

Dimensiones Extra y los Límites de la Física

Selim Gómez Ávila*

RESUMEN

Se examina brevemente la historia y el impacto cultural de modelos de dimensiones extra en física. Se enfatiza la influencia en las bellas artes, y en particular el caso de Marcel Duchamp es usado como ejemplo. Se bosquejan algunas perspectivas del estudio de dimensiones extra.

ABSTRACT

The history and cultural impact of extra dimensional models in physics is briefly examined. Emphasis is put in the influence in the fine arts, and in particular the case of Marcel Duchamp is used as an example. Some perspectives of the study of extra dimensions are sketched.

Recibido: 15 de Junio de 2009
Aceptado: 15 de Septiembre de 2009

Es ahora sabido por la ciencia que hay muchas más dimensiones que las cuatro clásicas. Los científicos dicen que éstas no inciden normalmente en el mundo porque las dimensiones son muy pequeñas y se curvan sobre sí, y dado que la realidad es fractal, la mayoría de ella esta arropada en sí misma. Esto significa que el universo esta más lleno de maravillas de lo que tenemos esperanza de entender, o más probablemente, que los científicos se inventan las cosas sobre la marcha.

—Terry Pratchett, *Pyramids* (1989)

Hay una quinta dimensión más allá de lo que el Hombre conoce. Es una dimensión tan vasta como el espacio y tan atemporal como el infinito. Es el terreno neutral entre la luz y la sombra, entre la superstición y la ciencia, y yace entre el abismo de los temores del hombre y el pináculo de su conocimiento. Es esta la dimensión de la imaginación. Es un área que llamamos... Dimensión Desconocida.

—Rod Serling, narración de entrada, *The Twilight Zone* (TV series, 1959)

INTRODUCCIÓN

La ciencia termina en donde empieza. No es así porque sus argumentos sean circulares, ni porque el progreso le este vedado, sino porque es una empresa que requiere una perspectiva específica. Es una descripción del universo visto desde dentro del universo; de un universo, además, que nos es dado una sola vez.

Es conveniente la comparación con la noble labor del pintor de paisajes. Un paisaje es una representación del mundo visto desde un punto dado; esa es su limitación y su arte. Un paisajista que trate de sustraer o enmascarar

Palabras clave:

Dimensiones extra; Física de partículas;
Más allá del modelo estándar; Arte.

Keywords:

Extra dimensions; particle physics, beyond
the standard model, art

* Departamento de Física, División de Ciencias e Ingenierías, Campus León, Universidad de Guanajuato, Loma del Bosque 103, Col. Lomas del Campestre, León, Gto. C.P. 37150 Tel., Fax: (477) 7885100, ext. 8480, Correo electrónico: selimibn@fisica.ugto.mx

esa perspectiva en su obra, y pinte un cuadro visto desde ningún lado, como haría si pinta Bellas Artes en el Zócalo, o corona el obelisco de Luxor con la Victoria de Samotracia, deja de ser un paisajista en el sentido que aquí es relevante, porque al hacerlo falsea la realidad.

¿Dónde están entonces parados los científicos? ¿Desde dónde pinta al mundo la ciencia? No interesan aquí las cuestiones largamente debatidas sobre la objetividad de la ciencia y las realizaciones sociales del ideal científico, sino una propiedad que resulta intrínseca a la ciencia y que es central para la comprensión de sus límites: la tensión entre lo necesario y lo contingente, o más precisamente, entre lo que entendemos por leyes científicas y condiciones iniciales. En esa línea entre lo posible y lo imprescindible está parada la física moderna.

Enfrentados a un hecho específico acerca de como el universo es, cabe preguntarnos si podría ser de otra manera; si es este hecho una necesidad o un accidente. Formulada así, la pregunta podría pensarse ociosa, pero en realidad es crucial para delimitar el papel que juega este hecho en nuestra comprensión. En física el producto del trabajo científico son construcciones matemáticas, modelos. Estos modelos, dentro de sus dominios de validez, permiten hacer predicciones precisas sobre el resultado de experimentos, pero requieren insumos que se originan por fuera del modelo y que no tienen explicación dentro de él.

Por eso la ciencia termina donde empieza. Podemos concebir que hechos que hoy parecen requerir un motivo resulten ser accidentes, y por lo tanto no sean sujetos de explicación. Pensemos en los valores de las constantes del Modelo Estándar de Partículas, o en el espectro de familias, o en la dimen-

sionalidad del espaciotiempo. Es difícil esperar que entendamos por qué la vida terrestre utiliza el ADN para replicar información, y es ocioso lamentarse porque no sea así. Como dice Sir Hermann Bondi al argüir contra la eventual completitud de la física: “No podemos pretender y ni siquiera imaginar una teoría del Universo que nos diga por qué el cúmulo de Virgo se formó en una región y nuestro sistema local en otra cercana a la primera.” La incompletez esencial de la física significa que hay un conjunto de hechos específicos que yacen del otro lado de la frontera entre accidente y necesidad, y que son inaccesibles a la ciencia.

El problema es que no sabemos *a priori* qué cosas son necesarias y qué cosas son accidentes, y ni siquiera es claro que la pregunta admita una respuesta final. El proceso científico nos obliga a reconsiderar continuamente el estatus otorgado a determinados elementos de nuestros modelos, y a buscar relaciones entre estos elementos, limitando de este modo su independencia. Algunas de las propuestas más interesantes, y potencialmente de mayor impacto de la física contemporánea pueden ser mejor apreciadas en este contexto, porque son propuestas que transforman hechos del mundo en leyes acerca del mundo.

Este es el caso de la idea de la existencia de dimensiones extra. Su origen se remonta a la noche de los tiempos, o al trabajo de los matemáticos europeos hace doscientos años, dependiendo del rigor de nuestra perspectiva. La concepción de realidades alternas, de algún modo paralelas o superiores a la nuestra, ha ejercido una poderosa influencia sobre la mente de los hombres desde los albores de la historia escrita. Pero las primeras exploraciones rigurosas de las posibilidades y consecuencias de la existencia de otras dimensiones ocurrieron en las primeras décadas del siglo XIX, con los trabajos de Möbius, Bolyai, Riemann y Lobachevskii, que inspiraron a varias generaciones.

DUCHAMP Y POINCARÉ: DIBUJANDO LAS DIMENSIONES

El gran vidrio constituye una rehabilitación de la perspectiva. Para mí, es una perspectiva científica, matemática, basada en cálculos y en dimensiones. (...) La novia en *El gran vidrio* estaba basada en esto, como si fuera la proyección de un objeto de cuatro dimensiones. Llamé a *La novia* un retraso en vidrio.

—Marcel Duchamp, *Diálogos*.

La noción de que el mundo puede existir en más dimensiones que las que podemos percibir tiene una larga historia, y una fructífera relación con la ciencia y con el arte. Durante las primeras tres décadas del siglo pasado, casi todos los movimientos artísticos importantes se involucraron con la *cuarta dimensión*, desde cubistas y dadaístas, pasando por los futuristas rusos e italianos, los constructivistas y los surrealistas. Sus interpretaciones y usos del concepto fueron tan disímiles y variopintos como las motivaciones de sus intérpretes, desde un deseo de abolir la representación tradicional y una profundamente asentada desconfianza a la percepción visual hasta la convicción futurista de que una representación fiel a la realidad debía incluir el movimiento.



Figura 1. Marcel Duchamp, *El gran vidrio* (1915-23). Tate Gallery, Londres.

¿Cuál es la historia de esta cuarta dimensión que obsesionó a artistas tan diversos e importantes como Marcel Duchamp, Pablo Picasso, Guillaume Apollinaire, Jean Metzinger y Alfred Jarry (Krauss, 2005)? El desarrollo a finales del siglo XIX de las matemáticas de las geometrías en n -dimensiones, euclidianas y no euclidianas, tuvo un impacto discernible en el trabajo de escritores y artistas plásticos inspirados por las ideas de Cayley, Poincaré, Grassman, Riemann y Lobachevskii. El *patafísico* Jarry escribió sobre las ideas de Cayley en su *Gestas y opiniones del Doctor Faustroll*; el pintor Albert Gleize incluyó flores icosatetrahedroides en *Mujer con Phlox*, una figura tetradimensional que posiblemente tomó del trabajo de Washington Stringham; Lewis Carroll, H.G Wells y Edwin Abbot escribieron historias donde se hacían eco del interés por nuevas dimensiones y las geometrías que éstas hacían posibles (Gowers, 2008).

Parte de la fascinación artística con las dimensiones extra se debía a su versatilidad al alimentar tendencias místicas o subversivas de todo tipo. Las asociaciones con la cuarta dimensión hechas por algunos artistas prominentes en este periodo 1900-1930 dan

una idea de hasta qué punto reinaba la confusión: Shemberg la identificaba con la gravedad (y Malevich con la anti gravedad), los cubistas sintéticos con el mundo Platónico, Boccioni con las espirales, Kruchenykh con una realidad mística, superior e inaccesible. Podemos ver en ello la adopción de una moda consignada además en un símbolo demasiado ambiguo. En otros casos, sin embargo, encontramos señales de una comprensión mucho más lúcida de la naturaleza posible de una cuarta dimensión y de sus posibilidades geométricas (Henderson, 1984).

Uno de los eslabones bien establecidos entre las ideas novedosas provenientes de la investigación científica y los movimientos artísticos de vanguardia a principios del siglo XX es el matemático y actuari Maurice Princet. Aunque subsiste cierta controversia acerca de la magnitud de su influencia, los hechos son estos: Princet, que conocía a Picasso a través de una amante común (la notoriamente infiel Alice Gèry), y posiblemente jugó un papel importante en el desarrollo del cubismo (Miller, 2001) era un divulgador aficionado de la ciencia. Ocasionalmente presentaba charlas informales frente al grupo cubista de Puteaux, cuyos miembros centrales eran los hermanos Duchamp: Marcel, Raymond y Gaston Emile. En estas charlas utilizaba el *Tratado Elemental de geometría en cuatro dimensiones* (1903) del matemático Esprit Pascal Jouffret, cuyos diagramas parecen haber sido reproducidos por Picasso en su *Retrato de Ambroise Vollard* (Robbins, 2006).

Marcel Duchamp asimiló estas ideas de una manera única. Sus reflexiones sobre el tema le llevaron a reevaluar la noción de perspectiva y a buscar trascender las herramientas tradicionales del artista tridimensional. Juntos, Duchamp y Princet estudiaron los trabajos de Poincaré y de Riemann, referencias a los cuales salpican los cuadernos de notas del artista. El ejemplo más acabado es la que suele considerarse la obra máxima de Marcel Duchamp, la notable *La casada desnudada por sus solteros* (*La mariée mise à nu par ses célibataires, même*), también conocido como *El gran vidrio*. Más allá de su indudable mérito artístico, su relevancia para la historia de las dimensiones extra reside en la siguiente cita, referente a su creación (Cabanne, 1971):

En lo que estábamos interesados en ese tiempo era en la cuarta dimensión... ¿Recuerdas a alguien llamado, me parece, Povolowski? Era un editor en la rue Bonaparte... Había escrito algunos artículos en una revista popularizando la cuarta dimensión... En cualquiera caso, en ese tiempo yo trataba de leer los escritos de Povolowski, quién explicaba mediciones, líneas rectas, curvas, etc. Esto estaba trabajando en

mi cabeza mientras yo trabajaba., aunque nunca puse ningún cálculo en El gran vidrio. Pensé en la idea de una proyección, de una invisible cuarta dimensión, algo que no podrías ver con tus ojos.

Las ideas de Duchamp resuenan con nosotros porque no sólo contienen la idea de complejas realidades que existen en dimensiones ocultas a nuestros sentidos ordinarios, sino que además exploran la percepción que puede tener un ser tridimensional de una entidad que existe en cuatro dimensiones. Así como un objeto tridimensional proyecta una sombra en la pared plana, razonaba Duchamp, un objeto en cuatro dimensiones proyectará una forma tridimensional en nuestro mundo; la novia en *El gran vidrio* fue un intento de representar una proyección de esta índole (sus solteros, en cambio, son figuras sólidas aparentemente extraídas de libros de texto sobre geometría en el espacio convencional).

En efecto, a partir de un objeto de cualquier dimensionalidad, es posible construir un objeto de una dimensionalidad superior. Así, dos puntos (con cero dimensiones) prefiguran una línea; dos curvas que se intersecan encierran un área (o una curva que rota sobre un punto); una superficie que gira construye una figura tridimensional, un sólido de revolución; cabe pues esperar que una sucesión de figuras tridimensionales nos permitan representar un objeto hiperdimensional. Es esta posibilidad, con su doble connotación de representar una realidad escondida y de modificar las convenciones de la perspectiva, la que sedujo a la comunidad artística de la época.

La teoría de la relatividad de Einstein nos ha familiarizado con el concepto de que el tiempo está asociado con el espacio y es en realidad la cuarta dimensión. La máquina fabulosa de Wells preparó la imaginación popular para aceptar esta idea (aunque el universo de *La máquina del tiempo* es más euclidiano que einsteniano); y de hecho, después de 1930 la cuarta dimensión en su versión espacial prácticamente desapareció de la cultura popular, situación que continuó sin cambios hasta el desarrollo de la teoría de cuerdas en la segunda mitad del siglo XX. En el mundo científico, sin embargo, la idea sobrevivió de una forma u otra, reapareciendo esporádicamente cuando dificultades en el desarrollo de la física hacían necesario buscar alternativas a los enfoques de la época. La primera iteración en esta larga historia se debe a los matemáticos Theodor Kaluza y Oskar Klein, y constituye una de sus versiones más longevas.

KALUZA-KLEIN, Y LA SÍNTESIS DE LA FÍSICA FUNDAMENTAL

Había ponderado con frecuencia la posibilidad de otros mundos o planos materiales que podían coexistir en el mismo espacio con el nuestro, invisibles e impalpables a los sentidos humanos. Por supuesto, me percate en seguida de que había caído en alguna dimensión así.

—Clark Ashton Smith, *The City of the Singing Flame* (1931)

En un artículo de considerable belleza, titulado *Sobre el problema de unidad en física*, publicado en 1921 Theodor Kaluza presentó sus ideas a la comunidad científica. Se dice que Einstein, quién revisó el trabajo,

vaciló largamente para recomendar su publicación (Krauss, 2005). La propuesta partía de la relatividad general del propio Einstein, que describe el efecto de la gravedad como curvatura del espaciotiempo; la diferencia radicaba en que Kaluza había extendido la teoría para examinar las interacciones gravitacionales en un universo vacío, pero con una dimensión espacial adicional a las cuatro del espaciotiempo de la relatividad de Einstein. Desde la perspectiva de los habitantes del mundo convencional, confinados a tres dimensiones espaciales y una temporal (que llamaremos el espacio de Minkowski), la teoría en el espacio completo se proyectaba, como *La Novia de Duchamp*, en objetos en cuatro dimensiones, cuyo contenido tenía una interpretación muy diferente. La teoría de un universo vacío de cinco dimensiones de Kaluza, al mirarse desde cuatro dimensiones, se convertía en la teoría de un universo ocupado por ondas electromagnéticas.



Figura 2. Dawn Meson, *Kaluza-Klein (Arquitectura invisible)* (1915-23). SLAC.

Esta notable unificación de dos fenómenos disímiles recordaba la unificación ocurrida cuando Maxwell mostró que los fenómenos

eléctricos y magnéticos eran dos aspectos complementarios de una entidad más fundamental. Es notable por ser uno de los primeros capítulos en un largo esfuerzo de síntesis para encontrar componentes cada vez más primitivos de la naturaleza. Pero el modelo de Kaluza, por otro lado, adolecía de ciertos defectos técnicos, y las objeciones no se hicieron esperar; para empezar, requería que las variables que entraban en la teoría fueran constantes a lo largo de toda la dimensión extra; los mecanismos por los cuáles algunas cosas estaban confinadas a cuatro dimensiones mientras que otras podían propagarse por la quinta, no estaban claros; además, si bien recuperaba el electromagnetismo de Maxwell junto con la gravedad de Einstein, producía objetos adicionales que parecían no tener contraparte en la naturaleza (principalmente, un objeto llamado *campo escalar*, cuya presencia es uno de los motivos del renacimiento posterior de esta teoría).

Una solución parcial fue propuesta cinco años después por Oskar Klein, aunque sus motivaciones yacían en un área distinta de la física, que ha permanecido separada de la gravitación y ha resistido hasta la fecha todos los intentos de reconciliarla con la relatividad general: la teoría cuántica. La pregunta planteada por Oscar Klein era la siguiente: ¿es posible que las propiedades contra-intuitivas de los cuantos se deban a que son la expresión en el espaciotiempo de fenómenos que ocurren en cinco dimensiones? ¿podría la incertidumbre intrínseca de los sistemas cuánticos provenir de la información incompleta que recibimos debido a que parte de ellos reside en otra dimensión? Hoy la respuesta parece ser negativa; no se conoce ningún mecanismo plausible para hacer la mecánica cuántica menos inusual introduciendo más dimensiones. Pero en ese momento Klein se dedicó a explorar las consecuencias para la teoría cuántica y el electromagnetismo, y en el curso de su investigación topó con una explicación razonable a la invisibilidad perceptual de la hipotética quinta dimensión de Kaluza.

Las dimensiones del universo que habitamos, las del espacio de Minkowski, son aparentemente planas e infinitas; en cualquier caso, lo son en una escala vastamente mayor a la escala en la que transcurren nuestras vidas humanas. Lo que Oskar Klein proponía era radicalmente diferente; su solución consistía en considerar una quinta dimensión que no se extendía hacia el infinito en ambas direcciones, sino que estaba enrollada sobre sí misma. De esta manera, al recorrerla eventualmente se regresaba al punto de partida. Aplicando los principios de la mecánica cuántica, solamente algunas soluciones sobrevivían, y éstas requerían para producirse de energías inversamente proporcionales al tamaño de la dirección periódica, con la excepción de las soluciones que cumplían la condición de Kaluza. De manera que haciendo a ésta lo suficientemente pequeña, se podían excluir todas las soluciones no deseadas, y obtener la ansiada unificación con el electromagnetismo. Aún más, el hecho de que solamente algunas soluciones sobrevivieran parecía estar promisoriamente relacionado con uno de los enigmas de la física, la cuantización de la carga eléctrica. Al final, la teoría de Kaluza-Klein no pudo satisfacer al único árbitro que en definitiva importa, que es el experimento, por varias razones. Una, que no podía explicar la enorme diferencia entre las fuerzas de la gravedad y el electromagnetismo; dos, que no incluía las interacciones nucleares débiles y fuertes que fueron descubiertas más tarde. No obstante, había tenido éxito en instalar firmemente una idea nueva en el vocabulario científico, una que volvería una y otra vez, desde entonces hasta nuestros días.

EL SUEÑO DE UNA TEORÍA COMPLETA

La ciencia, muchachos, esta compuesta de errores, pero de errores que es correcto cometer, puesto que llevan paso a paso a la verdad.

—Julio Verne, *Viaje al centro de la tierra* (1864).

El progreso histórico de la física teórica se parece poco a la sucesión de triunfos inspirados que imagina el folclor de los físicos. En cualquier momento dado, existe una miríada de modelos que compiten por el favor de la comunidad, y ganan o pierden en la estima de los científicos según criterios de todo tipo, el más importante de los cuales debe ser, si la ciencia goza de buena salud, el acuerdo con el experimento. Pero no menos importante es la capacidad explicativa de los modelos, el grado al cual pueden relacionar aspectos de la naturaleza y reducirlos en número o en complejidad.

Nuestra mejor teoría para describir el mundo a las escalas y energías de sus constituyentes más fundamentales conocidos es el Modelo Estándar de Partículas. Este modelo ha tenido un éxito notable en acomodar la inmensa mayoría de los resultados experimentales producidos en la física de partículas. Aún más, es asombrosamente difícil de dejar atrás; las teorías más allá del Modelo Estándar suelen producir más problemas de los que resuelven. Pero ciertas características del modelo permiten suponer, de cualquier modo, que no es la última palabra, que se trata solo de un aspecto de una realidad más completa.

Hay una lista corta de problemas abiertos en la física, que prácticamente toda la comunidad considera fundamentales, y que son

las únicas pistas de que disponemos en nuestra investigación. Con frecuencia, el mérito de un modelo se mide con su capacidad de resolver, o al menos aminorar, uno o más de estos problemas. Algunos de ellos tienen orígenes en observaciones que no sabemos cómo interpretar o predecir, como la conservación de paridad y conjugación de carga en las interacciones fuertes, la baja entropía del Big Bang, la aceleración del universo y su contenido de materia (un poco más siete décimos del universo son materia oscura, un poco más de un quinto es la energía oscura que produce su aceleración, y el veinticincoavo restante, materia convencional; no hay prácticamente antimateria). Otros son problemas teóricos: ¿Por qué las contribuciones del Modelo Estándar no hacen inmensa la energía oscura y dominan la evolución del universo? ¿Por qué la gravedad es tan débil comparada con las otras fuerzas, y por qué la escala de la gravedad es diecisiete órdenes de magnitud mayor a la escala electrodébil de las masas de las partículas más pesadas (el problema de jerarquía)? ¿Por qué las masas de las partículas cubren un espectro tan amplio? ¿Cómo adquieren las partículas su masa? ¿Mediante el mecanismo de Higgs, es decir, mediante el acoplamiento a un escalar como el producido en la teoría de Kaluza-Klein, o a través de otro proceso hoy desconocido? ¿De dónde proviene lo que llamamos la estructura de familias, es decir, por qué hay partículas idénticas en todas sus propiedades al electrón y a los quarks u y d , pero muchísimo más pesadas? Ya que tocamos la extraña replicación de la estructura de familias, ¿Por qué tres familias, y no cuatro o cinco o un millón?

Muchas de éstas son preguntas que tratan de localizar hechos sobre la naturaleza de un lado u otro de la frontera que limita a la ciencia, como necesidades ó accidentes.

Son, en este sentido, similares a nuestra interrogante inicial acerca de la dimensionalidad del espacio: ¿Existe una teoría fundamental que fija este número, o se trata de una condición inicial? Pero además no sólo las preguntas comparten el mismo espíritu, sino que muy posiblemente están relacionadas. Así, entender la dimensionalidad del espacio puede llevarnos a entender el problema de jerarquía y la estructura de familias, o resolver el problema de la aceleración a entender la gravedad en un régimen cuántico, o la baja entropía del universo en sus orígenes.

¿Cómo puede una teoría transformar la condición inicial de las cuatro dimensiones del espaciotiempo en una ley de la física? Un ejemplo es la teoría de cuerdas, que nació como un intento de reproducir el espectro de las increíblemente complejas interacciones fuertes. Ante la proliferación de descubrimientos de “nuevas” partículas, y antes del advenimiento del modelo de quarks, la comunidad probó con un gran número de posibilidades, que capturaban uno u otro aspecto de las interacciones fuertes. Debido al gran número de partículas que participan de estas interacciones (los *hadrones*), las herramientas usuales de la teoría de campo, tan exitosas en el caso del electromagnetismo, aparentaban ser inútiles; durante un período de tiempo pareció que la física de partículas debía reevaluar su metodología. En 1968, Veneziano construyó un modelo que permitía describir parte del espectro de partículas utilizando la función beta de Euler, que aparece en el estudio de series matemáticas, y cuya relevancia física era oscura. Dos años después, tres físicos de partículas (Nambu, Nielsen y Susskind) presentaron una posible interpretación: la teoría de Veneziano describía las fuerzas nucleares como diminutas cuerdas vibrantes; el espectro correspondía a los posibles modos de vibración de estas cuerdas.

Más allá de los matemáticamente tortuosos detalles de la teoría de cuerdas, lo cierto es que en el momento de su creación parecía una solución promisoría para el problema de las interacciones fuertes, pero pronto se encontró en conflicto con el experimento. En particular, entre muchos otros, adolecía del mismo defecto que la teoría de Kaluza-Klein: predecía soluciones que no se encontraban en la naturaleza y que no era fácil soslayar. La construcción de la cromodinámica cuántica (QCD, por sus siglas en inglés), una teoría conceptualmente muy similar al electromagnetismo, pero técnicamente mucho más compleja, que utilizando partículas puntuales podía describir adecuadamente las interacciones fuertes, terminaron por desplazar a los modelos de cuerdas. Y las cuerdas y los hadrones emprendieron cada uno su camino.

El papel de las cuerdas en la historia de las dimensiones extra se remonta a 1984, cuando Green, Schwartz y otros estudiaron las condiciones bajo las cuales era posible la teoría sin las graves dificultades encontradas en los sesenta; uno de los resultados más importantes de su trabajo es que existen mecanismos para preservar la consistencia (técnicamente, para cancelar las anomalías, que son violaciones cuánticas de simetrías clásicas) siempre y cuando el modelo se formule en diez dimensiones (o, en otras versiones, veintiséis). No sólo eso, sino al parecer, esta construcción necesariamente incluye una teoría cuántica de la gravedad, un oscuro objeto del deseo de la física teórica contemporánea.

De modo que tenemos una posible solución a la pregunta de cuál debe ser la dimensión del espaciotiempo, si es que la teoría de cuerdas es correcta; descorazonadoramente, la respuesta no es cuatro, como cabría esperar, sino diez o veintiséis. Por otra parte, el cómo percibimos

únicamente las dimensiones del espacio de Minkowski es algo que la teoría debe ser capaz de explicar, aunque hasta ahora, lamentablemente, no parece haber mecanismos para hacerlo. La solución de Klein sigue siendo válida, pero en caso de adoptarla, la necesidad o contingencia de cuatro dimensiones sigue en el aire. Partiendo de, digamos, diez dimensiones, bien podría ser que se enrollaran una, dos, tres, o las seis necesarias; y mientras no conozcamos los mecanismos que producen un resultado y no otro, la dimensionalidad del espacio sigue en el terreno de las condiciones iniciales y no en el de las leyes de la física.

Esta es una de las críticas más fuertes a los modelos de cuerdas, cuya situación actual es cuestionable. Hay desarrollos que indican que no puede hablarse en realidad de una teoría específica, sino de una metodología para obtener una cuando se ha fijado lo que los físicos llaman el *estado fundamental* de la teoría (Suskind, 2006); esencialmente una manera de denotar la manera en la cual las dimensiones “reales” se convierten en las cuatro “aparentes”. Como el número de estados fundamentales es inmenso, y todos ellos parecen igualmente probables *prima facie*, ello podría llevar a la conclusión de que hay propiedades intrínsecas del mundo que son meros accidentes y no necesidades.

ADD Y RANDALL-SUNDRUM: OTROS MUNDOS AL ALCANCE DE LA MANO

En la historia de la física, cada vez que hemos mirado más allá de las escalas y energías que nos eran familiares, hemos encontrado cosas que no hubiéramos pensado estaban allí.

—Lisa Randall, *Discover Magazine*, July 2006

Las dimensiones extra de los modelos de cuerdas, debido a que utilizan la solución de Klein, son en principio diminutas. La escala natural para su periodicidad es la *longitud de Planck*, una distancia minúscula que se obtiene combinando las constantes fundamentales que rigen la fuerza de la gravedad, el tamaño de los efectos cuánticos y la velocidad de la luz. Para cuantificar la insignificancia del número baste con decir que es cien millones de billones de veces más pequeño que el diámetro de un protón (un uno seguido de veinte ceros). Como las masas de las partículas que se extienden en estas dimensiones crecen como el inverso de este número, se comprenderá que las posibilidades humanas de producir estas monstruosas energías resultan bastante limitadas. Por ejemplo, el LHC, en Ginebra, el experimento más energético conducido

jamás, apenas produce una millonésima parte de la billonésima parte de la energía necesaria.

Tan diminutas dimensiones no podían jugar un papel en la física experimental; cualesquiera efectos medibles debían provenir de dimensiones más grandes. Para cuantificar el máximo tamaño que podía tener una dimensión extra, Arkani-Hamed, Dimopoulos y Dvali examinaron experimentos que buscaban desviaciones a la ley de gravitación de Newton, que necesariamente deben existir si es que la gravedad se propaga por las dimensiones nuevas. El resultado fue sorprendente; bajo este criterio era factible tener dimensiones extra inmensas comparadas con las dimensiones de los modelos de cuerda; tan grandes como un milímetro. (Experimentos realizados desde entonces han reducido la cota en un factor de mil, es decir, hasta un micrón.)

Para tener dimensiones extra de esta magnitud era necesario desechar la solución de Klein y buscar otra manera, más eficaz, de esconder las dimensiones manteniéndolas, sin embargo, de gran tamaño. La comunidad de cuerdas, por otro lado, conocía desde 1995, la existencia dentro de la teoría de objetos extendidos que generalizaban las cuerdas, llamados *branas*. En una teoría en d dimensiones, habría no sólo soluciones que representan partículas de cero dimensiones, y cuerdas de una dimensión, sino también superficies, volúmenes, e hipersuperficies de hasta $d-1$ dimensiones. Si hubiese una manera de confinar las partículas del Modelo Estándar a un objeto de este tipo, con las dimensiones del espacio de Minkowski, y solamente la gravedad pudiera escapar a las dimensiones extra, entonces tendríamos el resultado deseado.

Este tipo de modelos, llamados ADD o de dimensiones extra grandes, puede provenir o no de una teoría de cuerdas, y tiene impacto en algunos de los problemas fundamentales de la física; el hecho de que la gravedad tenga efecto en las dimensiones extra mientras que las demás interacciones están restringidas a la brana elimina el problema de la jerarquía, diluyendo la gravedad; si además se permite también que unas partículas llamadas *neutrinos derechos* escapen de la brana, es factible explicar por qué los neutrinos son tan ligeros, comparados con los electrones. No sólo eso, sino que los modelos ADD predicen genéricamente la producción de mini agujeros negros en experimentos de partículas, de modo que en los próximos años puede haber resultados claros acerca de su validez.

La objeción más fuerte (entre las muchas que pueden formularse) a las dimensiones extra grandes tipo ADD, es que para realmente resolver el problema de la jerarquía es preciso ajustar con excesiva precisión los parámetros de la teoría. Una alternativa, debida a Lisa

Randall y Raman Sundrum, es considerar de nuevo dimensiones grandes (incluso, posiblemente de extensión infinita), pero esta vez severamente curvadas. El efecto de esta curvatura es generar un continuo de escalas energéticas para la gravedad, de modo que en lugar de un ajuste fino de parámetros, tenemos un argumento de carácter antrópico: en el universo hay lugares donde la gravedad es tan fuerte como las demás interacciones, y si nosotros nos encontramos en una región donde es débil, es porque no podríamos existir en otro lado. De nuevo, esto implicaría que el LHC podría ver efectos gravitatorios en colisiones de partículas, y resolvería de alguna manera el problema de la jerarquía.

La detección experimental en los próximos años de dimensiones extra tan grandes como una milésima de milímetro (si se trata de una dimensión) o incluso tan grandes como un milímetro (si se trata al menos de un par de ellas) sería un descubrimiento portentoso, y nos acercaría un poco a la comprensión de una de las propiedades salientes del universo. La experiencia nos permite acceder a un mundo que tiene tres dimensiones espaciales y que existe en el tiempo, y el trabajo científico ha permitido vincular estas realidades en una sola entidad geométrica, el espaciotiempo. Podemos considerar esto como un hecho accidental, como un insumo de nuestros modelos; o podemos preguntarnos si puede ser de otra manera, y busca un modelo que pueda explicarlo como la consecuencia necesaria de sus propios insumos.

A TRAVÉS DE LA OCTAVA DIMENSIÓN

No estamos en la octava dimensión, estamos en Nueva Jersey. Aún hay esperanza.

—Un lectroide en *The Adventures of Buckaroo Banzai Across the 8th Dimension* (1984)

La verdaderamente extraña película de culto *Las aventuras de Buckaroo Banzai* a través de la octava dimensión contiene mucho más de lo que puede cómodamente reseñarse en un párrafo de tamaño razonable. Pero entre todos los excesos y percances a los que su polimata protagonista se ve orillado por las extravagantes circunstancias lo más asombroso es su paso en una máquina de su propia invención por otras dimensiones espaciales.

Si bien la naturaleza de las dimensiones extra que imagina la física contemporánea no parece ser tal que un viaje como el del protagonista del filme resulte plausible, nos permite concebir mundos distintos al nuestro, localizados quizá en otras branas. Su tamaño no es tal que el caso de Plattner pueda ocurrir (*La historia de Plattner* es un relato donde un hombre que vuelve de un viaje que involucra la cuarta dimensión, encuentra que izquierda y derecha se han invertido en su anatomía), pero es concebible que puedan explicar la asimetría que existe entre izquierda y derecha en el universo. Pueden darnos los ángeles y los milagros que soñaron tantos teólogos, charlatanes y espíritus bienintencionados; pero quizá oculten la llave para desencadenar un entendimiento más profundo del origen de la masa, el espectro de partículas, y este universo en que vivimos, con todo lo que contiene.

REFERENCIAS

- Cabanne, P., (1971), *Dialogues with Marcel Duchamp*, London, UK : Thames and Hudson
- Gowers, Timothy, Ed., (2008) *The Princeton companion to mathematics*. USA: Princeton References
- Henderson, Linda D., (1983) *The Fourth Dimension and Non-Euclidean Geometry in Modern Art*. USA: Princeton University Press
- Henderson, Linda D., (1984) *The Fourth Dimension and Non-Euclidean Geometry in Modern Art: Conclusion*. Leonardo, Vol. 17, No. 3. (1984), pp. 205-210. The MIT Press.
- Krauss, Lawrence, (2005), *Hiding in the mirror: the quest for alternative realities, from Plato to String theory (by way of Alice in Wonderland, Einstein and the Twilight Zone)*. New York, USA: Viking
- Miller, Arthur, (2001) *Einstein, Picasso: Space, Time and the Beauty that Causes Havoc*. New York: Basic Books.
- Randall, Lisa, (2005), *Warped Passages: Unraveling the Mysteries of the Universe's Hidden Dimensions*. USA: HarperCollins Publishers
- Robbin, Tony, (2006), *Shadows of reality: the fourth dimension in relativity, cubism, and modern thought*. New Haven & London: Yale University Press
- Sussking, L. (2006), *The Cosmic Landscape: String Theory and the Illusion of Intelligent Design*. USA: Back Bay Books
- Wesson, P., (2006). *Five-Dimensional Physics: Classical and Quantum Consequences of Kaluza-Klein Cosmology*. Singapore, World Scientific