatorias einsteinianas habituales, sino que

además unificaba físicamente la gravedad en el campo de medida electromagnético de Maxwell, utilizando la extraña idea de una quinta dimensión circular.

Tenemos pues que con la quinta dimensión, Kaluza nos entrega la posibilidad de obtener el electromagnetismo y la gravedad a partir de una misma teoría compactada, pero introduciendo varios supuestos restrictivos en la solución de las ecuaciones de Einstein. El problema que se rezaga es saber qué es esa quinta dimensión agregada que, físicamente, nadie ha podido percibir aún. Entonces, en el año 1926, aparece el físico sueco Oskar Klein, quién demuestra que los supuestos restrictivos son absolutamente innecesarios. Calculó, además, el radio del circulito de la quinta dimensión en función de las cantidades conocidas, la escala de distancia de Planck y la carga electrónica, cuyo resultado obtenido fue de un radio de unos 10 cm., bastante chico el radio, pero ello asegura que la quinta dimensión era absolutamente invisible. Mas, pese a su diminuto tamaño, la libertad que tienen los campos para moverse alrededor de ese pequeño círculo está presente siempre en cada punto del espacio ordinario, y esa libertad basta para garantizar la existencia del campo electromagnético. A ver, veamos esto en otro idioma. En la propuesta de Klein se afirma que la quinta dimensión existe, aunque está como arrugada y no somos sensibles a ella. Imaginemos cómo distinguimos a una autopista cuando volamos relativamente alto en un avión. Se ve como una línea sobre la superficie de la Tierra. Sin embargo, mirada de cerca tiene un ancho, y por ese ancho se moviliza toda clase de vehículos rodantes y también animales. Desde el avión esos acontecimientos movilizados no los podemos ver debido a la distancia que nos separa del suelo de la Tierra. Según Klein, la quinta dimensión está como enrollada o arrugada y somos por ello incapaces de percibirla; extiende el ámbito del espaciotiempo en igual forma que en nuestra analogía la autopista enriquece la línea que percibimos de lejos.

Para Kaluza y Klein, el universo podría haber surgido como un espacio compacto multidimensional. "Un subespacio cuatridimensional de este espacio multidimensional penetra luego en la configuración de la bola de fuego, representando el resto las simetrías internas observadas". Según este punto de vista, el universo surge como un espacio multidimensional con un alto grado de simetría. Pero un universo con esta geometría puede ser inestable y experimentar una desintegración por el mecanismo de penetración. En consecuencia, las cuatro dimensiones se convierten en dimensiones "grandes" y su tamaño se expande muy deprisa, mientras que el resto (las dimensiones pequeñas) sigue siendo pequeño y se halla hoy presente en las simetrías "internas" de las partículas cuánticas.

En sus artículos, Kaluza-Klein no aportan explicación al hecho de que se hicieran grandes cuatro dimensiones en vez de siete u once. La explicación para ello, se la asignan a una responsabilidad del desarrollo futuro de la física. Pero si el modelo fuera el correcto, el origen del universo es el acontecimiento que instaura el número de dimensiones espaciotemporales observadas. No hemos de olvidar que este número es una pista del origen del universo que sobrevive al período inflacionario subsiguiente: la dimensionalidad del espacio no se diluye.

Después de los años treinta, la idea Kaluza-Klein fue arrinconada y olvidada. Pero en el caminar de los físicos tras la consecución de poder encontrar una vía que les pudiera permitir encontrar la unificación de la gravedad con las demás fuerzas, ha vuelto a adquirir prominencia. Hoy, a diferencia de lo que sucedía en los años veinte, los físicos no sólo quieren ya unificar la gravedad con el electromagnetismo: quieren unificarla también con las interacciones débil y fuerte. Esto exige más dimensiones aún, y no sólo la quinta.

CAPÍTULO VI TEORÍA DE LAS SUPERCUERDAS

Hemos señalado varias veces, en los capítulos anteriores de este trabajo, que la unificación de las cuatro fuerzas que la física ha distinguido constituye uno de los principales anhelos y necesidades teóricas de los físicos contemporáneos.

Dentro de los esfuerzos que se hacen para alcanzar esa tan anhelada unificación, aparece en la década de los sesenta lo que se ha venido a llamar Teoría de las Cuerdas (TC) que, desde ese entonces, se han ido explorando sus posibilidades con vaivenes, avances y atolladeros, en medio de fuertes críticas de los detractores. En los más de treinta años transcurridos desde su aparición, la teoría ha experimentado diferentes grados de excitación, reconociéndose a dos de ellos como los de mayor relevancia : el que se dio en los años 1984-1985 y, el último, en 1994. A estos altos de actividad se les ha reconocido como periodos de primera y segunda revolución y, también a la teoría se le ha empezado a reconocer como Teoría de las Supercuerdas (TSC).

Pero en los últimos tiempos, se ha llegado a contar con nuevos instrumentos de ideas físico-matemáticas, que podrían otorgar un arrinconamiento definitivo de esta teoría o entregar la clave para dar un paso decisivo en la unificación teórica de la relatividad y las cuánticas.

Las conclusiones que periódicamente llegan los adherentes a la TSC en las reuniones String Duality, se centran en el entusiasmo de proclamar que esta entrega la única forma, hasta ahora, de poder contar a futuro con una teoría cuántica consistente con la gravedad.

La Teoría de las Supercuerdas (TSC) comienza con el concepto de dimensiones adicionales de Kaluza-Klein y comporta una enorme complejidad muy difícil de comprender para los que no están directamente involucrados en sus modelos matemáticos. Con ella se aspira a resolver el más enigmático problema matemático que comporta la física teórica en los finales del siglo veinte: la incompatibilidad matemática de los pilares fundamentales de la mecánica cuántica con la Teoría de la Relatividad General.

Para comprender los fundamentos que conlleva la aspiración de resolver los aspectos incompatibles que tozudamente nos presentan la relatividad general y la mecánica cuántica, podemos recurrir a un ejemplo que aclarará qué clase de dificultades plantea la combinación de ambas. El punto de partida de la relatividad general es el "principio de equivalencia": un campo gravitatorio local es indistinguible de un movimiento acelerado. Si estuviéramos en el espacio exterior en un cohete en aceleración uniforme, nos veríamos atraídos hacia el suelo como si en el cohete existiese un verdadero campo gravitatorio (como si el cohete se hallase en la superficie de un planeta).

Einstein reconocía en este principio de equivalencia que la presencia de un campo gravitatorio local es sólo un símil de si un observador está acelerando o no; es decir, depende del sistema de coordenadas con que decida medir su movimiento. Por ejemplo, si eligiéramos para el sistema de coordenadas el cohete en aceleración es factible considerar que habría un campo "gravitatorio", pero en un sistema de coordenadas que no esté en aceleración no habrá ninguno. Pero las leyes matemáticas fundamentales de la física deberían ser iguales para todos los observadores, independiente de que el observador esté acelerando o no con respecto a otro. Si no, las leyes fundamentales dependerían de la elección arbitraria por un observador de un sistema de coordenadas determinante, y ese tipo de arbitrariedad no debería darse en las leyes fundamentales. Este principio de "invarianza coordinada general" se halla incorporado a la Teoría de la Relatividad General. A este respecto, va más lejos de la primera teoría de la relatividad especial de Einstein que sólo exigía que las leyes matemáticas de la física tuviesen la misma forma para observadores que

estuvieran moviéndose de manera uniforme en relación los unos con los otros: un movimiento especial a una velocidad constante.

Según la teoría relativista del campo cuántico, un campo de gravedad constante crea un baño radiante de partículas cuánticas, como los fotones, a una temperatura determinada. Sería como estar dentro de un horno (por suerte, esta temperatura es muy baja en la fuerza de gravedad de la Tierra). Pero el principio de equivalencia entraña que un campo gravitatorio sea lo mismo que una aceleración. En consecuencia, un observador en aceleración ve un baño de partículas cuánticas creadas por el campo "gravitatorio", mientras que el que está inmóvil no lo ve. Se altera, por tanto, la idea misma de creación y destrucción de partículas cuánticas. No está claro lo que quedará del concepto "partícula cuántica" en la relatividad general, pero en la actualidad este concepto es esencial para la visión que tienen los físicos del micromundo.

Los dominios usuales de la relatividad general y de la mecánica cuántica son bastante disímiles. La relatividad general comporta la capacidad de describir la gravedad aplicada para objetos grandes, masivos como estrellas, galaxias, agujeros negros, estructuras cosmológicas, y el propio universo. Con respecto a la mecánica cuántica, ésta se centra en describir lo minúsculo, las estructuras pequeñas del universo, tales como electrones quarks, etc. Por lo tanto, cuando requerimos de la física conocer los diferentes aspectos relacionados con la naturaleza, concurrimos indistintamente a la relatividad general o a la mecánica cuántica para una comprensión teórica, claro que, juntas pero no revueltas. Sin embargo, cuando demandamos conocer razones de comportamiento de aspectos naturales que demandan explicaciones más rigurosas y profundas, hasta ahí llegamos, ya que normalmente se requiere la participación de ambas para lograr un tratamiento teórico apropiado, se nos acaba la gasolina intelectual y se estrangula la capacidad computacional preexistente.

Comprender los escenarios del espaciotiempo, "singularidades" de los agujeros negros, o simplemente el estado del universo primario antes de la gran explosión, corresponde a una muestra concreta de lo anteriormente descrito. Son estructura físicas exótica que requieren, por un lado, involucrar escalas masivas enormes (relatividad general) y, por otro, escalas de distancias diminutas (mecánica cuántica). Desafortunadamente, la relatividad general y la mecánica cuántica son, en alguna medida, incompatibles: cualquier cálculo que se intente realizar usando simultáneamente ambas herramientas genera respuestas que, por decir lo menos, absurdas. Esta situación queda en clara evidencia cuando se intenta estimar matemáticamente la interacción de partículas en trazados cortos, como los que se dan en lo que se llama la escala de Planck 10^{-33} cm.

Con la Teoría de las Supercuerdas se pretende resolver el profundo problema que acarrea la incompatibilidad descrita de estas dos teorías a través de la modificación de propiedades de la relatividad general cuando es aplicada en escalas superiores a la de Planck. La TSC levanta su tesis sosteniendo la premisa que los elementos comitentes fundamentales de la materia no son correctamente descrito cuando sólo determinamos configuraciones de objetos puntos, ya que si se llevaran a distancias de un radio aproximado a la escala de Planck, ellos entonces parecerían como minúsculos apiñamientos de bucles de cuerditas. Los aceleradores de partículas modernos están lejos de poder probar eso, ya que sólo son capaces de llegar a distancias de hasta 10 cm. y, dentro de ese espacio, todavía se ven puros puntitos. Sin embargo, la hipótesis de la TSC sostiene que la configuración que adquiriría la materia de pequeñísimos rizos o bucles cuando interactúan en cortísimas escalas de distancia presentaría ésta un comportamiento drásticamente distinto al que hasta ahora hemos logrado observar. Ello sería lo que permitiría a la gravedad y a la mecánica cuántica constituir una unión armónica.

En la TSC se propugna que las sesenta partículas elementales, que muchos de nosotros "tradicionalmente" consideramos que por ser ellas indivisibles y que vienen a ser como un punto en el espacio, puntos matemáticos, sin extensión, se transforman en la TSC en objetos extensos, pero no como esferitas sino más bien como cuerdas. Se consideran como restos en forma de rizo o bucle del cosmos primitivo, tan masivas que un trocito de un centímetro de largo y una trillonésima del grueso de un protón

pesarían tanto como un macizo cordillerano. Se cree que estos hipotéticos objetos se crearon durante las llamadas transiciones de fases, períodos críticos en los cuales el universo sufrió un cambio análogo a la forma en que el agua se convierte en hielo o vapor.

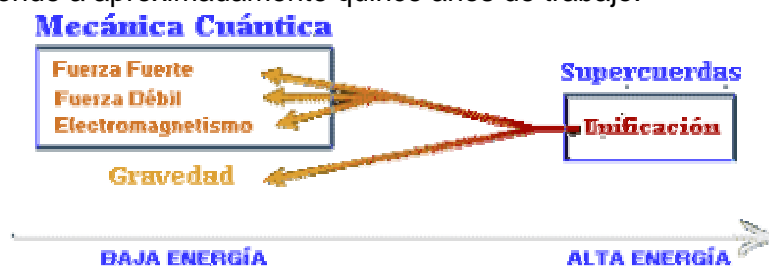
La primera transición de fase ocurrió una minúscula fracción de segundo después del Big Bang. Cuando el universo niño se enfrió, pasó de un estado de pura energía a uno de energía y materia: La materia se condensó y nació a la existencia y, durante otras transiciones posteriores, procesos similares separaron fuerzas como la nuclear fuerte y la nuclear débil una de otra. A cada estadio, transiciones irregulares pudieron haber creado fallas en el espaciotiempo. Dentro de estos defectos, el espaciotiempo retuvo las fuerzas y la materia de la fase anterior.

En esta idea de las supercuerdas, los puntos que hemos anteriormente mencionado y que vienen a ser una forma como los "conservadores" identificamos a las partículas elementales, adquieren -como también señalamos- forma de una cuerda. Mientras los puntos no tienen forma ni estructura, las cuerdas tienen longitud y forma con extremos libres parecido a las comas o también se pueden dar en la forma de una elíptica, cerrada redonda, etc. Si el punto cabe distinguirlo como un minúsculo trocito de la punta de un elástico de goma, la cuerda viene a representar el elástico estirado y con él se pueden hacer círculos y toda clase de figuras. O sea, entrega una multiplicidad de posibilidades de configuración.

La premisa básica de la teoría de cuerdas es aquella que considera la descripción de la materia y el espaciotiempo a escala de Planck un profundo entretejido. Una descripción sucinta de ello es aquella que contempla un objeto extendido igual que una cuerda (cuerda abierta) u otro que puede cerrarse (cuerda cerrada). Son objetos que se propagan por el espacio de fondo y al hacerlo generan una superficie llamada "hoja de mundo". Los objetos básicos son las cuerdas y la teoría para ellos introduce una constante (de acoplamiento) fundamental la cual es proporcional al inverso de la tensión de la cuerda. El límite puntual o equivalente para bajas energías se obtiene haciendo '0.

Hemos señalado que la teoría de cuerdas han vivido muchos altibajos y, se puede decir que, a principios de la década de los setenta, ésta, prácticamente, se encontraban casi en el olvido. En 1974, J.H. Schwarz y J. Scherk, por casualidad, observaron que la teoría proveía un estado de la cuerda con un acoplamiento tal, que el límite puntual correspondía precisamente con el de la relatividad general de Einstein. Ello fue lo que sugirió a muchos físicos que la TC podría comportar las cualidades esenciales para transformarse en una teoría de unificación de las cuatro fuerzas de interacción que conocemos hasta ahora de la naturaleza, incluyendo a la gravedad.

La síntesis de todo estos resultados se realizó en 1983, quedando finalmente estructurados en la formulación de lo que hoy se conoce como Teoría de las Supercuerdas TSC. Lo sintetizado en ello obviamente no tuvo nada de trivial ya que corresponde a aproximadamente quince años de trabajo.



Ya para 1984, existían varias teorías de supercuerdas en 10 dimensiones clasificadas de acuerdo a los tipos de espinores en las dimensiones. Pero todas estas teorías comportaban una serie de irregularidades llamadas "anomalías". En ese mismo año '84, M.B. Green y J. Schwarz descubrieron un método para anular las anomalías de Yang-Mills y gravitacionales llamado mecanismo de Green-Schwarz, liberando con ello

a tres teorías que mostraban inconsistencia. Estas fueron la Tipo I (con grupo de norma $SO(32)$), Tipo IIA, y Tipo IIB.

Por otra parte, también en 1984, se presentaron dos nuevas teorías a las que se les llamó Heteróticas y que satisfacían el mecanismo de Green-Schwarz, con grupo de norma $SO(32)$, Het ($SO(32)$), y $E8 \times E8$. Ellas fueron propugnadas por D.J. Gross, J.A. Harvey, E. Martinec y R. Rhom. Luego se logró identificar, gracias a los aportes de P. Candelas, G.T. Horowitz, A. Strominger, y E. Witten, a la Heterótica $E8 \times E8$ como la candidata más prometedora para constituirse en una teoría que unificara a las interacciones fundamentales incorporando en forma natural a la gravedad de la relatividad general. En este proceso, se logró diseñar, dentro de los límites de baja energía, una teoría que se asemeja bastante a la GTU que sucintamente describimos en la separata correspondiente, pero con una ventaja de que, muchas de las propiedades, tales como el número de generaciones de leptones y quarks, el origen del sabor, etc. son deducidos por la teoría en diez dimensiones a través de un mecanismo de compactificación de seis de las diez dimensiones, que trataremos de explicar en las siguientes separatas. Pero resumiendo, podemos señalar que es posible contabilizar la existencia de cinco teorías de supercuerdas que serían consistentes conteniendo gravedad: I, IIA, IIB, Het ($SO(32)$), y Het ($E8 \times E8$) y que a partir de éstas se llegaría a la obtención de una gran teoría unificada.



Si existen, las cuerdas cósmicas o supercuerdas, no tendrían ni principio ni fin. ¿La longitud de la cuerda? Pequeñísima. Tan pequeña, que en proporción, su relación de tamaño con el número atómico es equivalente a la de un átomo ¡con el sistema solar completo! Aquí se ha llegado a tamaños verdaderamente pequeños. Veamos si logramos describirlo así. Pensemos que el núcleo es al átomo como una pulga lo es a un estadio de fútbol; con la propuesta de la TSC una cuerda es al núcleo como un átomo es al sistema solar. Después de esto, se hace innecesario hablar de unidades métricas, ya que estaríamos diciendo millonésimas de milímetros. Pero en la medida que uno se introduce en las ideas medulares que propugna la TSC, nace la pregunta sobre la importancia que, en cifras tan pequeñas, pueda haber entre puntos y cuerdas. Para la Teoría de las Supercuerdas es de una importancia sustancial. Una cuerda, en comparación a un punto, cuenta con la condición de vibrar, y en la teoría, cada nota de su vibración puede representar una partícula diferente. Así, una misma cuerda puede dar origen al electrón, al fotón, al gravitón, al neutrino y a todas las demás partículas, según cómo vibre. Se sostiene que las cuerdas son objetos unidimensionales extendidos que evolucionan en el espaciotiempo. Pero esta evolución sólo se hace consistente en 10 dimensiones o más, apuntando uno de los aspectos más sorprendentes de la teoría. Las cuerdas formarían rizados o bucles y/o se extenderían hasta el infinito, vibrando con un ritmo que enviará ondulando olas de gravedad a través del espacio. Puesto que las cuerdas cortas oscilarán rápidamente, disipando su energía en unos cuantos millones de años, sólo las cuerdas más largas, con poderosos índices de oscilación, seguirán todavía a nuestro alrededor. Pero serían las ya hace tiempo desaparecidas cuerdas cortas las causantes primarias de la creación de los cúmulos de galaxias que hoy observamos.

El inconveniente más serio que se presentaba permanentemente en las teorías de cuerdas y también en la TSC era la dificultad que se tenía, y que aún en algo persiste, para hacer cálculos más precisos. Pero ello, en los últimos años, ha venido siendo abordado con la creación de un conjunto de nuevas herramientas que han permitido soslayar, en alguna medida, las limitaciones matemáticas de la teoría.

Estas herramientas son las que se conocen como dualidad, y aunque la trataremos con alguna detención en la separata N° 7, aquí podemos señalar que se trata de la inserción en las ecuaciones de la Teoría de las Supercuerdas de un cierto tipo de simetría.

Hasta ahora, sólo queda esperar para ver si los nuevos modelos matemáticos cumplen un rol semejante al que sucedió con el que, finalmente, se aplicó para desarrollar antimateria y, con ello, hacer posible predicciones verificables en forma experimental para la Teoría de las Supercuerdas.

Podemos concebir que algunos aspectos de la teoría no se encuentran alejados de los ya experimentados, ya que hay que tener presente que en las observaciones astrofísicas es posible comprobar teorías de partículas. Para ello, basta recordar de que lo que hoy día se ve del universo, es el la radiografía del pasado y, aquí se nos da una forma de poder abordar la TSC, ya que si pensamos en el universo retrospectivamente hacia el estado en que las densidades y las energías son cada vez mayores, se llega a un momento en que todas las predicciones de la Teoría de las Supercuerdas se convierten en importantes. En este sentido el universo es un laboratorio de una gran eficiencia experimental para comprobar teorías.

Se supone que el Big Bang, que dio origen al universo, distribuyó la materia regularmente a través del espacio. De lo anterior, tenemos pruebas en la radiación de microondas que nos llegan con igual intensidad desde todas direcciones. Pero el quid es que las evidencias observacionales también revelan una gran grumosidad del universo: galaxias y cúmulos de galaxias parecen producirse en la superficie de interconectados vacíos parecidos a burbujas, lo que algunos han comparado con un queso suizo. Ahora, cómo es que las supercuerdas fueron, entonces, capaces de generar esas estructuras observadas a gran escala. Una hipótesis propugna que la materia en el universo primitivo sin rasgos distintivos se coaguló alrededor de las supercuerdas, atraída por su poderosa gravedad. Otra idea opuesta a esa hipótesis es de que la presión de la radiación electromagnética de las cuerdas empujó lejos a la materia.

Si las cuerdas fueron el andamiaje subyacente sobre el que se construyó el universo, podrían hallarse pruebas indirectas de su existencia en las observaciones de tipos específicos de lentes gravitacionales. Otra prueba, menos fácil de encontrar, sería el susurro que dejan atrás las ondas de gravedad junto a esos hoy desaparecidos perfiles cósmicos.

Aunque muchos de los físicos que han tomado para sus trabajos a las supercuerdas subrayan que con ellas se podría llegar a alcanzar una descripción completa de las fuerzas fundamentales de la naturaleza, no obstante señalan que igual quedarían muchísimas preguntas científicas sin contestar. En principio, una teoría del universo microscópico es responsable de las propiedades físicas de otros aspectos observables, pero en la práctica -y tan sólo hablando de funciones del pensamiento experimental- es imposible matemáticamente pasar de una a otra, ya que se requeriría un poder de computación inimaginable, incluso con computadoras de dentro de cien años. Sin embargo, existen otros teóricos que han visto en ella la posibilidad de contar con una herramienta que les permita, ahora, conseguir avanzar hacia una descripción unificada de todas las fuerzas del universo y de todas las partículas elementales que dan forma a la materia, de manera de poder formular una teoría del todo. Unificación ésta que, en el mundo de la física, es la más cara aspiración de la generalidad de los científicos. Creemos que tiene que existir esta unificación porque se ha unificado la radiactividad con el electromagnetismo en la Teoría Electro-débil dentro del marco de una confirmación experimental. Pero está por verse si son las supercuerdas el camino correcto o seguirá siendo necesario seguir desarrollando otros campos de investigación.

Para poder explicarnos el universo observable, además de las ecuaciones que describen el universo microscópico, se requieren conocer las condiciones iniciales y, tan solo entonces, podríamos empezar a entender cuales han sido los pasos de su evolución. ¿Serán las supercuerdas que logren ese objetivo?

Por ahora, no se ve nada claro que se pueda estructurar una teoría de las condiciones iniciales. No se observa que podamos tener la capacidad como para explicar todo lo sucedido o deducir matemáticamente todo lo acontecido. La Tierra existe y nosotros estamos en ella, pero ello no lo podemos explicar a partir de un principio, ya que para

ello solamente contamos con herramientas probabilísticas, como es el caso de la mecánica cuántica donde se dan frecuentes accidentes mecanicocuánticos.

CAPÍTULO VII SIMETRÍAS DE DUALIDAD

Ya se ha señalado que la unificación de las interacciones fundamentales, por lo menos matemáticamente, es un principio posible de concluir mediante la TSC. El mecanismo de Green-Schwarz, que puede anular las anomalías, otorga a la teoría un enfoque realista de las interacciones físicas. La conexión con la física de partículas elementales aún no se encuentra muy clara; sin embargo, existen una serie de singularidades generales que comporta la teoría que la hacen interesante para el mundo de la baja energía (100 GeV).

Ahora bien, uno de los problemas más importante que presenta la TSC para producir esas conexiones son los variados espacios de compactificación de la física de baja energía. En la práctica, cada uno de ellos da distinta física de baja energía. Este problema, que no sólo es representativo para las supercuerdas sino que también para la TCSS*, se le conoce como el problema de la degeneración del vacío. Sin embargo, dado uno de estos vacíos se pueden construir modelos de teorías de cuerdas. Ellos se conocen con el nombre genérico de Modelos Construidos a partir de Cuerdas (MCC), que se comparan bastante con las GTU, aunque comportan algunas características diferenciales. Muchas de ellas que en el Modelo Estándar no se encuentran explicaciones, como ser el origen de la existencia de tres familias de fermiones chirales**, la Higgs, etc., con MCC pueden ser obtenidos en término de las propiedades geométricas y topológicas de K, pero quedando todavía pendiente el problema de la selección correcta del vacío de la TSC. ¿Cómo hacerlo? Simple, dejándolo pendiente y ver más adelante que pasa, como lo piensan muchos físicos.

La solución al problema debería proceder del sector no-perturbativo de la TSC como se verá más adelante. Se trata de un problema peliagudo, dado que el sector no-perturbativo de la teoría conlleva el rango de ilustre desconocido. Pese a ello, muchos teóricos cuerdistas se abocaron a la construcción de modelos unificadores, soslayando hasta más adelante el problema de la degeneración del vacío. Ahora bien, los modelos que se han venido construyendo cuentan con características bastante asimili con la GTU. Entre ellas, podemos encontrar, entre otras, las siguientes:

1. La existencia de tres generaciones de leptones y quarks quirales;
2. Supersimetría*** de baja energía;
3. Existencia de axiones;
4. Dobletes de Higgs no masivos (acompañados por tripletes) que obtienen masa a raíz de la simetría espaciotemporal, y
5. Estructura de simetrías discretas globales y locales.

A lo anterior, los cuerdistas insertan la gravedad, cuestión imposible dentro del marco de teorías de campos.

Sin embargo, y pese a las coincidencias descritas, no obstante la teoría cuenta con sus propios argumentos, que tienen relación con la llamada naturalidad. En la elaboración de los modelos de cuerdas no está contemplado ni reproduce el llamado Modelo Estándar Mínimal Supersimétrico (MEMS), lo que implica soslayar los procesos de cambios de sabor. Otra diferencia se encuentra en la falta de predicción en las relaciones usuales entre los acoplamientos de Yukawa, sino que éstos más bien satisfacen relaciones topológicas y geométricas en K.

Ahora, con respecto a la constante cosmológica, hay problemas. Los diferentes modelos cuerdistas no explican el hecho de que ésta debe ser nula. Para resolver ello, se recurre al mecanismo "traductor" llamado dualidades que enunciamos en la separata Teoría de las Supercuerdas, y que hablaremos de ello un poco más adelante, pero que podría darle una solución definitiva al problema dentro del régimen no-perturbativo de la TSC.

Finalmente, en el valor que en los modelos de la TSC se le otorga a la constante de la gravitación universal de Newton también aparece un problema en la predicción de su valor preciso. Éste difiere del valor correcto en un factor aproximado de 400. Pero a ello, también se le encuentra una solución dentro del régimen no-perturbativo de la TSC.

El problema de la degeneración del vacío en la TSC que mencionamos anteriormente, le ha significado, hasta ahora, el comportar la imposibilidad de realizar predicciones físicas a bajas energías que puedan ser contrastadas con experimentaciones. Para saltar el escollo, se piensa en la evolución que podrían tener las dualidades en una formulación cuerda-cuerda.

Las dualidades son un cierto tipo de simetría que aparece en las ecuaciones de la teoría efectiva (a bajas energías) de cuerdas. Se reconocen tres tipos de dualidad: T, S y U; en que la dualidad U es una combinación de la S y la T, siendo la T la equivalencia entre dos TC, una compactificada sobre un volumen grande y otra sobre un espacio pequeño. Por otro lado, la dualidad S se refiere a la equivalencia entre dos teorías de cuerda, una con un acoplamiento fuerte y la otra débil. En el fondo, la dualidad S es una clase muy parecida a la que presenta la eléctrico-magnética que aparece en las ecuaciones de Maxwell en el electromagnetismo y es considerada por la comunidad científica internacional como una de las grandes contribuciones que se han realizado en los últimos años en teorías de campos. Además, fue muy importante su contribución en los pasos iniciales para el establecimiento de las simetrías de dualidad en la TSC.

La participación de las dualidades S que se han mencionado en la TSC en diez dimensiones, muestran un resultado que, aparte de ser inesperado, no deja de sorprender. Las cinco teorías de cuerdas que reconocimos en la separata La Teoría de las Supercuerdas se encuentran unificadas por las dualidades S que hemos descrito; pero más allá que ello, y dentro de un marco conceptual, también se han realizado trabajos en que se demuestra que con dualidades S es factible relacionar las teorías de cuerdas que se han estado mencionando con otra que cuenta con una dimensión más, o sea, once dimensiones, llamada teoría M, que requiere a una supergravidad**** con iguales dimensiones como propiedad de un límite de baja energía. Pero al margen de lo anterior, hay un hecho relevante a destacar dentro de las propiedades de las dualidades S. La existencia de las simetrías de dualidad S en la TSC requiere de manera sustancial de la mecánica cuántica, es decir, la dualidad S es esencialmente cuántica.

A la actualidad, se han entrelazado por dualidades un número sustancial de teorías. Se ha distinguido que casi todas las teorías, con excepción de las del tipo IIB, pueden ser obtenidas geoméricamente a través de compactificación sobre el círculo y la recta de la teoría M. A ello, se le ha venido reconociendo como "el poder de la teoría M", calificativo acuñado en uno de sus artículos por John H. Schwarz.

La utilidad que han demostrado las dualidades para la TSC es importante, ya que permite formular la teoría dentro de un régimen no perturbativo y, a su vez, encontrar soluciones. Es posible que esa formulación ayude a resolver los problemas de la teoría en relación con la degeneración del vacío y el rompimiento de supersimetría a baja energía.

Pero la aparición de nuevas teorías y el aumento de dimensiones parece ser una constante de la TSC. En efecto, en febrero de 1996, se difundió una nueva teoría de cuerdas, pero esta vez con doce dimensiones, con el objeto de otorgar una mayor consistencia a las dualidades; su nombre Teoría F y su propugnador Comrun Vafa. Esta teoría reúne la cualidad de derivadora, tanto para la teoría M y sus generadas, como para las teorías del tipo IIB. Además, en esta teoría se presenta en forma natural un mecanismo para explicar el por qué la constante cosmológica es cero, usando para ello la región de acoplamientos fuerte y la dualidad S.

Otro aporte importante de las dualidades para limar las asperezas de la TSC ha sido su contribución para predecir el valor correcto de la constante de gravitación universal de Newton, hecho que pudo realizarse entre la TC heterótica y la teoría M usando una variedad que es denominada como de Calabi-Yau. Ello, era imposible de obtener en el

sector perturbativo de la TSC y permitió lograr una unificación de las tres constantes de acoplamiento de norma y la constante de gravitación a escalas cercanas a 10¹⁶ GeV.

Es posible que las dualidades que se insertan en las teorías M y F jueguen para el futuro de la TSC un papel sustancial en cuestiones que deberán ser resueltas, como son la degeneración del vacío y el rompimiento de la supersimetría a baja escala de energía. Intentos ya han existido en materia de obtener contactos con la física de baja energía, sobre la base de la posibilidad de que el vacío real de la TSC debe caer en la región fuertemente acoplada. Si ello se lograra comprobar, tanto las teorías M como F, entonces, adquirirán ribetes importantes para la búsqueda de predicciones físicas en escalas de baja energía, ya que podrán aportar más de un antecedente para resolver el problema de distinguir que cálculos son factibles de contrastar con experimentos. Lo anterior es de una importancia significativa para la TSC, ya que ello va a ser, a final de cuentas, lo que le va a otorgar el grado de teoría de la física o la va a dejar como archivos de ejercicios matemáticos y especulativos, y perteneciente a la familia cuyo nombre es...¡adivinar!... "Las que quisieron pero no pudieron".

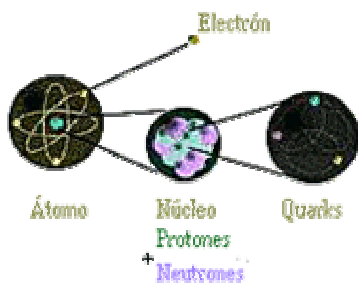
-
- (*) TCSS : Teoría de Campos Supersimétricos
 - (**) Chirales: La chiralidad de los fermiones es una particularidad de las TC, independiente de la compactificación, ya que no es derivable en la Teoría de Kaluza-Klein
 - (***) Supersimetría: simetría que relaciona partículas de espín entero.
 - (****) Supergravidad: Teoría para la materia acoplada a la relatividad general consistentemente con la supersimetría.

CAPÍTULO VIII QUÉ SE BUSCA CON LAS SUPERCUERDAS

Antes de introducirnos en la descripción de esta parte de este trabajo, la cual está pensada para desarrollar puntualizaciones precisas sobre la Teoría de las Supercuerdas, es necesario -a mi entender- asumir la capacidad de distinguir entre especulaciones científica y resultados confirmados por experimentos.

Las supercuerdas no es más que una de las muchas maneras que los científicos usan para desarrollar los conocimientos que la humanidad reclama y necesita para su propia evolución. Sus adherentes activos han concluido, con mucho entusiasmo, que han tomado un camino acertado que conducirá a entender, más allá, la interacción de la materia. Más allá, porque el propósito que los anima es seguir un camino -- a lo mejor una "idea loca" o "adivanzas matemáticas", para algunos-- que los pueda conducir a encontrar una total comprensión de la materia y, quizás de todo, partiendo desde el punto de vista de unas pocas cuerditas que se mueven al compás de nueve dimensiones más el tiempo, que es la cifra dimensional más frecuentemente usada en las correspondientes ecuaciones.

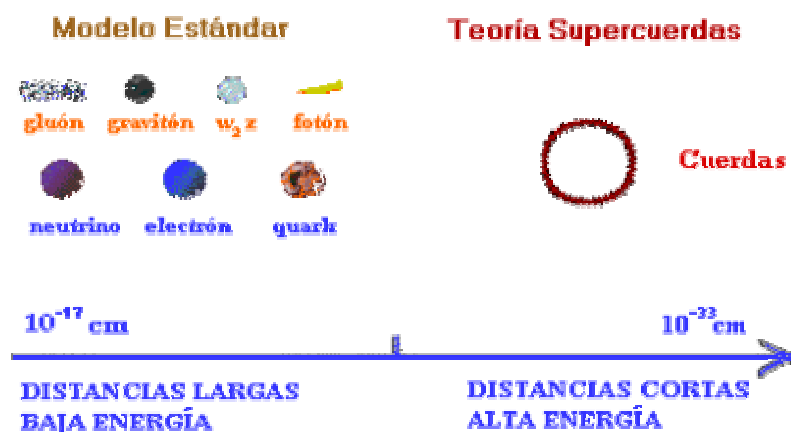
El que existan o hayan existido las cuerdas, el pensar en ello nace de la siguiente reflexión: históricamente, siempre hemos observado en el interior de un átomo que en esa estructura aparecen subestructuras: adentro de un átomo hay núcleos, y adentro de éstos hay quarks. Por qué no se puede pensar que un quark comporta un subquark, y que fuera de éste se genera otro subquark y, así, sucesivamente. Ello viene a ser un procedimiento primario de la investigación científica que aparece como detenido y que con las supercuerdas retomarí la acción, aunque, en alguna medida, por caminos distintos.



En las supercuerdas se intenta una desagregación investigativa de los procedimientos previos que se han seguido en

el conocimiento de la materia, incluido sus mejoras. La idea medular de la Teoría de las Supercuerdas es que todas las partículas, todos los conductores de fuerza, y la gravedad se armonizan igualmente en un sentido bajo los sonidos de un tilín de vibraciones de cuerditas que aparecen como objetos. Para entender la aparición de las cuerditas basta con recordar el ejemplo que colocamos anteriormente de la visión que obtenemos desde lo alto en el vuelo de un avión cuando observamos la autopista. Aparecería la materia, cuando es observada desde altísimas distancias, como un objeto vibratorio semejante a pelitos. Así, una quark nos parecería como un pelillo extendido unidimensional. Pero al achicarse más la escala, el quark va apareciendo como si estuviera constituido como una cuerdita que genera interactivamente muchísimos subquarks alrededor de ella. En esto, no cabe la menor duda, que es una forma bastante diferente de hacer ciencia, de elaborar teorías de física.

En la Teoría de las Supercuerdas la gravedad se encuentra matemáticamente inserta dentro de una consistente estructura mecánico cuántica. La TSC desarrolla una novedosa idea para describir las partículas elementales dentro de un formato diferente a como la gente lo ha venido haciendo. Hasta ahora, se ha considerado a las partículas elementales como puntos sin procederse a estimar su extensión, tan solo y simplemente puntos matemáticos. Y, es eso, lo que nos presenta los problemas cuando intentamos introducir la gravedad en la teoría. Con la TSC, al propugnarse la idea de que las partículas no sólo son un punto sino líneas unidimensionales insertas en rizados que adquieren diferentes conformaciones, el problema matemáticamente se soslaya, cuando se considera a los bucles como partículas elementales. En la Teoría de las Supercuerdas se presenta implícita la deseada unificación. Dentro de ella no se plantea la existencia de unos precisos tipos de objetos, y que los demás se generarían alrededor o fuera de estos. Lo que se propugna es que un objeto unidimensional, parecido a una cuerda, puede adquirir diferentes conformaciones y estructuras geométricas. Es un fenómeno semejante al que ocurre cuando se aplica un punteo en las cuerdas de una guitarra. Se dan variados sonidos con la vibración de las cuerdas. Los tonos diferentes que produce la vibración de una cuerda son la analogía de distintos objetos.



En esa misma forma, existe una cuerda fundamental que en distintas vibraciones una partícula elemental puede ser detectada en condiciones de baja energía y grandes distancias. Una vibración es un quark; otra distinta es un fotón; la partícula de la luz vibra agudo y se observa como un electrón; hace un tilín y aparece un gravitón, la partícula que daría origen a la fuerza gravitatoria.

Las distintas vibraciones se producen en un mismo objeto. Es la unificación de todo, de las partículas, de la interacción, de partículas que manejan interacción, son todas vibraciones de la misma cuerda.

Pero, entonces ¿cuál sería la partícula fundamental dentro de la concepción de la TSC?

En el tiempo siempre se han dado cambios fundamentales en esta materia. Consideramos a los átomos como los ladrillos fundamentales de la construcción de la naturaleza; se pensó en los protones como fundamentales, luego los quarks. En TSC ellos siguen siendo ladrillos fundamentales en la construcción del edificio, pero son las consecuencias diferentes de la vibración de una cuerda, pasando ésta a ser también fundamental. Una cuerda, en cierto sentido, corresponde a un número infinito de partículas elementales, debido a que cada una de ellas comportan la facultad de poder vibrar en una multiplicidad de maneras. Es el distinto "tono" de las vibraciones el determinante que sugiere las propiedades de las partículas elementales.



Según los físicos supercuerdistas, la TSC viene a ser la simplificación natural o el mejoramiento de nuestra teoría clásica de partículas. En la actualidad, la capacidad de observación de partículas está dada sólo para aquellas que se dan a bajas energías, ya que para las partículas masivas se requieren aceleradores de una magnitud que hoy no se cuenta. Ello es lo que hacen atractivas las cuerdas. En bajas energías, con las vibraciones de una sola cuerda, no sólo se dan partículas elementales como quarks, leptones, fotones, gluones, sino que habría que agregarle un número infinito. La Teoría de las Supercuerdas sería la remplazante natural de la actual estructura teórica focalizada al conocimiento de la materia.

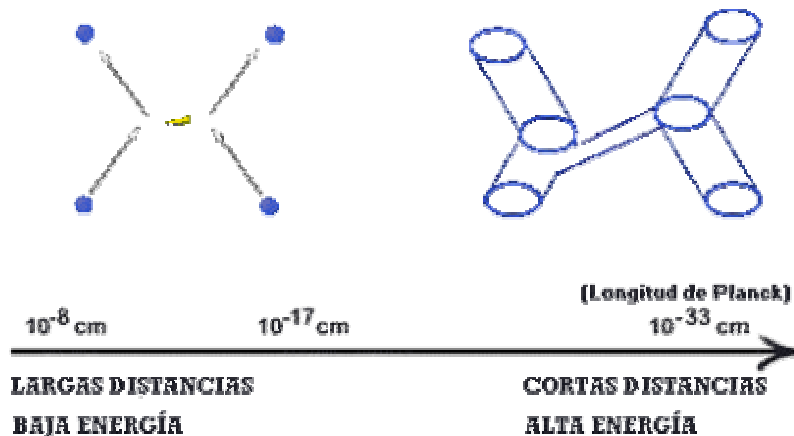
En el marco de la interacción particulada familiarizadamente podemos señalar que un electrón se moviliza a lo largo y en algún lugar otro electrón ingresa al sitio, cuando se logran juntar uno de ellos genera un fotón, y retrocede, y se mueve en otra dirección. El compañero absorbe el fotón, se excita, y se vuelve a mover en otra dirección. El resultado de este proceso es que los electrones entran como una cosa y salen como otra.

GRANDES DISTANCIAS, BAJAS ENERGÍAS

Ese proceso, que corresponde a la interacción electromagnética, puede ser explicado por la existencia de partículas livianas como los fotones que observamos en trazos de distancias largas o en trazos más cortos pero no cercanos a la longitud de Planck, cuando visualizamos la interacción en nuestros aceleradores de alta energía.

**LONGITUD DE PLANCK
DISTANCIAS CORTAS, ALTA ENERGÍA**

Ahora bien, si tuviéramos la capacidad de hacer observaciones dentro de las mediciones de la longitud de Planck, la interacción que hemos expuesto la observaríamos como si viéramos a un electrón con la forma de una cuerda que se moviliza a lo largo de una especie de tubo o caño. En cualquier momento, la cuerda entubada se mueve fuera del tubo, y entonces genera una cuerda fotón, y se excita y, otro electrón, absorbe la cuerda fotón. Así, se puede visualizar a una cuerda electrón moviéndose para acá y otra para allá, intercambiándose una cuerda fotón.



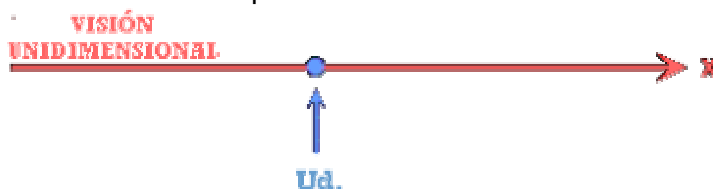
Según la relatividad general la masa curva a la luz. Una de las conclusiones consecuentes a que se llega en la TSC, partiendo de la afirmación comprobada relativista, es que en un sentido fundamental las cuerdas cohabitan dentro de un mayor número de dimensiones a las tres espaciales observadas. El número más preciso que se ha dado es nueve. Ya Einstein, después de haber propuesto en la Teoría de la Relatividad General que específicamente es la gravedad la dinámica del espacio y el tiempo, se percató que el número de dimensiones podría ser mayor a las tres que normalmente distinguimos. Podrían existir dimensiones extras en objetos muy pequeños y comprimidos.

Imaginémonos seis balones dimensionados suspendidos en distintos puntos del espacio. Ellos siempre es posible para cualquier teoría que en su estructura contemple la gravedad. La Teoría de las Supercuerdas lleva a esa posibilidad: imaginándose que las cuerdas cohabitan dentro de un espaciotiempo de diez dimensiones. Claro que ello, puede que no sea así, ya que sólo, hasta ahora, hemos podido observar tan sólo tres dimensiones, pero no obstante es una posibilidad.

-LAS DIMENSIONES EXTRAS OCULTAS-



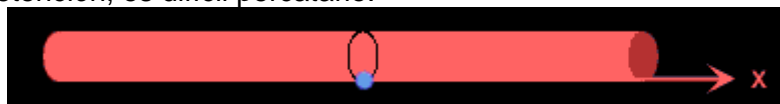
Imaginemos un mundo unidimensional que podemos describir con una sola dimensión, una sola coordenada. Un punto se movería o hacia la izquierda, o hacia la derecha. Con una sola dimensión las posibilidades son de moverse hacia a..., a lo largo de....



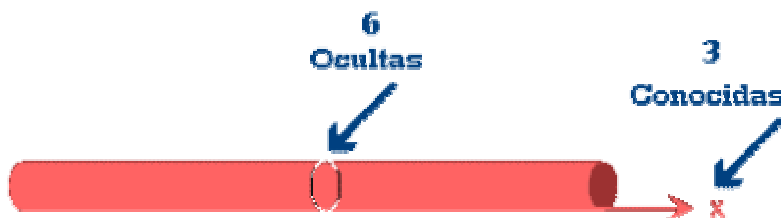
Pero alguien descubre que existía otra dimensión que se encontraba oculta. Entonces hablaríamos de un mundo semejante a un tubo o caño. Tiene una dimensión X, pero también podrían encontrarse otras. Si el tubo es muy pequeño, o si no podemos ver a distancias cortísimas, entonces siempre el tubo nos parecerá unidimensional.



Pero en una observación más acuciosa es factible ver que existe una forma circular y que a través del círculo es posible también moverse a su alrededor. Aquí, se encuentra una segunda dimensión, con una diferencia: esta dimensión se cierra. O sea, se vuelve al mismo punto. Ello, en un objeto como un pelo, sino se observa con gran detención, es difícil percatarlo.



La TSC señala que al margen de las tres dimensiones que conocemos, hay otras seis que no podemos ver por que son muy pequeñas. La razón para ello es de que tienen la misma característica pequeña en tamaño de longitud.



1 dimensión de tiempo + 9 dimensiones espaciales = 10 dimensiones

Los físicos que trabajan con supercuerdas afirman que de modo singular surgen en esta teoría dimensiones extras al intentar explicar mecanismos básicos que rigen el mundo de cuatro dimensiones (tres espaciales más el tiempo). Pero por si fuera poco complicado, ellos se encuentran en sus cálculos con seis dimensiones más, lo que ha venido ser el meollo más criticado de las supercuerdas.

"Nos gustaría trabajar con cuatro dimensiones, sería estupendo que la teoría predijera sólo cuatro dimensiones, pero no es así". Ha acotado uno de los más conocidos físicos seguidores de las supercuerdas Paul Townsend.

"La diez o más dimensiones no son algo queelijamos libremente, sino que algo que predice la teoría". continúa.

Bien, pero ¿dónde están los bichos que aparecen y desaparecen en nuestro mundo de tres dimensiones espaciales? No se ha visto nada así que reclame más dimensiones para ser explicado y no existen dimensiones de este tipo en la actualidad.

Pero los especialistas en supercuerdas afirman que surgen las dimensiones extras como una necesidad al intentar describir la historia del universo en sus primeros instantes, cuando tenía la edad de una billonésima de billonésima de segundo y la gravedad estaba todavía unida (era lo mismo) a las otras fuerzas de la naturaleza. Fuerzas, por cierto, como el electromagnetismo y la fuerza nuclear débil de la desintegración atómica (y esto ha sido comprobado experimentalmente) que era lo mismo en el cosmos muy joven aunque ahora perezcan muy diferentes.

Con las supercuerdas se espera encontrar una explicación para las partículas elementales, sus propiedades y sus fuerzas de interacción, explicar lo que sucede con el espacio y el tiempo a distancias muy pequeñas. Describir al universo bajo una estructura matemática en la cual se requiere a la gravedad para su consistencia, mientras que todas las teorías físicas previas en las que está implicada la mecánica cuántica no son consistentes al introducir la gravedad, que es una de las fuerzas de la

naturaleza y que no se puede dejar de lado si se anhela tener una comprensión acabada.

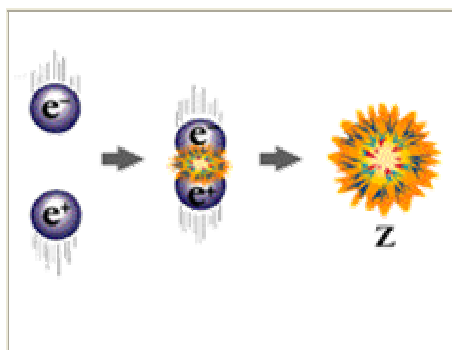
La idea básica en la cual se sostiene el modelo de las supercuerdas es que en cierto sentido sólo hay una partícula elemental, un tipo de cuerda, como ya hemos intentado describir anteriormente, que puede vibrar y moverse en modos diferentes. Así, todas las partículas observadas (como los quarks o electrones) son diferentes movimientos y configuraciones de una supercuerda. Por ello es que la Teoría de las Supercuerdas exige que hayan dimensiones espaciales adicionales sumadas a las tres convencionales más el tiempo.

Las dimensiones extras de estas cuerdas tienen que estar enrolladas en sí mismas en configuraciones muy pequeñas de manera que no son observables normalmente. La única manera de poder verlas -si que existen- sería en experimentos de muy altísima energía, muy por encima de la que se ha alcanzado con los más potentes aceleradores de partículas que hasta hoy se conocen.

Si el universo tenía muchas más dimensiones que ahora en sus comienzos ¿dónde han ido a para las que ahora no percibimos? La respuesta que dan es que éstas se compactaron espontáneamente que se convirtió en algo infinitamente pequeño. Se convirtieron en algo tan pequeño que no podemos apreciar, algo así como un lápiz que tiene tres dimensiones pero se ve como una línea (como si perdiera una dimensión) al alejarse y hacerse más y más pequeño ante nuestros ojos.

La Teoría de las Supercuerdas sugiere que la gravedad estaba integrada con las otras fuerzas de la naturaleza al principio del universo, cuando, estaban todas las dimensiones desplegadas; luego se escondieron varias de ella, las fuerzas se diferenciaron y el cosmos evolucionó hacia su estado actual: cuatro fuerzas distintas en cuatro dimensiones.

CAPÍTULO IX CONTROVERSIAS



En cosmología, las partículas exóticas no sólo hay que proponerlas, es necesario también comprobar su existencia en experimentos de laboratorio y/o en observaciones.

Una de las primeras controversias sobre la Teoría de las Supercuerdas que salta al tapete en las discusiones entre físicos teóricos es aquella en la que se subrayan diferencias como el caso del Modelo Estándar (que explica la interacción de fuerzas y partículas) y sobre el cual la física ha sido capaz de extraer predicciones contrastables en laboratorios, a diferencia en el marco de las supercuerdas que ello no ha sido posible, ya que no se han logrado hacer predicciones verificables con experimentos. Es decir, que todos los esfuerzos que se han gastado en su elaboración pueden acabar siendo un excelente ejercicio de especulación matemática. Claro que, de tener éxito, no sería esta la primera vez que un descubrimiento puramente teórico en la ciencia de la física acaba dando en el clavo y profundizando espectacularmente en el conocimiento de la naturaleza.

Uno de los problemas ligados a la Teoría de las Supercuerdas y que más resalta es el que tiene que ver con la propia pequeñez de las cuerdas. Mientras más pequeño es algo, más difícil es de ver. Y estas supercuerdas son tan superpequeñas que no se observan esperanzas para hacer experimentos que nos puedan acercar a sus dimensiones. Sin experimentos no se pueden hacer comprobaciones de sus predicciones ni saber si son correctas o no. Exagerado, puede ser. Pero cada día se hace más insostenible su consideración sosteniéndola, tan sólo, con los fundamentos de un muy bien elaborado pensamiento experimental con el soporte de bellas ecuaciones matemáticas, o con algunas verificaciones experimentales que, para este caso, vienen a ser como indirectas, llámese Helio-3 y su superfluidez, etc..

En esta teoría, hay problemas que se encuentran dentro de los enunciados de sus propios conceptos. Para desarrollar su formulación es necesario apelar a lo menos a diez dimensiones y, en algunos casos, se han llegado hasta un número de veintiséis: espacio (3), tiempo (1) y a ellas se le agregan seis más como mínimo, que parecen estar enroscadas e invisibles para nosotros. Por qué aparecieron estas dimensiones adicionales a las cuatro que nos son familiares y por qué se atrofiaron en algún momento, no lo sabemos. También, la teoría tiene decenas de miles de alternativas aparentemente posibles que no sabemos si son reales, si corresponden a miles de posibles universos distintos, o si sólo hay una realmente posible. En algunas de sus versiones se predice la existencia de 496 fuerzones, partículas como el fotón, que transmiten la fuerza entre 16 diferentes tipos de carga como la carga eléctrica. Afirmaciones como éstas, no comprobables por la imposibilidad de hacer experimentos, son las que plagan a la teoría de una multiplicidad de cuerdas. Ahora, las explicaciones más frecuentes que se dan para lo anterior, es de que los problemas surgen porque esta teoría se adelantó a su tiempo y no existe aún la estructura matemática consistente para formularla adecuadamente.

La carencia de esa estructura matemática ha sido uno de los inconvenientes más serios que enfrentaba, y todavía lo es, la TSC y ello radica en las dificultades que presenta para hacer cálculos detallados. Sin embargo, en los últimos años, en alguna medida, especialmente después de la reunión de físicos teóricos cuerdistas realizada en la ciudad de Madrid, España, en el año 1995, ello se ha venido soslayando, ya que a través de el desarrollo de un conjunto de nuevas herramientas se ha logrado superar, en parte, las limitaciones matemáticas de la teoría.

Esas herramientas son las dualidades a las cuales nos hemos referido sucintamente en la separata N° 7 y que vienen a ser como una especie, si se puede llamar así, de diccionario unificador que permite a los físicos "traducir" sus cálculos realizados en marcos teóricos asequibles a los modelos conocidos a marcos en que lo convencional no funciona. Es como si sabiendo calcular la electricidad y no el magnetismo; al descubrir que ambas fuerzas son dos caras de la misma moneda, se traducen las cantidades de una a otra, haciendo abordable el problema.

Hasta ahora, ninguna propuesta de la Teoría de las Supercuerdas ha podido ser contrastada con experiencias experimentales y, mucho menos, observacionales. Sus logros sólo puede, por ahora, ser chequeados en los correspondientes archivos computacionales y pizarrones de las oficinas de los matemáticos. Ellos han demostrado una serie de conjeturas matemáticas que surgen de manera natural de la TSC. Ahora, ello también a implicado que se haya venido generando una coincidencia o relación entre distintas estructuras matemáticas, de las que ni se sospechaba su existencia y han servido de motor e inspiración para algunos matemáticos.

Es cierto que en los procesos de hacer ciencia no se ha establecido como requisito que las teorías que se elaboran deban ser comprobadas en un paripaso, de ello los científicos, por formación, están muy conscientes. Pero la mera especulación intelectual, limitada para ser experimentada, en el tiempo tampoco es muy útil, ya que dejaría de ser considerada inserta dentro de los rangos de las exigencias consuetudinarias de lo que llamamos hacer ciencia.

Es aceptable considerar que aún la Teoría de las Supercuerdas no ha alcanzado un desarrollo suficiente en el cual sus pronósticos puedan ser contrastados con experimentaciones en los actuales aceleradores de partículas. Pienso que aún se

encuentra lejos de arrimarse a una maduración matemática que permita precisar cuales son sus predicciones. Los cálculos son bellos, pero sumamente difíciles.

En la TSC, se encuentran involucradas las fuerzas fuertes de una manera tal que, antes de comenzar, comúnmente ya se encuentra limitadas las actuales capacidades humanas para calcular. Hay importantes pasos a realizar para poder aprender como llegar a inferir cálculos predictibles y poder ser testeados experimentalmente.

Es posible que para algunos sea inadmisibile que se encuentre en el tapete de las discusiones de física teórica una teoría que todavía no precisa sus predicciones con una contractación experimental. Sin embargo, por las trayectorias que ya han experimentado las teorías de cuerdas, no reúnen aún los méritos como para ser consideradas acientíficas, o meros ejercicios de matemática abstracta. Por ahora, se puede señalar que parece ser que los físicos cuerdistas han ido más allá de los umbrales matemáticos aconsejables, con saltos de pasos que algún día deberán dar.

En el mundo de la física existen detractores de las supercuerdas de la talla de genio como la de Richard Feynman, quien acerca del trabajo de los teóricos de las supercuerdas, afirmaba en una entrevista poco antes de morir, en 1988. "No me gusta que no calculen nada, no me gusta que no comprueben sus ideas, no me gusta que, para cada cosa que está en desacuerdo con un experimento, cocinen una explicación, un arreglo para decir bueno, todavía podría ser verdad".

La Teoría de las Supercuerdas es relativamente joven aún y durante su existencia ha mostrado una alta propensión a ser enfermiza. Surgen problemas, y se la deja de lado; se solucionan los problemas y una avalancha de trabajos resucitan la esperanza. En sus aproximadamente treinta años de vida, este vaivén ha ocurrido más de una vez.

Antes que Feynman hiciera los comentarios que anteriormente citáramos, y que hemos extraído del libro Superstring, ya había comentado de que él era ya un físico de bastante edad y de que ello a lo mejor era la causa de su resistencia a las ideas nuevas como algunos de sus maestros se resistían ante los profundos cambios conceptuales registrados en la física cuando él era joven. Las supercuerdas, dicen sus defensores, integrarían la física actual como la teoría de la relatividad de Einstein integró la gravitación de Newton explicando que sólo era un caso (el de nuestra escala del universo) de leyes más profundas y generales.

Los matemáticos encuentran interesante esta teoría porque las dimensiones extra pueden tener geometrías muy complicadas y hay toda una rama matemática dedicada a explicar sus propiedades.

Como físicos, por ahora, es más aterrizado estudiar y observar el desarrollo de estas ideas teóricas cuerdistas como una consecuencia estética y grata en la consecución de una definitiva teoría unificadora que reúna todos los requisitos necesarios para que pueda ser contrastada con pruebas experimentales.

Al umbral del año 2000, la premisa que se habían colocado los físicos de contar para entonces con una gran teoría unificadora de las cuatro fuerzas, parece que no se cumplirá. Es posible que dentro del próximo primer cuarto de siglo el intento culmine con un final feliz. Pero también es probable que no encontremos esa anhelada teoría, sino sólo una multiplicidad de teorías, cada vez más bellas y mejores. Mi apuesta es que el encontrar una última y gran teoría podría hallarse fuera del alcance de las posibilidades de la naturaleza humana.

BIBLIOGRAFÍA

Heinz R. Pagels, PERFECT SYMMETRY.
Academia de Ciencias de Nueva York.

El libro conduce hasta la frontera del pensamiento científico, al estado del universo antes del Big Bang y a la creación del universo a partir de la nada. Pagels es Director de la New York Academy of Sciences y profesor de Rockefeller University. Entre sus múltiples publicaciones, cabe destacar una de

las más recientes: The Cosmic Code.

Francisco Claro Huneus, A LA SOMBRA DEL ASOMBRO.
Editorial Andrés Bello, 1995.

Yendo desde lo más pequeño a lo más grande, la obra conduce al mundo de la física.

F. Claro es doctor en física de la Universidad de Oregón, Estados Unidos. Es autor de una gran cantidad de publicaciones especializadas. Fellow de la American Physical Society, es actualmente Profesor Titular de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Héctor Hugo García Compeán, FENOMENOLOGÍA DE LAS SUPERCUERDAS.
Departamento de Física, CINVESTAV-IPN, México.

Difundido como un ensayo, García Compeán revisa la correspondencia entre la teoría de cuerdas y la física de partículas elementales. Enfatiza fuertemente los graves problemas de los que ésta adolece y describe la forma en que algunos de ellos son superados y otros podrían serlo mediante la aplicación de las simetrías de dualidad en la Teoría de las Supercuerdas.

Elías Kiritsis, INTRODUCTION TO SUPERSTRING THEORY.

Theory Division, CERN, Ginebra Suiza.

Impreso por Leuven University.

Monografía muy completa sobre los pormenores teóricos-matemáticos de la Teoría de las Supercuerdas.

Nathan Bercovits, AN INTRODUCTION TO SUPERSTRING THEORY AND ITS DUALITY SYMMETRIES.

Universidad del Estado de Sao Paulo, Brasil.

Fernando Quevedo, SUPERSTRING PHENOMENOLOGY: AN OVERVIEW.

Instituto de Física, Universidad Autónoma de México.

P.C.W. Davies and J.R. Brown, SUPERSTRINGS: A THEORY OF EVERYTHING?

Cambridge University.

F. David Peat, SUPERSTRINGS AND THE SEARCH FOR THE THEORY OF EVERYTHING.

MacDonald and Abacus.

Barry Parker, SEARCH FOR A SUPERTHEORY: FROM ATOMS TO SUPERSTRINGS.

Plenum.

Michio Kaku, HYPERSPACE: A SCIENTIFIC ODYSSEY THROUGH PARALLEL UNIVERSES, TIME WARPS AND THE 10TH DIMENSION.

Oxford University (Nueva York).

Paul Davies, SUPERFORCE: THE SEARCH FOR A GRAND UNIFIED THEORY OF NATURE.

Penguin.

S. W. Weinberg, THE SCIENTIST'S SEARCH FOR THE ULTIMATE LAWS OF NATURE.

Vintage Books, Nueva York, 1944.

John Schwarz, SUPERSTRING UNIFICATION.
Cambridge University, 1984.

Cuadernos Universitarios (Chile), TEORÍA KALUZA-KLEIN.
Facultad de Física y Matemáticas, Universidad de Chile, 1961.

Gary T. Horowitz, Joseph Polchinski, SELF GRAVITATING FUNDAMENTAL
STRING.
LANL, hep-th/9707170.

Joseph Polchinski, RECENT RESULTS IN STRING THEORY.
LANL, hep-th/9511157.

John H. Schwarz, THE M THEORY FIVE-BRANE AND THE HETEROTIC
STRING.
LANL, hep-th/9705092.

H. O. Girotti, M. Gomes, V. O. Rivelles, A. J. da Silva, DUALITY SYMMETRY IN
THE SCHWARZ - SEN MODEL.
LANL, hep-th/9702065.

A.A. Deriglazov, ELEVEN DIMENSIONAL SUPERSTRING WITH
SUPERSYMMETRY AND D=10 TYPE 2A Green-Schwarz.
LANL, hep-th/9709025.