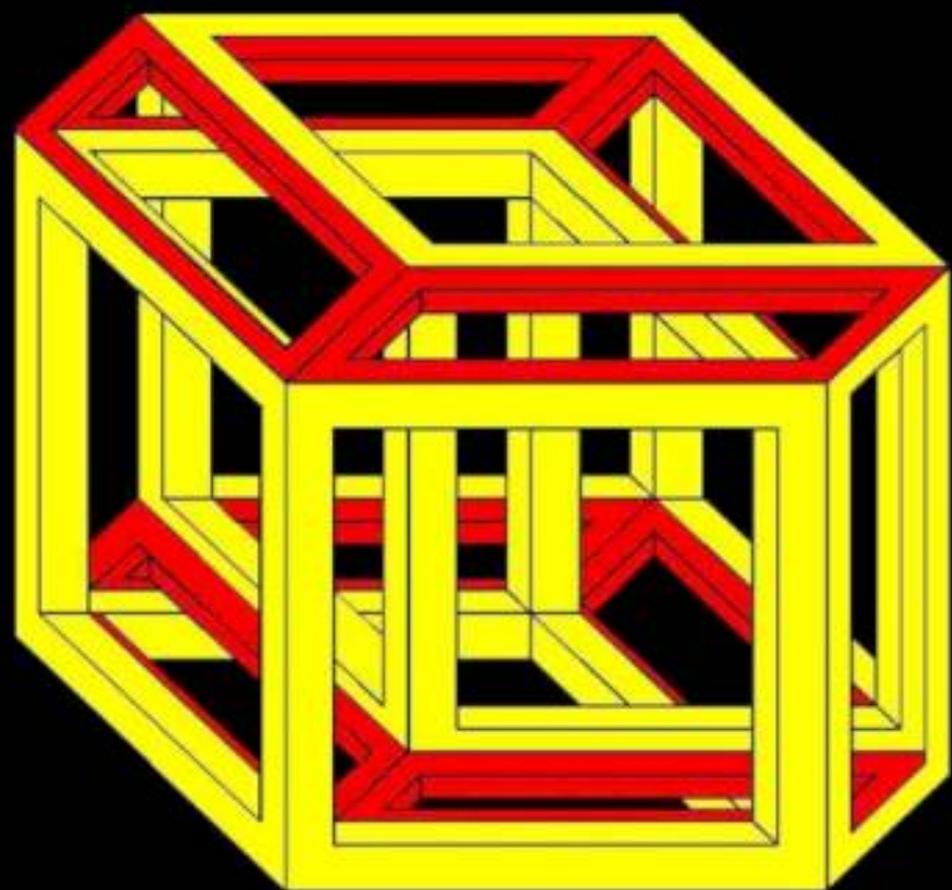


Una introducción visual a la

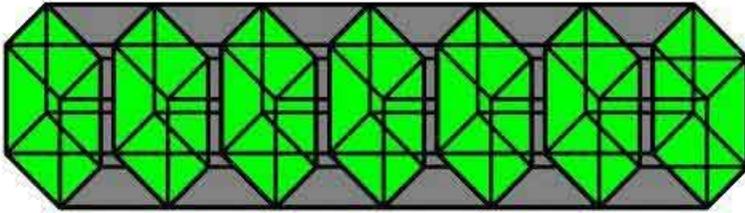
La CUARTA



DIMENSIÓN

Chris McMullen

Una introducción visual a la
(geometría rectangular 4D)

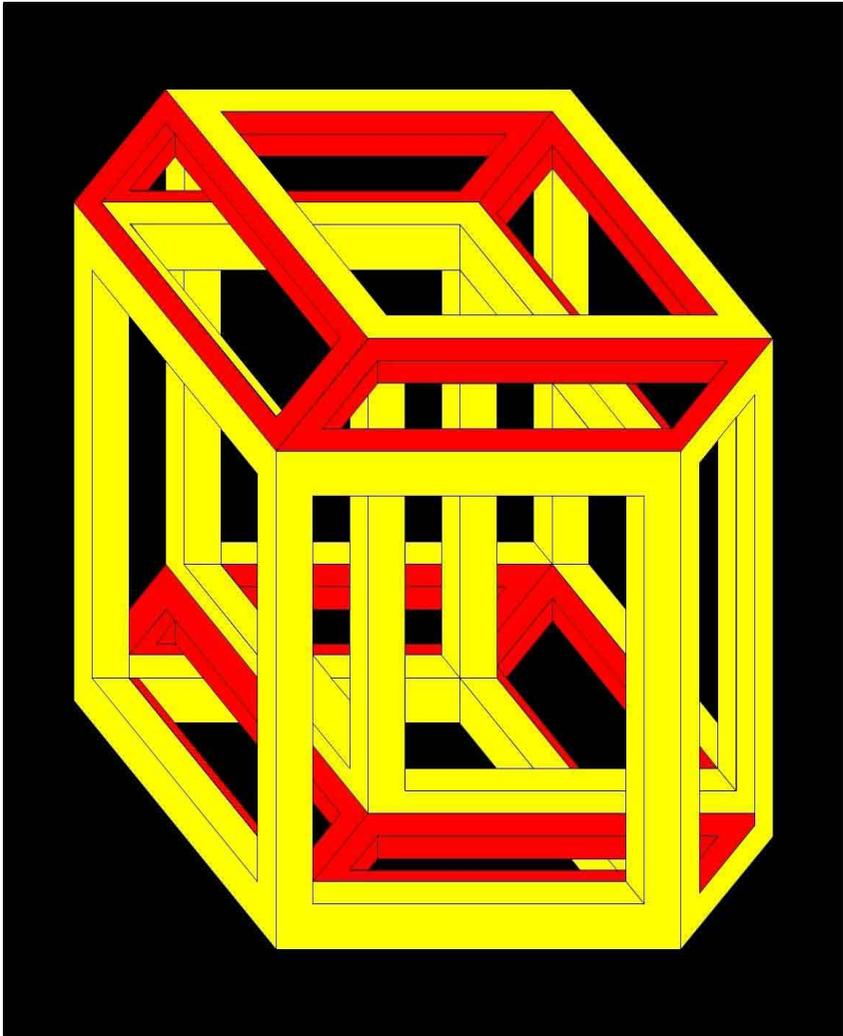


Chris McMullen, PH.D

Northwestern State University
de Luisiana

Enero de 2013

Versión en español: Sargont (2019)



Contenido

Introducción

Capítulo 0: ¿Qué es una dimensión?

Capítulo 1: Dimensiones Cero y Uno

Capítulo 2: La Segunda Dimensión

Capítulo 3: El Espacio Tridimensional

Capítulo 4: Una Cuarta Dimensión del Espacio

Capítulo 5: Tesseractos e Hipercubos

Capítulo 6: Ejemplos de Hipercubos

Capítulo 7: Planos e Hiperplanos

Capítulo 8: Tesseractos en Perspectiva

Capítulo 9: Rotaciones en el Espacio 4D

Capítulo 10: Desplegando un Tesseracto

Capítulo 11: Secciones transversales de un Tesseracto

Capítulo 12: Vivir en una casa 4D

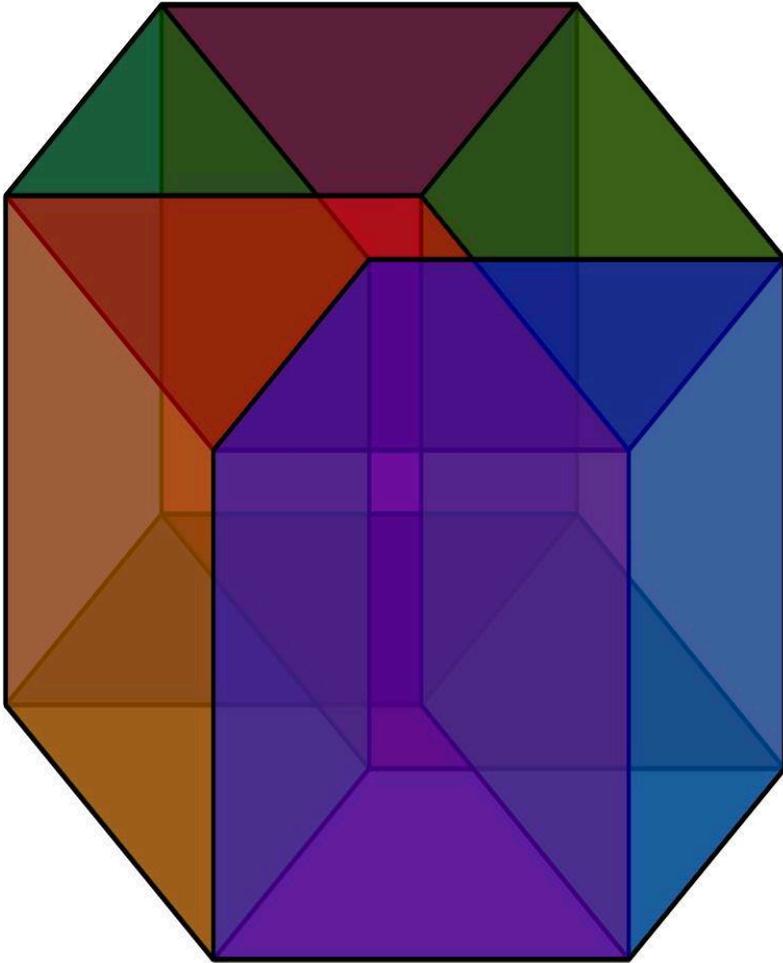
Lecturas recomendadas

Glosario

Sobre el autor

Introducción

Este libro proporciona una introducción **visual** y **colorida** a la cuarta dimensión. Pero no es sólo un libro ilustrado. Encontrarás explicaciones claras que te ayudarán a entender los conceptos, y un toque de **personalidad** (¡con unos cuantos monos!) haciendo una lectura **atractiva** en lugar de un texto matemático seco. El contenido es muy **accesible**, ya que no se necesita tener una formación sólida en matemáticas para entenderlo, pero los conceptos son lo suficientemente avanzados y detallados como para satisfacer la curiosidad de un lector que se destaca en matemáticas. Este libro se centra puramente en los aspectos **geométricos** de la cuarta dimensión; no hay ningún componente espiritual o religioso en este libro. Los objetos geométricos considerados en este libro son rectangulares; el principal objeto 4D discutido es el tesseracto (un hipercubo 4D), y está descrito con gran detalle y acompañado de muchas imágenes instructivas. ¡Que disfruten su viaje a la cuarta dimensión!



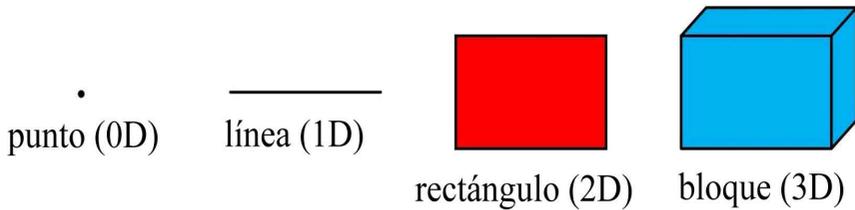
Capítulo 0

¿Qué es una dimensión?

Antes de empezar, aclaremos lo que queremos decir con una dimensión. Como definición simple, una dimensión es una medida de la extensión. Las dimensiones de un objeto -no, no un simple objeto viejo, sino un mono con piel de color **ARCO IRIS**, así que esto no se leerá como un aburrido libro de matemáticas- se refieren a las diferentes direcciones en las que se extiende un objeto. El mono tiene altura (qué tan alta es, por supuesto que es una niña, ¿qué más podría ser?), anchura (qué tan ancha es, hombro con hombro) y profundidad (de adelante hacia atrás, o de la nariz hasta la cola); es tridimensional (3D).

Sin embargo, hay diferentes tipos de dimensiones, como el espacio y el tiempo - o si quieres ser exótico, podemos hablar de la dimensionalidad de tus pensamientos o incluso de tu olor corporal. Necesitamos explorar el concepto de una dimensión un poco más allá, para que sepas exactamente qué tipo de dimensiones estamos discutiendo en este libro.

Comencemos con un simple ejemplo geométrico. Un punto infinitesimal tiene dimensiones cero (0D) - no se extiende en ninguna dirección. (Sí, infinitesimal. ¿Te gusta esa palabra? Seguramente conoces la palabra infinito - el número más grande, ¿verdad? ¡Equivocado! Si fuera un número, podría agregarle uno y encontrar un número mayor. El infinito representa el concepto de que puedes seguir contando para siempre. Infinitesimal sería el número más pequeño que no es cero, excepto que si lo divides por dos, obtienes algo más pequeño. Así que esta definición es tan errónea como pensar en el infinito como en ser el número más grande. Pero a veces una definición incorrecta expresa el concepto más claramente que una técnicamente correcta.) Esa larga observación parentética en realidad tiene un propósito. ¿Decir qué? Sí: Pasamos mucho tiempo sin llegar a ninguna parte, ¡igual que la dimensión cero! Una línea es unidimensional (1D) ya que sólo se extiende en una dirección, como esta frase, que sólo se puede leer hacia adelante o hacia atrás. Un plano es bidimensional (2D); tiene longitud y anchura. Un bloque es tridimensional (3D); tiene longitud, anchura y profundidad.



Si quieres que la imagen anterior parezca menos aburrida, tienes que usar tu cerebro e imaginar que consiste en -de izquierda a derecha- el pensamiento de un mono, la cola de un mono, la sombra de un mono y un mono. (Claro, el autor podría haber dibujado monos, pero eso le privaría de la oportunidad de imaginar sus propios monos. En realidad, la verdadera razón es que vamos a dibujar objetos 4D, y probablemente serán mucho más fáciles de entender si se parecen más a rectángulos y menos a monos. Seguiremos hablando de monos, sin embargo, para darle más **sabor** al texto, pero los dibujos serán sencillos, aburridos y en línea recta. Sólo recuerda que todas esas líneas rectas son realmente colas de mono. Tenga cuidado de no pincharlas con el dedo al dar vuelta la página. Gracias.)

Nuestro universo parece ser tridimensional porque sólo podemos (oops, que debería decir "los **monos** pueden") movernos en tres direcciones independientes: norte/sur, este/oeste, y arriba/abajo. Cualquier otra dirección es una combinación de estas. Por ejemplo, cuando un mono lanza un coco al noreste, el coco se mueve esencialmente al norte y al este al mismo tiempo.

Por eso pensamos que el espacio es 3D. ¿Qué es? Mira, intenta que un mono se mueva en alguna dirección que no sea una combinación de adelante/atrás, izquierda/derecha y arriba/abajo. Buena suerte con eso. Cuando seas capaz de hacerlo y demostrar que lo has hecho, tendrás un Premio Nobel (eso es "sin campana⁽¹⁾", no "noble"; además, será en física, no un premio de la Paz).

El espacio parece ser 3D, pero el espacio-tiempo es 4D. El tiempo es una dimensión en el sentido de que es también una medida de la extensión -es una duración. (Las patas del sofá no están haciendo nada —doble negativo; sí, sé que puedo cancelar los signos menos—. La actividad es 0D con respecto al espacio, pero están haciendo tiempo. ¡Todo ese tiempo que pasamos esperando en las filas y el tráfico cuenta para algo!) Pero el tiempo es claramente un tipo diferente de dimensión que la longitud, el ancho y la profundidad.

En este libro, nos interesa una cuarta dimensión del espacio.

Es decir, una cuarta dimensión que es muy parecida a la longitud, anchura y profundidad, pero no una combinación de éstas (es decir, no como el noreste).

La teoría de las cuerdas en realidad predice que nuestro universo tiene más que tres dimensiones del espacio. Nuestro universo podría tener 9 dimensiones de espacio. (Eso hace 10 dimensiones del espacio-tiempo. Si oíste que son 11, estás pensando en la teoría M. Tal vez pensaste que era 26; entonces déjame corregirme y decir que la teoría moderna de las supercuerdas predice 9, mientras que la teoría de cuerdas original tenía 25 —agrega tiempo para hacer veintiséis—.) ¿Pero quién está contando? De cualquier manera, sólo percibimos 3.

¿Cómo es posible que la teoría de cuerdas sea correcta? ¿Cómo puede alguien creer una teoría que dice que hay nueve dimensiones del espacio, cuando es bastante obvio que sólo hay tres?

Las otras seis dimensiones pueden estar **ocultas**. Pueden ser dimensiones muy pequeñas que se envuelven en círculos. Por ejemplo, las tres dimensiones que percibimos pueden ser como la longitud del cilindro ilustrado a continuación, mientras que las dimensiones adicionales pueden ser como la circunferencia. La circunferencia es pequeña, mientras que la longitud es infinita. Si las dimensiones extras son muy pequeñas, eso explicaría por qué no puedes verlas y por qué no puedes moverte a lo largo de una cuarta dimensión.



En este sencillo modelo para ocultar las dimensiones extras, decimos que las dimensiones extras han experimentado la compactación. Son de dimensiones compactas. No, no quiero sugerir que Dios puso el universo en un compactador de basura. Pero eso suena interesante. Si quieres hacer más popular la teoría de cuerdas, tal vez deberíamos añadirle algunos monos. Al menos, podríamos inventar una teoría mejorada y llamarla teoría de la **cuerda G**. Imagínense 100 estudiantes matriculándose en un curso, en el que sólo diez de ellos esperan hacer física teórica.

Por fascinante que sea el tema, no vamos a discutir (nunca más) la teoría de cuerdas en este libro. Lo sé, pon una cara triste. El

enfoque de este libro se centra en la geometría de una cuarta dimensión del espacio que es muy parecida a las tres dimensiones habituales. Tampoco vamos a hablar de dimensiones compactas (más allá).

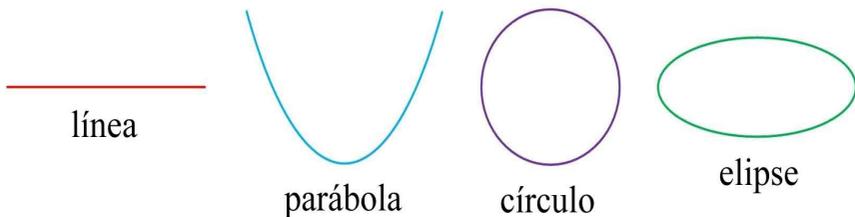
[Haz clic aquí para volver a la Tabla de Contenidos.](#) De lo contrario, sigue leyendo.

Capítulo 1

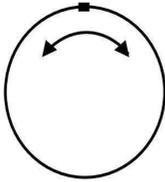
Dimensiones Cero y Uno

Comencemos con la dimensión cero. Un objeto 0D es sólo un punto matemático. Un solo objeto en un universo 0D ocuparía todo el espacio. El movimiento no sería posible. Sería la prisión definitiva, donde sólo se podría "cumplir la condena", como dice el refrán. No se podía hacer nada físico en 0D, pero podría ser suficiente para un mundo puramente filosófico o espiritual. Podríamos llamar a los habitantes filso-apatía, por ejemplo; no tienen **sustancia**, sólo piensan (pero ni siquiera habría cerebros físicos, ya que todo el universo 0D sería un solo punto). (Sí, perezosos. No, no uno de los siete pecados capitales. Mamíferos arbóreos a los que les gusta comer fruta. No, no los monos, pero los monos transmitirán la idea.)

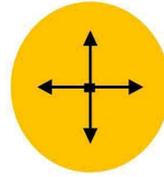
La primera dimensión podría ser una línea, pero también podría ser una curva como una parábola o un círculo. Las curvas son efectivamente 1D porque cualquier objeto que viva en tal espacio tendría la misma libertad limitada que una línea: Sólo se puede avanzar o retroceder. Piensa en la primera dimensión como una **cola** de mono, y en un objeto 1D como una cuenta que se desliza hacia adelante y hacia atrás a lo largo de la cola.



Una cuenta que se desliza alrededor de una cola de mono circular experimenta un movimiento 1D porque sólo puede deslizarse en el sentido de las agujas del reloj o en sentido contrario. En contraste, un mono que deambula por el interior de una habitación circular experimenta un movimiento 2D. Compare las imágenes de abajo.



movimiento a lo largo del círculo (1D)

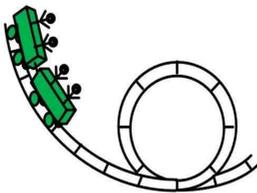


movimiento dentro del círculo (2D)

Puedes relacionarte con la primera dimensión, ya que muchas actividades humanas (pero imaginaremos monos en su lugar) son en gran medida 1D. Los monos que montan en una montaña rusa, por ejemplo, siguen un curso predeterminado. Simplemente avanza (excepto por la rara montaña rusa que también retroceda).



Ascensor



montaña rusa



rápidos



autopistas

La primera dimensión parece demasiado simple, ¿verdad? En realidad, es tan simple desde nuestra perspectiva 3D, que en realidad es bastante complicado imaginar un mundo 1D. ¡¿Qué?! Mira, hay dos cosas que aprendes cuando estudias física: (1) Cómo resolver problemas complicados, como un mono patinando por una cuña mientras la cuña se desliza hacia los lados y (2) cómo hacer que las cosas fáciles parezcan difíciles.

Así que veamos lo que podría ser no trivial en la primera dimensión. Oh, no me refiero a un problema de física 1D, como resolver el movimiento de un mono conectado a dos muelles, mientras se tiene en cuenta la resistencia del aire y la fricción. En realidad, eso es bastante sencillo. Puede implicar **cálculo** y la solución puede ser numérica, pero el enfoque es sencillo. Como dije, aprendemos a hacer que los problemas complicados parezcan fáciles.

Lo que tengo en mente son complicaciones conceptuales, como tratar de diseñar un mundo 1D que imite nuestro universo 3D. Así que vamos a explorar cómo podemos hacer que algo simple, como la primera dimensión, suene complicado.

Para ayudar a visualizar un mundo 1D simple, considere los modelos ilustrados a continuación. Hay objetos 0D y/o 1D moviéndose hacia adelante y hacia atrás en estos mundos 1D. Por supuesto, los objetos son realmente monos y **bananas**.

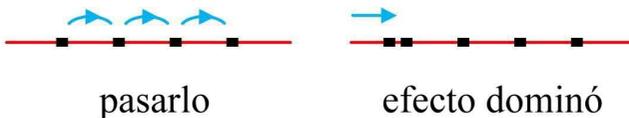


¿Has notado algo que pueda parecer extraño en vivir en un mundo 1D? Sí, sólo piensa en esos pobres monitos de 1D. ¿Dónde pondrías cosas como los ojos, una boca, una oreja y una nariz, teniendo en cuenta que sólo hay dos extremos y que no tendría sentido tener estas cosas dentro? Un ojo en sí mismo sería como un punto, y sólo vería un punto - que siempre estaría lleno de un punto de "luz". Pero lo que debería parecer extraño no es tan sutil. ¿No parece que todos estos monos 1D están **atrapados**?



¡Mira! Todos estos monos 1D están básicamente en prisión. ¿Cómo se pasa de los vecinos más cercanos? ¿Es la primera dimensión caníbalista? ¡**Cómelos!** "Disculpe, señor. Pasando por aquí. ¡Tengo que comerte!" ¡Literalmente pasando por él!

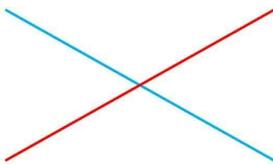
Si los monos 1D no pueden pasar a través de sus vecinos más cercanos, la comunicación sería un desafío. Los monos podían enviar mensajes como los escolares que pasaban notas en clase, o tal vez más como dominó. Pero si quieres diseñar un mundo 1D, puede ser mejor que los objetos tengan un poco de transparencia para que algunos objetos, al menos, puedan pasar a través de otros (como la luz a través del vidrio).



Establecer las leyes básicas de la física para tratar de diseñar un mundo 1D que imite algunas de las características de nuestro universo, ahí es donde está el desafío. Por ejemplo, si quieres que la materia esté compuesta de "átomos", ¿cómo propones hacer **órbitas** en un universo 1D? Un objeto no puede rodear a otro (a menos que quieras ser realmente creativo y permitir que una partícula forme una "órbita" viajando a través de agujeros de gusano, como

la hipotética figura de la órbita hiperespacial que sigue). Un movimiento de ida y vuelta sería más natural que una órbita. Si estás diseñando tu propio universo 1D, podrías pensar en las fuerzas fundamentales como resortes (pero si en cambio quieres tomar las leyes de nuestro universo y establecer $N = 1$ para el número de dimensiones, estás atascado con cualquier ley de fuerza que te brinde). Mientras estemos pretendiendo diseñar un universo, es mejor que nos esforcemos por hacerlo sin ningún tipo de prejuicio derivado de nuestra propia experiencia 3D.

A continuación, se muestran algunas imágenes de características interesantes de mundos 1D hipotéticos. Aquí tenemos mundos que se cruzan, universos paralelos y una dimensión enroscada con un agujero de gusano (un "atajo" a través del espacio-tiempo).



intersección
de dos mundos



universos
paralelos



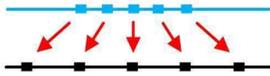
dimensión
en rizo

Un agujero negro 1D se vería algo así (excepto que tal vez no debería alcanzar el "punto" límite hasta el infinito).

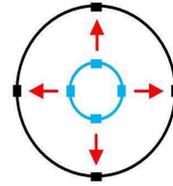


agujero negro 1D

Recuerda, en esta aburrida presentación de diapositivas, los objetos son realmente monos. O en el caso de abajo, son los soles de los sistemas solares de los monos 1D, que se están distanciando cada vez más a medida que el universo 1D se expande.

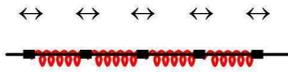


universo linear expandiéndose

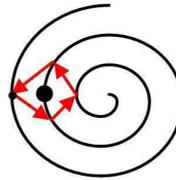


universo circular expandiéndose

Las fuerzas de resorte y las ideas de "órbita" hiperespacial a las que aludimos anteriormente se ilustran aquí:



cuerdas ocultas



órbita en el hiperespacio

En un esfuerzo por llegar finalmente a la cuarta dimensión, que ojalá te interese ya que ese es el título de este libro, pasemos a la segunda dimensión.

[Haz clic aquí para volver a la Tabla de Contenidos.](#) De lo contrario, sigue leyendo.