

TEMPORIDAD Y ESPACIEDAD

(Timeness and Spaceness)

Adunador: ALBERTO MEJÍAS*

Universidad de los Andes, Núcleo-Táchira
Departamento de Ciencias

¡El pez de la realidad es como el agua!

Proverbio Zenita

Resumen. Se discute cuál es la diferencia fundamental entre tiempo y espacio, su papel en la geometría del espaciotiempo y las leyes de la naturaleza.

Descriptores. Tiempo, Espacio, Espaciotiempo, Espaciotiempo Newtoniano, Espaciotiempo Minkowskiano, Representaciones espacioide-tempoideas.

Abstract. What is the fundamental difference between time and space, their role in the geometry of spacetime and the laws of nature is discussed.

Keywords. Time, Space, Spacetime, Newtonian Spacetime, Minkowskian Spacetime, Spacelike-timelike Representations.

1 INTRODUCCIÓN

Nadie niega que tiempo y espacio sean diferentes y que sea fácil catalogar diferencias entre ellos. Se puede señalar con un dedo hacia el oeste, pero no se puede señalar con un dedo hacia el futuro. Se puede elegir, ahora, ir hacia la izquierda; pero, no se puede elegir, ahora, ir hacia el pasado. Y (como señala D. C. WILLIAMS : [12] p. 468) para muchos de nosotros, nuestras actitudes hacia el tiempo, difieren de nuestras actitudes hacia el espacio. Queremos maximizar nuestro alcance tempóric y reducir al mínimo la extensión espacial: queremos vivir cuanto sea posible; pero, queremos ser delgados.¹ Pero, estas diferencias no son muy profundas y no llegan a la esencia de la diferencia entre tiempo y espacio. Esto es lo que queremos comprender: queremos saber *qué* es lo que hace al tiempo diferente del espacio. Queremos saber cuál es la diferencia fundamental entre ellos.

Vamos a argumentar la afirmación de que (groseramente) el tiempo es una dimensión que juega un cierto papel en la geometría del espaciotiempo y las leyes

* ALBERTO R. MEJÍAS E. es Licenciado en Matemáticas, egresado de la Facultad de Ciencias de la Universidad de los Andes (ULA) Mérida-Venezuela. Es profesor emérito, de Topología, jubilado por la Universidad de los Andes en 1999. alrame59@gmail.com

¹ WILLIAMS, realmente dice que nos importa cuánto vivimos; pero, que no nos importa cuánto engordamos.

de la naturaleza. (En este trabajo, luego, concentraremos en lo que es distintivo acerca de tiempo y diremos un poco, con respecto a lo que es distintivo acerca del espacio.) Pero, antes de dar el argumento, queremos poner la pregunta en términos ligeramente diferentes. En lugar de preguntar, ¿Qué es lo que diferencia al tiempo del espacio? queremos preguntar ¿Qué es lo que hace tempóricas a las direcciones tempóricas en el espaciotiempo, en vez de espaciales?² Después de rechazar algunas malas respuestas a esta pregunta presentamos un punto de vista.

2 DIAGRAMAS DE ESPACIOTIEMPO Y DIRECCIONES EN EL ESPACIOTIEMPO

Suele ser útil, al abordar problemas en física y metafísica, dibujar un diagrama espacioide-tempoideo. Los diagramas espacioide-tempoideos representan a los estados en el espacio y el tiempo de algunos objetos.

Tradicionalmente, en un diagrama espacioide-tempoideo de dos dimensiones (el tipo más fácil de dibujar sobre papel), se trazan dos ejes perpendiculares entre sí. El eje horizontal (espacioide) representa al espacio y el eje vertical (tempoideo) representa al tiempo. Así que supondremos que estamos limitados a una dimensión en el espacioide: sólo podemos movernos hacia la izquierda o hacia la derecha. Entonces el diagrama de la izquierda de la figura 1, podría representar parte de nuestro estado. La línea de zigzag nos representa; es nuestra línea mundi (estamos representados, incorrectamente, del tamaño de un punto, pero eso no es importante, ya que no estamos considerando a nuestra estructura). Según el diagrama permanecemos detenidos por un rato; luego nos desplazamos hacia la izquierda, nos detenemos por un rato más largo y, luego, nos desplazamos hacia la derecha.

Dijimos que queríamos preguntar ¿Qué es lo que hace tempóricas a las direcciones tempóricas en el espaciotiempo, en vez espaciales?

Pero ¿qué es una dirección en el espaciotiempo?

Podemos utilizar diagramas espacioide-tempoideos, para obtener un sentido acerca de lo que son las direcciones en el espaciotiempo.

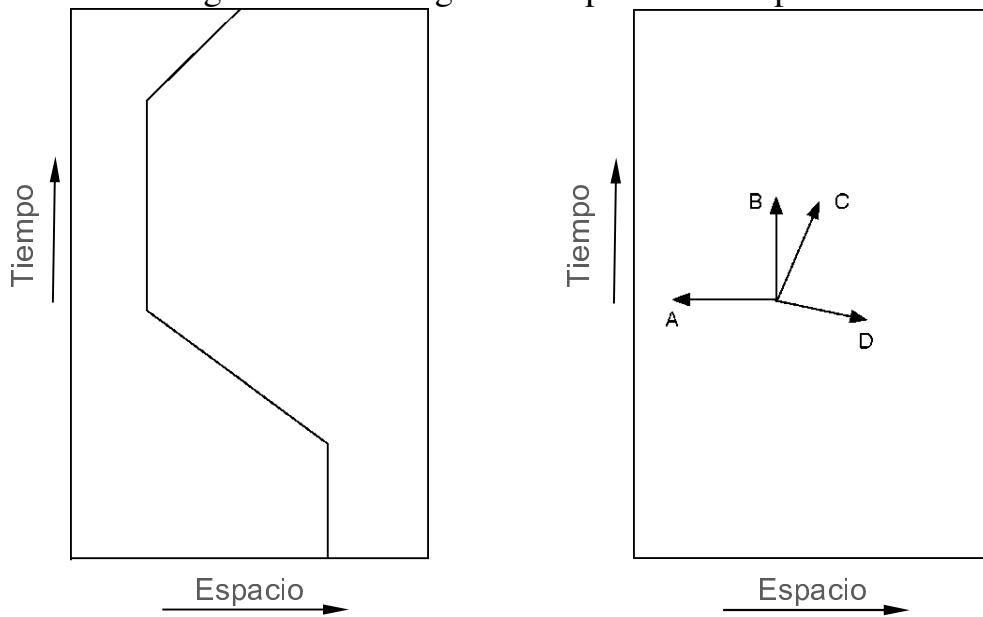
Para representar a una dirección en el espaciotiempo (desde algún punto del espaciotiempo), sobre el diagrama, podemos dibujar una flecha o vector sobre el diagrama, desde el punto que representa a aquel punto del espaciotiempo. Así, en el

² Es importante distinguir a esta pregunta, de otra pregunta comúnmente discutida. Muchos filósofos quieren saber lo que hace al futuro, diferente del pasado. Pero eso no es lo estamos preguntando. Hacia el futuro y hacia el pasado son ambas direcciones tempóricas; y no estamos preguntando ¿qué es lo que hace a una dirección tempórica la dirección hacia el futuro y a la otra, la dirección hacia el pasado? En cambio, estamos preguntando ¿qué es lo que hace a *cualquiera* de ellas una dirección tempórica, en vez de espacial, en primer lugar?

Temporalidad y Espaciedad

diagrama, a la derecha de la figura 1, la flecha con la etiqueta 'A' apunta en dirección hacia la izquierda en el espacioide y la flecha con la etiqueta 'B' apunta en dirección hacia el futuro, en el tempoide. Hay en este diagrama, entonces, por lo menos dos direcciones tempoideas: hacia el futuro y hacia el pasado; y dos direcciones espacioideas: hacia la izquierda y hacia la derecha.

Figura 1: Dos Diagramas Espacioide-tempoideos



Dos flechas pueden señalar en la misma dirección y tener diferentes longitudes. Una dirección entonces, es una clase de equivalencia de vectores —el conjunto de todos los vectores que apuntan en la misma dirección y difieren sólo en su longitud. Siguiendo a un uso estandarizado, a veces llamaremos a un vector que apunta en una dirección tempoidea, un 'vector tempoideo' y a un vector que apunta en una dirección espacioidea, un 'vector espacioideo'.

¿Qué pasa con las flechas rotuladas 'C' y 'D'? No parecen apuntar en una dirección espacioidea o una tempoidea. Lo que haya que decir acerca de las flechas como C y D, realmente depende de la estructura geométrica del espaciotiempo representado por el diagrama. En el espaciotiempo neo-newtoniano (bidimensional), cada flecha que no apunta a la izquierda o a la derecha, apunta en una dirección tempoidea, mientras que en el espaciotiempo minkowskiano (que representa al espaciotiempo minkowskiano de la teoría especial de la relatividad) las flechas que tienen menos de 45 grados, desde el eje tempoide (como C) apuntan a una

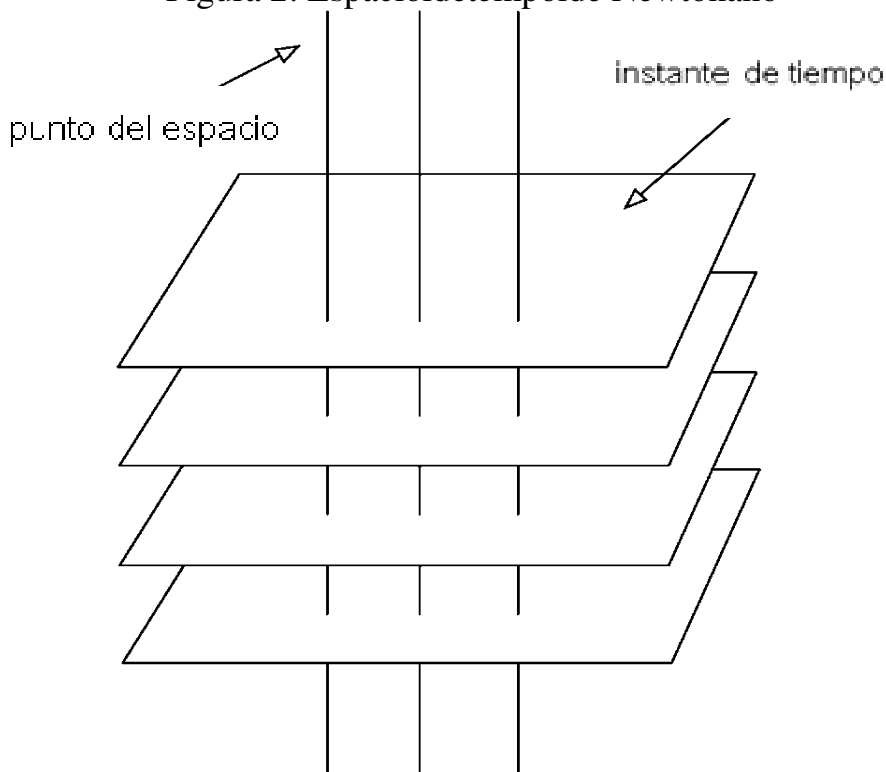
dirección tempoidea, mientras que las flechas que tienen más de 45 grados desde el eje tempoide (como D), apuntan en una dirección espacioidea.

¿Por qué enmarcar la discusión en términos de direcciones espacioideas y tempoideas, en lugar de espacio y tiempo?

Las teorías físicas modernas están formuladas en términos de un espacio-tiempo tetradimensional, en vez de en términos de espacio tridimensional y tiempo unidimensional por separado. En algunas más viejas teorías (mecánica newtonana, en particular), hay una manera para identificar ciertas regiones del espaciotiempo, como puntos del espacio y otras regiones como instantes de tiempo. Pero, en teorías más recientes, especialmente la teoría general de la relatividad, esto no siempre se puede hacer.

Podemos identificar puntos del espacio e instantes de tiempo con ciertas regiones del espaciotiempo newtonano, porque el espaciotiempo newtonano tiene ciertas características geométricas especiales (ver figura 2).

Figura 2: Espaciotiempo Newtonano



Hay una manera única y geométrica, preferida, de dividir a esta variedad tetradimensional, espaciotiempo, en una secuencia de subvariedades euclidianas tridimensionales. Cada una de estas subvariedades euclidianas es idónea para desempeñar el papel que queremos que jueguen los instantes de tiempo: los eventos que

Temporalidad y Espaciedad

se producen en la misma subvariedad, ocurren simultáneamente. Así que estas subvariedades *son* instantes de tiempo. Un punto del espacio, entonces, es una línea en el espaciotiempo perpendicular a cada momento. (Los eventos ubicados en la misma línea, ya sean simultáneos o no, ocurren en el mismo lugar.) Los hechos acerca de cuáles regiones son puntos del espacio y cuáles son instantes de tiempo, son absolutos: no relativos a algún observador o marco de referencia.

En el espaciotiempo newtoniano la distinción entre tiempo y espacio y entre las direcciones temporales y las espaciales, coinciden. Un vector que apunta en una dirección espacial, es uno que apunta a lo largo de (es tangente a) un tiempo y, por tanto, apunta hacia otros puntos del espacio. Un vector que apunta en una dirección temporal, es uno que apunta en ángulo a un cierto tiempo y, así, apunta en la dirección de tiempos pasados o futuros.

Pero, las características geométricas especiales que permitan identificar a los puntos del espacio e instantes de tiempo con ciertas regiones del espaciotiempo newtoniano faltan en otros espaciotiempos. En el espaciotiempo neo-newtoniano, aunque hay una manera no relativa, de identificar regiones de espaciotiempo, con tiempos, no hay una manera no relativa, de identificar regiones de espaciotiempo, con puntos del espacio. Diferentes observadores inerciales consideraran a diferentes eventos como ocurrientes en el mismo lugar y, así, considerarán a diferentes rectas en el espaciotiempo, como puntos del espacio, sin que la geometría del espaciotiempo privilegie a alguno de ellos sobre los demás.³ Esto le sucede al tiempo, también, en el espaciotiempo minkowskiano, el espaciotiempo de la relatividad especial.

En relatividad general, la cosa se pone peor. Según esta teoría, la geometría de espaciotiempo varía de mundo a mundo, dependiendo de la distribución de materia en cada mundo. En *algunos* de esos mundos, el espaciotiempo puede ser dividido en instantes de tiempo y puntos del espacio. (Como antes, los tiempos son subvariedades tridimensionales, que tienen ciertas propiedades geométricas; pero, en relatividad general, no tienen que tener una geometría euclídea.⁴ Los puntos de los espacios son curvas en el espaciotiempo (no tienen que ser líneas rectas), que corren oblicuamente a cada instante y cumplen con algunas condiciones geométricas, más.

³ Se ha dicho anteriormente, que en el espaciotiempo newtoniano, un punto del espacio es una recta en el espaciotiempo, que interseca a cada instante en un ángulo recto. En el espaciotiempo neo-newtoniano, ya no podemos decir cuáles rectas intersecan a un instante, en ángulo recto y cuáles no.

⁴ Técnicamente, la propiedad geométrica relevante es que estas subvariedades son espacioideas.

Por lo general, hay muchas maneras para dividir al espaciotiempo, al igual que al espaciotiempo minkowskiano, ninguna más preferida por la geometría, que las otras). Pero, en otros mundos, el espaciotiempo no puede ser dividido de esta manera. (La solución de GÖDEL es un ejemplo). En estos mundos no hay regiones del espaciotiempo, que se consideren como puntos del espacio o instantes de tiempo, ni siquiera con respecto a un observador inercial. Pero, incluso en esos mundos, hay una distinción entre los aspectos tempóricos y los espaciales, del espaciotiempo, porque todavía, podemos distinguir a las direcciones espacioideas de las tempoideas. (Dado un punto en la línea mundi de un observador consciente, en uno de estos espaciotiempos, por ejemplo, aún podemos decir en cuáles direcciones, desde ese punto, irán sus futuros episodios mentales.) Puesto que la distinción entre direcciones, es más general que la distinción entre espacio y tiempo, ésta es la distinción que queremos enfocar.

3 ¿PERMITE LA GEOMETRÍA, DISTINGUIR ENTRE DIRECCIONES TEMPORICAS Y DIRECCIONES ESPACIALES?

La opinión de que la distinción entre direcciones tempóricas y espaciales, es geométrica, es natural cuando uno estudia las teorías de espacio-tiempo. Esas teorías atribuyen una u otra estructura geométrica al espaciotiempo y cuando se explica una teoría dada, la distinción entre direcciones tempóricas y espaciales se explica generalmente en términos geométricos.

Por ejemplo, según la teoría especial de la relatividad, la geometría del espaciotiempo satisface los axiomas de la geometría minkowskiana. Esa geometría nos permite asignar longitudes a vectores en el espaciotiempo. Y las longitudes de los vectores que apuntan en direcciones tempóricas tienen un signo diferente que las longitudes de los vectores que apuntan en direcciones espaciales. Una clase tiene longitudes negativas; la otra, positiva.

Podríamos esperar explicar lo que hace que las direcciones tempóricas sean tempóricas, apelando a los signos de las longitudes de los vectores que apuntan en esas direcciones; pero no vemos cómo podría funcionar este enfoque, por tres razones.

En primer lugar, mientras que revisar los signos de las longitudes de los vectores, puede permitirnos determinar dos clases disjuntas de vectores (es decir, la clase de vectores con longitud negativa y la clase de vectores con longitud positiva), el signo de la longitud de un vector no establece si es un vector tempórico. Consideremos a un mundo m que es igual al nuestro, salvo que el signo de la longitud de cada vector, ha sido cambiado. Si los vectores tempóricos son (digamos) vectores con longitudes negativas, entonces m es muy diferente del mundo real: los

Temporalidad y Espaciedad

vectores que son realmente tempóricos, son espaciales en m . Pero esto no es lo que los libros de texto sobre relatividad, opinan de m . Nos dicen que m es cualitativamente indiscernible de nuestro mundo: los vectores tempóricos reales siguen siendo tempóricos en m , aunque sus longitudes son negativas en el mundo real y positivas en m .⁵

En segundo lugar, una diferencia en los signos de sus longitudes es demasiado formal y abstracta para ser la diferencia fundamental entre vectores que apuntan en direcciones tempóricas y los que apuntan en direcciones espaciales y, por tanto, entre tiempo y espacio.

Y, en tercer lugar, distinguir entre los dos tipos de direcciones en términos de los signos de las longitudes de los vectores, sólo funciona en espaciotiempos con geometría minkowskiana. No hay vectores que tengan longitudes negativas en un espaciotiempo neo-newtonano; pero no queremos decir que no hay direcciones tempóricas en ese espaciotiempo. Por supuesto, en ese espaciotiempo la diferencia

⁵ Lo que dicen los libros de texto es realmente, más complicado. Dicen que si los vectores tempóricos tienen longitud negativa o longitud positiva es una cuestión de convención. Esto lo interpretamos de la siguiente manera. Los libros de texto utilizan objetos matemáticos para representar el espaciotiempo: una variedad diferenciable con una métrica LORENTZ rasa. Pero libros diferentes usan métricas diferentes. Como espaciotiempo, una variedad diferenciable tiene vectores en cada uno de sus puntos y la métrica asigna longitudes a estos vectores. Los libros de texto que dicen que los vectores tempóricos tienen longitudes negativas utilizan una métrica diferente de los libros de texto que dicen que los vectores tempóricos tienen longitudes positivas. Las métricas difieren sólo en los signos de las longitudes de los vectores. Pero esta diferencia no hace distinción a la estructura geométrica de las variedades: las dos variedades tienen la misma estructura geométrica. Así que, cuando los libros de texto dicen que si los vectores tempóricos tienen longitud negativa o longitud positiva, es una cuestión de convención, se refieren a que estas dos variedades son igualmente buenas representaciones de la estructura geométrica del espaciotiempo mismo.

Esto implica la afirmación que atribuimos a los libros de texto en el texto anterior: que m es cualitativamente indiscernible del mundo real. El argumento es como sigue. Si dos variedades diferenciables abstractas, que difieren sólo en los signos de las longitudes de sus vectores tienen la misma estructura geométrica, entonces dos espaciotiempos concretos (como el espaciotiempo real y el espaciotiempo en m) que difieren sólo en los signos de las longitudes de sus vectores también tienen la misma estructura geométrica. Así que cualquier vector que realmente tiene longitud negativa tiene las mismas características geométricas en el mundo real, que en m , donde tiene longitud positiva. Asumiendo (como hicimos en el texto) que m también concuerda con el mundo real en todas sus características no geométricas, se deduce que los dos mundos son cualitativamente indiscernibles.

geométrica entre direcciones espaciales y tempóricas, es explicada diferentemente. En términos generales, en un espaciotiempo neo-newtoniano tenemos dos maneras para asignar longitudes (positivas) a vectores. Se nos dice que los vectores que apuntan en direcciones tempóricas son aquellos que tienen longitud no nula, según una determinada, de esas maneras. (Lo mismo vale en un espaciotiempo newtoniano). Pero no quiere decir que lo que lo hace tempórico a un vector tempórico, es que se cumple la siguiente condición: o es un vector en un espaciotiempo min-kowskiano, que tiene longitud negativa (digamos) o es un vector en un espaciotiempo neo-newtoniano y tiene longitud positiva según una métrica particular (y así sucesivamente con las cláusulas de cada espaciotiempo distinto). Pero, las direcciones tempóricas en un mundo con una geometría de espaciotiempo, tienen *algo en común* con las direcciones tempóricas en un mundo con alguna otra geometría de espaciotiempo. Y una respuesta a la pregunta '¿en virtud de qué son tempóricas las direcciones tempóricas?' debe decirnos algo sobre lo que tienen en común. Incluso si la propuesta actual distingue correctamente a las direcciones tempóricas de las espaciales, no dice lo que tienen en común las direcciones tempóricas. Por lo que no es la respuesta que estamos buscando.

Aunque todavía no encontramos una forma geométrica para distinguir a las direcciones tempóricas de las espaciales, tenemos una forma geométrica para distinguir a las direcciones que son espaciales o tempóricas, de las que no son ninguna de ellas. En todos los espaciotiempos, los vectores espaciales o los tempóricos tienen longitud no nula. Y podemos establecer que los vectores con longitud cero no son ni espaciales ni tempóricos, basados en argumentos geométricos solamente.⁶ Cualquier geometría de espacio-tiempo que consideremos, esa geometría asigna longitudes a los vectores como una manera de asignar distancias, ya sea espaciales o tempóricas, entre puntos del espaciotiempo. (Esta longitud está determinada por la suma de (en realidad, la integración) las longitudes de vectores tangentes a una determinada trayectoria entre los dos puntos.) Pero, sumar un montón de ceros sólo da cero, por lo que sumar las longitudes de los vectores con longitud cero, no podría ser una manera para determinar la distancia tempórica o espacial entre dos puntos. Así que, los vectores con longitud cero no son ni espaciales ni tempóricos.

Tenemos, entonces, una forma geométrica para clasificar a los vectores en cualquier espaciotiempo, en la clase de vectores que son espaciales o tempóricos y la clase de vectores que no son ni espaciales ni tempóricos. También contamos con

⁶ El vector cero, que no apunta en ningún sentido, tiene longitud cero, pero en algunos espaciotiempos otros vectores también la tienen. En particular, los vectores lumínicos en el espaciotiempo MINKOWSKI, tienen longitud cero. (Estos vectores apuntan a lo largo de posibles trayectorias de los rayos de luz).

Temporalidad y Espaciedad

una forma geométrica para dividir a la clase de vectores que son espaciales o tempóricos en dos subclases. En el espaciotiempo minkowskiano (y en los espaciotiempos de la relatividad general también) los dividimos en la subclase con longitudes negativas y la subclase con longitudes positivas. En espaciotiempos newtonianos y neo-newtonianos los dividimos en la subclase con longitud positiva según un modo de asignar longitudes y la subclase con longitudes positivas según la otra forma de asignar longitudes. (Digamos que dos vectores que pertenecen a la misma subclase son 'del mismo tipo.' Hablar de vectores que son del mismo tipo, entonces, está reservado para vectores espaciales o tempóricos.) Pero todavía no tenemos una manera de designar a una de esas subclases como la clase de vectores que apuntan en direcciones tempóricas.

4 DIMENSIONALIDAD

Si estamos buscando una forma geométrica de distinguir a las direcciones tempóricas de las espaciales, probablemente nuestra mejor apuesta sería hacer consideraciones de dimensionalidad. En geometría minkowskiana tetradimensional, independientemente de que los vectores tempóricos tengan longitud positiva o negativa, el tiempo es unidimensional y el espacio es tridimensional. Tal vez, *porque* es unidimensional, es que el tiempo es tiempo.

Antes de examinar esta tesis, vamos a decir algo sobre lo que significa decir que el tiempo es unidimensional.

Intuitivamente hablando, decir que el tiempo es unidimensional, es decir que lo podemos representar como una línea, y que todos los eventos que ocurren en el tiempo pueden ser asignados a una posición en esa línea.⁷

Como se ha dicho en Sección 2, en espaciotiempos newtonianos y neo-newtonianos hay una única manera geométrica preferida para rebanar al espaciotiempo tetradimensional en una secuencia unidimensional de subvariedades euclidianas tridimensionales. Cada subvariedad tridimensional es un instante y la secuencia da su orden tempórico. Puesto que cada evento ocurre en algún lugar en el espaciotiempo, cada evento se produce en algún lugar en esta secuencia unidimensional. Así el tiempo es unidimensional en el sentido intuitivo, en estos espaciotiempos, porque divide de esta manera.

En el espaciotiempo minkowskiano hay varias formas geométricas preferidas para rebanar al espaciotiempo tetradimensional en una secuencia de subvariedades euclidianas tridimensionales. Aun así, todavía podemos ordenar tempóricamente a

⁷ Las circunferencias también son unidimensionales, así que, estrictamente hablando, el tiempo podría ser unidimensional incluso si tuviéramos que representar al tiempo como una circunferencia.

todos los eventos, en una línea, aunque no hay una forma única de hacerlo. (Hay eventos e y h tales que e ocurre antes que h según un corte, pero h se produce antes que e según otro corte).

Pero no queremos decir, en general, que el tiempo es unidimensional solo en caso de que la geometría del espaciotiempo nos da, al menos, una manera especial para dividirlo en una secuencia unidimensional de subvariedades tridimensionales. Como se ha dicho, algunos espaciotiempos relativísticos generales, no pueden ser divididos naturalmente, en una secuencia de subvariedades tridimensionales. Y todavía hay un cierto sentido (algo técnico) en que el tiempo es unidimensional en mundos que contienen a esos espaciotiempos.

Los vectores en un espaciotiempo, en cualquier punto determinado en el espaciotiempo, forman un espacio vectorial tetradimensional; la máxima dimensión de un subespacio que contiene sólo a vectores tempóricos (y al vector cero) es uno, mientras que la máxima dimensión de un subespacio que contiene solamente a vectores espaciales (y al vector cero, dejaremos esto implícito en adelante) es tres.⁸ El tiempo es unidimensional en este sentido más técnico, no sólo en espaciotiempos relativísticos generales, sino también en los otros espaciotiempos que hemos mencionado; así, este sentido más técnico es una generalización del dado anteriormente.

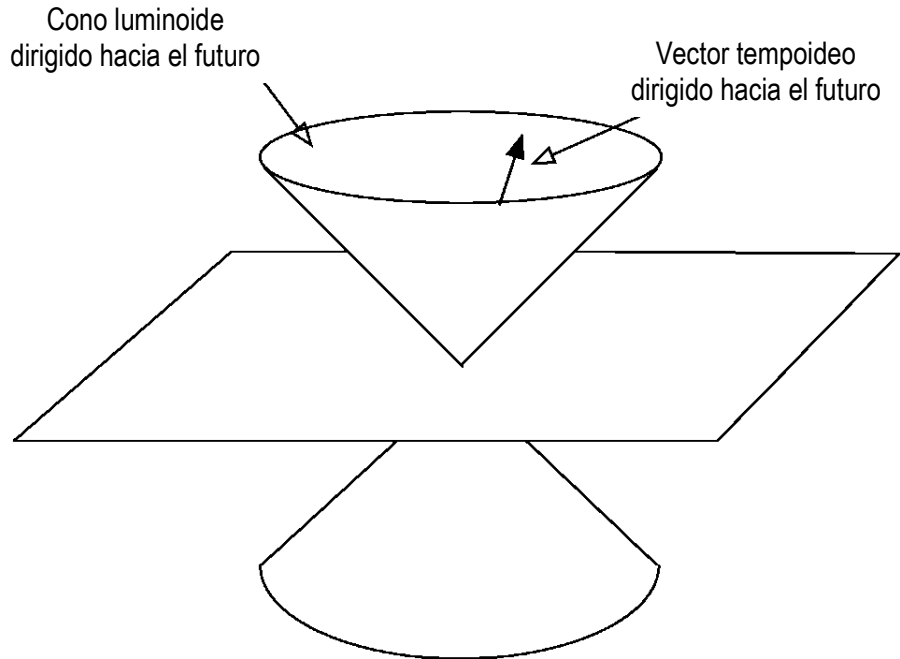
Para ver por qué esto es así, en un espaciotiempo minkowskiano, consideremos (para facilitar la visualización) a un espaciotiempo minkowskiano, tridimensional, representado en la figura 3. Desde un punto dado, de ese espaciotiempo, el conjunto de puntos que pueden ser alcanzados por los rayos de luz, forma un doble cono: los conos lumínicos del pasado y del futuro en ese punto. Los vectores que se encuentran dentro de cada cono de luz, son los vectores tempóricos. Si escogemos alguna línea a través de ese cono y consideramos al conjunto de vectores que apuntan a lo largo de esa línea, entonces (como explicamos en la Nota 8) los vectores tempóricos forman un subespacio unidimensional del espacio de los vectores en ese punto. Pero, no podría ser un subespacio bidimensional de vectores tempóricos: si pudiera, entonces tendría que ser algún plano a través de ese punto en el espaciotiempo, tal que todos los vectores en ese punto, que se encuentran en ese plano

⁸ He aquí una breve explicación intuitiva de espacios vectoriales. Considere a un espacio vectorial (tridimensional) como el conjunto de todas las flechas que se pueden trazar desde un punto (en el espacio común). La flecha de longitud cero: es el vector nulo o cero. Un subespacio de ese espacio vectorial, es un subconjunto de las flechas, tal que todas sus flechas se encuentran en el mismo plano (que es un subespacio bidimensional) o bien, todas sus flechas se encuentran en la misma línea (que es un subespacio unidimensional).

Temporalidad y Espaciedad

también caerían dentro el cono lumínico del futuro o del pasado. Pero, ningún plano se encuentra completamente dentro de los dos conos lumínicos.

Figura 3: Espaciotiempo Minkowskiano



No es controversial la afirmación de que el tiempo es unidimensional en las teorías del espaciotiempo, familiares. La afirmación que puede ser polémica, es que es la dimensionalidad es lo que *hace* tempóricos a los vectores tempóricos. Para ser explícitos, la afirmación polémica es:

DIMENSIÓN: un vector es tempórico si, y sólo si, la máxima dimensión de un subespacio que contiene sólo vectores del mismo tipo que aquel, es uno.⁹

Objetábamos anteriormente, a la primera forma de usar geometría para distinguir a las direcciones espaciales, de las tempóricas, que no nos decía lo que tienen en común las direcciones tempóricas en diferentes espaciotiempos. *DIMENSIÓN* lo hace mejor, porque dice algo sobre lo que ellas tienen en común.

⁹ En el espaciotiempo minkowskiano la máxima dimensión de un subespacio que contiene sólo vectores nulos (vectores lumínicos y el vector cero) es uno. Pero, *DIMENSIÓN* no implica que estos vectores sean tempóricos. En Sección 3 argumentamos que los vectores nulos no son tempóricos sólo en base a razones geométricas; *DIMENSIÓN*, como los otros principios que más tarde consideraremos, sólo pretende determinar cuáles de los restantes vectores son tempóricos. (Recordar que se dijo Sección 3, que decir que dos vectores son del mismo tipo, se reserva sólo para vectores que (a diferencia de los vectores nulos) son o bien espaciales o bien tempóricos).

Sin embargo, *DIMENSIÓN* presenta problemas. En primer lugar, la diferencia de dimensionalidad entre espacio y tiempo no parece lo suficientemente profunda como para ser la diferencia fundamental, entre los dos. Consideramos que la diferencia fundamental entre tiempo y espacio esclarecerá las otras diferencias, menos fundamentales, entre ellos y nos ayudará a explicar las otras diferencias. Pero, la diferencia en dimensionalidad no hace esto.

Segundo y más importante, podría parecer posible que tanto tiempo *como* espacio sean unidimensionales. Pero, en un mundo posible con espaciotiempo min-kowskiano de dos dimensiones, *todos* los vectores (no nulos) cumplen con la condición *DIMENSIÓN*. Así, *DIMENSIÓN* implica que todas las direcciones (no nulas) en ese mundo son temporales y, (puesto que ninguna dirección es tanto espacial como temporal) ese mundo no contendría direcciones espaciales. Pero eso no puede ser correcto: sin duda es posible que la relatividad especial sea válida y que tiempo y espacio sean ambos unidimensionales.

El problema es que mientras que los vectores de una clase satisfacen la condición *DIMENSIÓN*, los vectores de la otra clase también lo hacen; aunque ya hemos establecido que todos los vectores temporales son de la misma clase. Quien sostenga que la dimensionalidad es el único factor que sirve para distinguir direcciones temporales de las espaciales, debe reconocer que la condición *DIMENSIÓN* es necesaria, pero no suficiente, para que una dirección sea temporal y que ninguna condición es suficiente en todos los mundos. Podría reconsiderar su visión como sigue:

*DIMENSIÓN**: Si un vector es temporal, entonces la máxima dimensión de un subespacio que contiene sólo vectores del mismo tipo que él, es uno; todos los vectores temporales son de la misma clase y en la medida en que estas condiciones no permitan determinar qué vectores son temporales, queda indeterminado qué vectores son temporales.

En mundos donde sólo un tipo de vector satisface la condición *DIMENSIÓN*, entonces, *DIMENSIÓN* y *DIMENSIÓN** concuerdan en que los vectores de ese tipo, son temporales. Pero en mundos con espaciotiempos bidimensionales, *DIMENSIÓN** implica que está indeterminado qué tipo de vectores son temporales.

Al final; sin embargo, esta medida de indeterminación falla. Falla, no porque insistimos en que debe estar perfectamente determinado, en cada mundo, qué direcciones son temporales. Sino, porque en algunos mundos bidimensionales, complicados mundos en los que suceden muchas cosas, hay un hecho de la cuestión sobre qué direcciones son temporales. Por lo que debemos rechazar a *DIMENSIÓN**, así como a *DIMENSIÓN*.

Hemos considerado a dos maneras de distinguir a las direcciones temporales de las espaciales en términos geométricos y encontrado razones para rechazar a

Temporalidad y Espaciedad

ambas. ¿Podría algún otro intento de distinguir en términos geométricos tener éxito donde éstas han fracasado? La respuesta es 'no'. Los espaciotiempos bidimensionales que tienen problemas con *DIMENSIÓN*, también tienen problemas con cualquier intento de utilizar sólo geometría para distinguir direcciones temporales de las espaciales. Los roles que juegan las direcciones temporales y espaciales, en la geometría del espaciotiempo minkowskiano bidimensional (y el espacio-tiempo newtoniano bidimensional) son simétricos. Puesto que las direcciones temporales y las espaciales desempeñan papeles simétricos en las geometrías de espaciotiempos bidimensionales, cualquier intento de distinguir direcciones temporales de las espaciales, aislando a una función geométrica que juegan las unas pero no las otras, está condenado al fracaso.

Así que ¿qué más o además de la geometría del espaciotiempo, hace la diferencia entre direcciones espaciales y temporales?

5 LEYES DE LA NATURALEZA

Las direcciones temporales y las espaciales juegan papeles diferentes en las leyes de la física que hemos tomado en serio como leyes fundamentales que rigen a nuestro mundo. Esas leyes rigen la evolución del mundo en las direcciones temporales, pero no en las direcciones espaciales.

Esta afirmación puede parecer analítica ('por supuesto la *evolución* ocurre en el *tiempo*'); pero, estamos usando 'rigen la evolución del mundo' en un sentido estipulado que no genera tiempo, en su significado. En términos generales, por 'las leyes que rigen la evolución del mundo' en algún sentido nos referimos a que las leyes, junto con información completa sobre lo que ocurre en alguna región del espaciotiempo, proporcionan información completa sobre (o asignan probabilidades a descripciones completas de) lo que acontece en regiones de espaciotiempo que se encuentran en esa dirección desde la región inicial.

Lo que queremos decir puede hacerse más preciso, utilizando un ejemplo. Anteriormente dijimos que los espaciotiempos de la mecánica newtoniana y la relatividad especial, así como algunos de los espaciotiempos de la relatividad general, se pueden particionar en una secuencia de instantes, una secuencia de subvariedades tridimensionales (geométricamente especiales). Ahora, en teoría gravitacional newtoniana, habida información completa acerca de lo que sucede en algún momento, las leyes determinan lo que ocurre en el resto de los momentos.¹⁰ Estas leyes ri-

¹⁰ Estamos asumiendo aquí (con propósitos ilustrativos), que la teoría gravitacional newtoniana es determinista, aunque hay buenos argumentos que indican que no lo es. EARMAN discute esos argumentos en [3].

gen la evolución del mundo desde un tiempo, a los demás. Y una declaración similar es válida para las otras leyes que hemos considerado fundamentales.

Ahora, los vectores tempóricos no son tangentes a ningún momento, cualquiera que sea la manera de particionar a algún espaciotiempo dado, en momentos. Por el contrario, sin importar que partición del espaciotiempo, en momentos, se use, los vectores tempóricos apuntan desde un momento hacia otros. Luego, los vectores tempóricos apuntan en las direcciones en que las leyes rigen la evolución del mundo.¹¹

No es igual para los puntos del espacio. Si sabemos lo que está sucediendo aquí (en esta localización en el espacio) en todo tiempo, las leyes no me dan información completa acerca de (o asignan probabilidades para completar las descripciones de) lo que está sucediendo en cualquier otro lugar en algún momento. De hecho, no me dicen casi nada acerca de lo que está sucediendo en cualquier otro lugar en ningún momento. Las leyes no rigen la evolución del mundo en direcciones espaciales.

Utilizamos las leyes de la teoría gravitacional newtonana como un ejemplo y estas leyes son deterministas. Si algunas leyes son deterministas, entonces habida información completa sobre el estado del mundo en algún momento, esas leyes producen información completa sobre el estado del mundo en otros tiempos. No todas las leyes posibles, son deterministas; en algunas interpretaciones las leyes de la mecánica cuántica son indeterministas. Pero estas leyes, junto con información completa sobre el estado del mundo en alguna vez, asignan probabilidades a los posibles estados en otras ocasiones y, así, gobiernan al mundo en direcciones tempóricas. No hacen lo mismo para los puntos del espacio.

Usualmente pensamos que las leyes indeterministas, deben ser leyes probabilísticas y consideramos que las leyes probabilísticas asignan probabilidades a los posibles futuros estados del mundo, pero no a los posibles pasados estados del mundo. Creemos que estas leyes rigen la evolución del mundo hacia el futuro, pero no en el sentido opuesto —hacia el pasado.¹² Así que, mientras que ser una direc-

¹¹ Como hemos dicho, no todo espaciotiempo relativístico general, puede ser particionado en instantes. Pero las leyes de la relatividad general todavía gobiernan la evolución de los mundos con esos espaciotiempos, en direcciones tempóricas a un nivel local: algunas regiones tetradiimensionales de los espaciotiempos pueden ser particionadas en instantes y (si la región es de la forma apropiada) las leyes determinan lo que está sucediendo en todo momento, habida información sobre lo que está sucediendo en algún momento.

¹² Hablamos de leyes probabilísticas genéricas aquí, porque el caso de la Mecánica Cuántica es complicado. Incluso en interpretaciones de la Mecánica Cuántica que agregan un postulado del colapso, a la ecuación SCHRÖDINGER, las leyes rigen la evolución del mundo hacia el pasado en

Temporalidad y Espaciedad

ción en la cual las leyes rigen la evolución del mundo, es suficiente para ser una dirección tempórica, no es necesario; las opuestas de las direcciones tempóricas, también son direcciones tempóricas.

(Hay otro papel que juegan las direcciones tempóricas en algunas leyes familiares, que las direcciones espaciales, no: cantidades como masa, carga y energía se conservan en las direcciones tempóricas; mas, no en direcciones espaciales. Pero, cuando hay leyes de conservación como estas, generalmente se derivan de las leyes dinámicas (como, por ejemplo, la ley de conservación de carga se deduce de las ecuaciones MAXWELL —las leyes dinámicas para el electromagnetismo). Por lo tanto no necesitamos mencionar explícitamente a éste, como un segundo papel en las leyes, que distingue a las direcciones tempóricas de las espaciales.)

No es controversial que las direcciones tempóricas desempeñen estos roles en las leyes con las cuales estamos más familiarizados. Proponemos que tomemos estos roles como constitutivos: lo que debe ser una dirección tempórica, es jugar estos roles en las leyes. Para ser explícitos, la propuesta es esta:

LEYES: Una dirección (que es ya sea espacial o temporal, según la geometría) es tempórica si y sólo si ella (o su opuesta) es una dirección en la cual las leyes rigen la evolución del mundo.

Permítasenos hacer dos observaciones sobre esta propuesta.

En primer lugar, no estamos diciendo que es necesario que las leyes de la naturaleza rijan la evolución del mundo en alguna(s) dirección(es) en el espaciotiempo.¹³ Esto es, No estamos diciendo, que es necesario que exista algún papel tempórico en las leyes, que deba cumplirse. Tal vez haya posibles mundos con extrañas leyes de la naturaleza, en los que no exista tal papel. Pero, *firmemente*, declaramos que en esos mundos, ninguna dirección sería una dirección tempórica.

En segundo lugar, nuestra propuesta presupone que las leyes de la naturaleza son más fundamentales que la distinción entre las direcciones tempóricas y las espaciales. Supone, crudamente, que es posible establecer las leyes de la naturaleza sin utilizar las palabras 'tiempo' y 'espacio'. Pues, si con el fin de establecer las leyes de la naturaleza, tenemos que presuponer que tiempo y espacio ya han sido distinguidos, entonces se estaría yendo en un círculo para entonces apelar a las leyes para diferenciar al tiempo del espacio. Esto no es problema. Típicamente, estableceremos las leyes sin apelar a la distinción entre tiempo y espacio. En presentaciones

cierta medida. La ecuación SCHRÖDINGER es invariante con respecto a la reversión del tiempo, por lo que las leyes rigen la evolución del mundo hacia el pasado, antes del tiempo del más reciente colapso de la función de onda.

¹³ Estamos usando 'las leyes de la naturaleza' en un sentido no estricto.

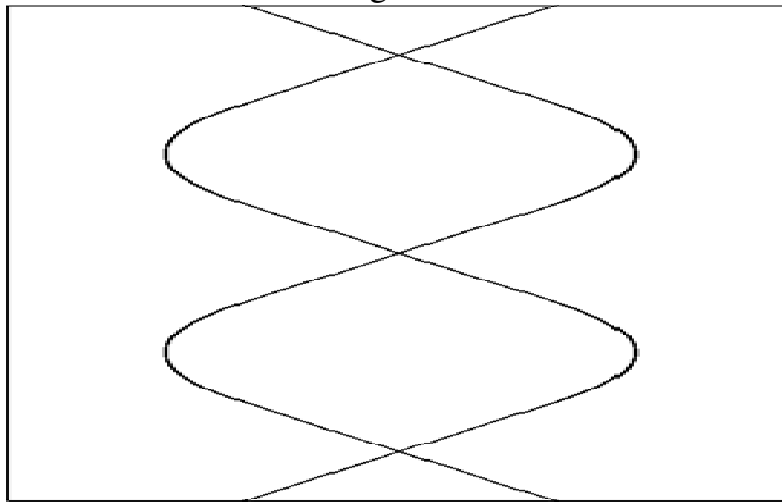
formales de, digamos, la teoría gravitacional newtonana, la distinción entre direcciones temporales y espaciales, siempre se hace en algunas observaciones informales, después de que el autor ha descrito la estructura geométrica del espaciotiempo y antes de que él escriba las ecuaciones de la teoría. Pero las ecuaciones se pueden entender perfectamente, quitando las observaciones informales.

O, para tomar un caso más concreto, consideremos a la primera ley NEWTON: un cuerpo no sometido a fuerza alguna, se mueve con velocidad constante. 'Velocidad' significa lo mismo que "cambio de ubicación espacial con respecto al cambio en la ubicación temporal." Podemos reescribir esta ley para eliminar la referencia al espacio y el tiempo. Esto lo podemos hacer mediante el uso de cuantificadores: en primer lugar, sustituir 'velocidad' por 'cambio de ubicación a lo largo de la dirección s , con respecto al cambio de ubicación a lo largo de la dirección t '; luego, prologamos a las leyes con la frase cuantificacional, 'hay dos direcciones (distintas), s y t , tales que s y t juegan tales y tales papeles geométricos, y...'

6 COMPROBACIÓN DE NUESTRAS INTUICIONES

Consideremos a un mundo particular, con un espaciotiempo bidimensional y comprobemos si concordamos en que las leyes distinguen espacio de tiempo, a pesar de que la geometría del espaciotiempo, no. Examinemos al diagrama espacioi-de-tempoideo en la figura 4.

Figura 4



Este diagrama muestra la distribución de materia en el espaciotiempo, en algún mundo posible. (Supongamos que ese espaciotiempo tiene la estructura newtonana familiar, de manera que hablar del espacio y del tiempo sentido).

Usualmente interpretamos al eje vertical de un diagrama de espaciotiempo, como eje del tiempo. Olvidemos, por ahora, a ese convenio y supongamos no saber cuál eje representa al tiempo. Afirmamos que si uno no conoce a las leyes, es inca-

Temporalidad y Espaciedad

paz de decir cuál eje es el tempoide. Y eso es evidencia de que las leyes hacen el trabajo para establecer un eje tempoide.

Sin duda, parece que hay mundos posibles, correctamente representados por este diagrama en el que el eje vertical representa el tiempo y, también, que hay mundos posibles, correctamente representados por este diagrama, en los que el eje horizontal representa al tiempo. Para hacer esto plausible, permítasenos describir a un mundo de cada clase. Llamemos al mundo en el que el eje vertical representa al tiempo 'el mundo vertical' y al otro, 'el mundo horizontal'. En primer lugar, una descripción del mundo vertical

VERTICAL: hay dos partículas que aceleran una hacia la otra, hasta que se encuentran en una colisión elástica y rebotan en la misma trayectoria en que había venido; luego se frenan vuelven a acelerar hacia una contra la otra, repitiendo este ciclo indefinidamente.

Y aquí está una descripción del mundo horizontal:

HORIZONTAL: durante mucho tiempo no pasa nada. Luego, se genera un número infinito de pares de partículas; un miembro de cada par, se mueve a la derecha, el otro a la izquierda. Cada partícula rebota contra una partícula de la otra dirección, luego es aniquilada en una colisión con la partícula con la que fue creada. Después no pasa nada en el resto del tiempo.

Por sí mismo, el diagrama no favorece a una de estas descripciones sobre la otra.

Las cosas son diferentes, creemos, cuando a uno le dicen qué leyes de la naturaleza, gobiernan al mundo que representa el diagrama.

Consideremos que las leyes son las tres leyes NEWTON de la mecánica y una versión ligeramente modificada de la ley NEWTON de gravitación universal.¹⁴

Por supuesto, las leyes NEWTON contienen términos como 'velocidad' y 'aceleración', que se definen en términos de espacio y tiempo. Supongamos que ellas son redefinidas en la forma mencionada al final de Sección 5; así, la velocidad termina siendo el cambio de posición en el eje horizontal con respecto al cambio de posición a lo largo del eje vertical.¹⁵ En estas leyes el eje vertical desempeña el pa-

¹⁴ Según la ley NEWTON de gravitación universal, la fuerza entre dos cuerpos es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellos. Cuando la distancia entre dos cuerpos se va a cero, la fuerza se hace infinitamente grande. Una manera natural de extender las leyes NEWTON, para hacer frente a este caso, es que las partículas reboten entre sí en una colisión perfectamente elástica.

¹⁵ Así, donde las leyes originales contenían '... velocidad...' las nuevas leyes dirán 'hay dos direcciones (distintas), s y t , tales que s y t juegan tales y tales papeles geométricos y...cambio de posición en la dirección s , con respecto al cambio de posición en la dirección t ...'

pel de tiempo, en la definición de 'velocidad' y también desempeña el papel descrito anteriormente: las leyes rigen la evolución del mundo a lo largo del eje vertical. Nos parece que cuando añadimos estas leyes a la descripción del mundo representado por el diagrama, conocemos lo suficiente como para saber que el eje vertical es el eje del tiempo y descartamos a *HORIZONTAL* como una descripción correcta de ese mundo.

Permítasenos abordar dos inquietudes que se podrían tener acerca de este ejemplo.

En primer lugar, uno podría preocuparse de que la estrategia de aquí —de sostener que el sólo conocimiento de cómo se distribuye la materia en el espacio-tiempo, sin conocer cuáles son las leyes, nos inhabilita para determinar cuál eje es el tiempo— es incoherente si una ampliamente empiricista teoría de las leyes de la naturaleza es válida. Según estas teorías, las leyes de la naturaleza sobrevienen de los hechos (categóricos, no tendenciosos) que ocurren. Puesto que los hechos que ocurren, seguramente incluyen hechos sobre la estructura del espacio-tiempo y la distribución de materia en él, un empiricista diría que, mediante la determinación de los hechos sobre la materia y el espacio-tiempo, queda determinado cuáles son las leyes y, por el mismo hecho, cuales direcciones son temporicas.

Esto podría ser así; no queremos tomar aquí, una posición sobre si es válida alguna teoría empiricista de las leyes. Pero, incluso, si alguna teoría empiricista es válida, es coherente pedir ignorar las leyes aunque se conozca de la distribución de materia en el espacio-tiempo, pues no siempre es obvio cuáles son las leyes en un mundo donde ocurre un conjunto determinado de hechos. Y el hecho de que no podemos decir cuál eje es el tiempo, cuando ignoramos las leyes, pero podemos cuando las conocemos, sigue siendo evidencia de que es el papel que desempeñan en las leyes, lo que hace temporicas a las direcciones temporicas.¹⁶ (En general, no hay

Teniendo en cuenta que los ejes horizontal y vertical desempeñan funciones geométricas simétricas, uno puede preguntarse por qué es la dirección en el eje horizontal, en lugar de la dirección a lo largo del eje vertical, la que desempeña el papel de tiempo en la definición de velocidad. Pero, no existe una respuesta a esta pregunta. La forma que se establecen las leyes garantiza que (en los mundos bidimensionales con espaciotiempos newtonanos) una clase de dirección desempeñará el papel de tiempo, en la definición de la velocidad y la otra no; pero, queda indeterminado cuál —hay otros mundos con la misma geometría de espacio-tiempo y las mismas leyes, en la que la otra desempeña ese papel.

¹⁶ Una teoría empiricista de las leyes, implica que, a lo sumo, una, entre *VERTICAL* y *HORIZONTAL*, describe a un mundo posible. Las descripciones no están de acuerdo sobre cuál eje es el tiempo y, por tanto, (en nuestra opinión) no están de acuerdo sobre las leyes; pero, están de acuerdo sobre los hechos que ocurren. Los empiricistas deberían considerar a las posibilidades que funcionan en nuestro argumento, como posibilidades epistémicas, en vez de metafísicas.

Temporalidad y Espaciedad

ninguna incoherencia en negar que la legislidad sea fundamental, mientras que se use a la legislidad para analizar a otros conceptos no fundamentales).

En segundo lugar, uno podría tener ciertas inquietudes acerca de las descripciones en *VERTICAL* y *HORIZONTAL*. Esas descripciones parecen contener más información sobre la distribución de materia en el espaciotiempo, que la que aporta el diagrama espacioide-tempoide solo, por sí mismo. Y los puntos en los que las descripciones van más allá de la información contenida en el diagrama, son puntos en los que discrepan las descripciones. El diagrama espacioide-tempoide nos dice sólo que puntos del espaciotiempo están ocupados por objetos materiales. Las descripciones contienen además, información acerca de *cuántos* objetos materiales existen y *cuales* puntos ocupa cada objeto. En *VERTICAL* decimos que hay dos partículas, mientras que en *HORIZONTAL*, decimos que hay una cantidad infinita. Ahora, digamos que saber sólo, cómo está distribuida la materia en espaciotiempo, no es suficiente para permitirnos saber cuál eje corresponde al tiempo. Se podría reclamar que al presentar el diagrama espacioide-tempoide, no hemos dado información completa acerca de cómo está distribuida la materia en el espaciotiempo. Que la información completa requiere el tipo de información contenida en *VERTICAL* y *HORIZONTAL*. Que si hemos dicho que hay sólo dos partículas y cada una ocupa los puntos en sólo una de las líneas curvas, entonces quizás habría parecería evidente que el eje vertical es el tempoide.

Para disipar esta inquietud, permítasenos hacer algunas otras estipulaciones sobre el (los) mundo(s) representado(s) por el diagrama. Agregaremos información de modo que *VERTICAL* y *HORIZONTAL* no contengan información adicional.

Supongamos que en los mundos representados por el diagrama, hay innumerables objetos materiales, que algunos de ellos son mereologicamente simples (sin partes propias), y que cada objeto simple ocupa exactamente uno de los puntos del espaciotiempo ocupado. Supongamos también que para cada colección de objetos simples, existe un objeto mereologicamente complejo, que ellos componen. (Coloquialmente, entonces, estamos diciendo que (algo como) tetra-dimensionalismo y la doctrina de la composición mereológica irrestricta son válidos en estos mundos). *VERTICAL* y *HORIZONTAL* parecen discrepar sobre cuántas cosas hay y qué regiones ocupan esas cosas; pero, eso es porque las descripciones no son completas. No dicen las historias de las trayectorias espacio-tempóricas de cada objeto material. En su lugar solo cuentan las historias de algunas cuantas notabilidades. Cuando nos movemos de *VERTICAL* a *HORIZONTAL*, cambiamos cuál eje consideramos como el eje del tiempo; hacer esto trae consigo un cambio acerca de cuáles objetos materiales son notabilidades.

Hasta ahora hemos presentado y dado apoyo intuitivo a nuestra propuesta. Ahora vamos a comentar algunas objeciones a la misma.

7 LEYES SIMÉTRICAS E INDETERMINACIÓN

La afirmación de que la geometría distingue a las direcciones tempóricas de las direcciones espaciales, funcionó en problemas con espaciotiempos en los cuales las direcciones tempóricas y espaciales juegan papeles simétricos. Dijimos que todavía hay una diferencia entre las direcciones tempóricas y espaciales en algunos de esos mundos, y que son sus diferentes roles en las leyes lo que las distingue. Pero ¿qué hay de mundos en los que las direcciones tempóricas y espaciales juegan un papel simétrico en la geometría y en las leyes? No hay ninguna razón para negar que tales leyes sean posibles; hay incluso ejemplos de esas leyes. La ecuación ondal para una onda unidimensional, por ejemplo, es

$$\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2}$$

(ϕ es una función sobre el espaciotiempo; dice, intuitivamente hablando, 'lo alto' que es la onda en cada punto del espaciotiempo.) v es la velocidad de la onda y podemos elegir unidades de modo que valga 1. En ese caso, la ecuación se convierte en

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2}$$

Es claro que en esta ley tiempo y espacio juegan papeles simétricos: intercambiar a t y x deja igual a la ecuación. Por otra parte, los papeles que tiempo y espacio juegan en estas leyes, satisfacen la descripción que dimos antes: estas leyes rigen a la evolución de la onda tanto en el eje de tiempo como en el eje del espacio.

LEYES implica que todas las direcciones en este mundo son tempóricas y eso no está bien. Hay tres maneras de responder a este problema. En primer lugar, podríamos concluir que no tenemos todavía, una explicación completa de lo que hace diferente al tiempo del espacio y podríamos buscar alguna otra característica del mundo que haga el trabajo de distinguir a las direcciones espaciales de las tempóricas. En segundo lugar, podríamos concluir que es sólo un hecho en bruto el que las direcciones tempóricas en este mundo, sean tempóricas, que no hay nada informativo que decir sobre lo que las hace tempóricas. O, en tercer lugar, (haciendo el cambio paralelo desde *DIMENSIÓN* a *DIMENSIÓN**) podríamos concluir que si la geometría y las leyes no bastan para individualizar a un tipo de vectores, como vectores tempóricos, entonces es indeterminado qué direcciones son tempóricas.

Deberíamos elegir la tercera alternativa. No parece que podría ser sólo un hecho en bruto el de qué direcciones son tempóricas (decimos más acerca del enfoque del hecho en bruto, en Sección 9.3). Y en estos mundos altamente simétricos,

Temporalidad y Espaciedad

es difícil ver qué más, aparte de la geometría y las leyes, podría distinguir a las direcciones temporales de las espaciales. En los mundos regidos por la ecuación ondulada parece igual, no importa qué eje consideremos como el eje del tiempo.

Para hacer frente a estos mundos simétricos, entonces, modifiquemos a *LEYES* como sigue:

LEYES *: Si una dirección es temporal entonces las leyes rigen la evolución del mundo a lo largo de ella (o su opuesta); todos los vectores que apuntan en direcciones temporales son de la misma clase y, en la medida en que estas condiciones no permiten determinar qué vectores temporales, en esa misma medida queda indeterminado que vectores son temporales.

LEYES y *LEYES** concuerdan en todos los mundos, excepto mundos como el regido por la ecuación ondulada unidimensional. En esos mundos, *LEYES** implica que está indeterminado que tipo de vector es temporal.

¿Qué hay de malo en admitir que, a veces, queda indeterminado qué direcciones son temporales? Sin duda, en *nuestro* mundo está perfectamente determinado qué direcciones son temporales. Hemos dicho que existen algunos mundos bidimensionales —complicados, con variadas posibilidades— en los que está perfectamente determinado qué direcciones son temporales. Pero, no creemos que esto debe estar perfectamente determinado en cada mundo de dos dimensiones; por lo que no vemos problemático, aceptar que esté indeterminado qué direcciones son temporales en mundos en los que tiempo y espacio juegan papeles simétricos tanto con respecto a las leyes y como con respecto a la geometría del espaciotiempo.

8 LEYES QUE RIGEN EN UNA DIRECCIÓN ESPACIAL

Ahora pasamos a una segunda objeción. Nuestro punto de vista implica que no es posible que existan leyes que rijan a la evolución del mundo en una dirección espacial. Pero (ahí va la objeción), seguramente esto es posible. Seguramente podemos producir ejemplos de mundos posibles, con esta característica.

Todavía tenemos que escuchar un ejemplo convincente. Vamos a comentar cuatro ejemplos para dar una idea de cómo responder a los ejemplos de este tipo.¹⁷

Ejemplo 1: En este mundo, según una ley, a la izquierda de cada manzana hay una naranja y a la izquierda de cada naranja, hay una manzana. (Supongamos que hemos fijado, de una vez por todas, qué dirección en el espacio, es a la izquierda.) Esta ley rige en una dirección espa-

¹⁷ Agradecemos a JAMES VAN CLEVE, ERIC LORMAND, PHILLIP BRICKER, JOSHUA SCHECHTER y JONATHAN SCHAFFER, por ayudarnos a ver la necesidad de discutir ejemplos de este tipo, así como por los ejemplos mismos.

cial: si sabemos que aquí hay una manzana, tenemos información sobre lo que ocurre a la izquierda.

Ejemplo 2: En este mundo, hay un plano especial, que divide al espacio por la mitad. Según una ley, el contenido del espacio en un lado del plano, está perfectamente reflejado en el otro lado. Esta ley rige en una dirección espacial: si sabemos que hay una esfera roja en un cierto lugar, en un lado del plano, obtenemos información sobre lo que ocurre en el mismo momento, en el lugar correspondiente, del otro lado del plano.

Somos suficientemente metafísicistas como para tomar a ejemplos como estos, un poco en serio. Tenemos tres réplicas (independientes) a ellos. En primer lugar, no creemos que las leyes en estos ejemplos, sean suficientemente eficientes como para gobernar la evolución del mundo en una dirección espacial. Dada información completa sobre lo que ocurre en un lugar cada momento, no dan información completa sobre lo que ocurre en cada lugar en alguna dirección espacial, en cada momento. (La ley en Ejemplo 1 sólo da información *parcial* (sólo información acerca de la presencia de manzanas o naranjas) sobre lo que va a la izquierda. La ley en Ejemplo 2 da información completa, pero sólo acerca de otro único lugar para cada momento: el lugar que es reflejo en el espejo, del lugar inicial.) Así que no determinan una dirección espacial, del modo que leyes como las de la mecánica newtoniana, determinan una dirección tempórica.

En segundo lugar, incluso si hubiera un mundo en el que es válido que a la izquierda de cada manzana hay una naranja (y así sucesivamente) y un mundo con simetría especular, no sé por qué debo creer que sería una *ley* que a la izquierda de cada manzana hay una naranja, ni que aquel mundo exhibe simetría especular. (Sin duda, la ley acerca de las manzanas no podría ser una ley fundamental). Porque nos resulta difícil tener intuiciones sobre lo que son las leyes de algún mundo, dadas las descripciones de las ocurrencias en esos mundos.

Por supuesto, algunos filósofos pueden argumentar que si hay un mundo en el que a la izquierda de cada manzana hay una naranja (y así sucesivamente) y el mundo es bastante simple de otra manera, entonces es una ley que a la izquierda de cada manzana hay una naranja. Son filósofos que aceptan una teoría empiricista de las leyes. Según la teoría empiricista más sofisticada —la teoría del mejor sistema de leyes— las declaraciones válidas son leyes que son teoremas del sistema deductivo que mejor equilibra sencillez y fuerza [5]. Si el mundo de manzanas es bastante simple de otra manera, entonces la afirmación de que a la izquierda de cada manzana hay una naranja podría hacerse en el mejor sistema y, así, podría ser una ley.

No aceptamos la teoría del mejor sistema de leyes. Así el conflicto entre nuestra segunda replica a los ejemplos 1 y 2 y la teoría del mejor sistema no es un

Temporalidad y Espaciedad

problema para nosotros.¹⁸ Pero, queremos hacer hincapié en que los filósofos que aceptan la teoría del mejor sistema todavía pueden aceptar nuestra relación de lo que hace diferente al tiempo, del espacio. Como hemos mencionado anteriormente, nuestros otros argumentos son neutros sobre si alguna teoría empiricista de las leyes, es válida. Los empiricistas no usan nuestra segunda réplica a los ejemplos 1 y 2. Nuestras otras respuestas están a disposición de ellos.

Tenemos una tercera réplica a ejemplos como 1 y 2. Es parte de la descripción de los mundos posibles en estos ejemplos, que ciertas direcciones sean espaciales y algunas otras, tempóricas. Pero ¿no solicita esto la pregunta de por qué debemos aceptar que las direcciones llamadas 'espaciales' en la descripción, sean realmente, espaciales?

Uno podría negarse a responder a esta pregunta. Pero entonces, no se explica por qué debemos tomar en serio la afirmación de que existen mundos posibles como los descritos en los ejemplos. O, uno podría responder a esta pregunta proponiendo una teoría alternativa de lo que hace diferente al tiempo del espacio. En la siguiente sección, criticaremos a algunas de tales teorías. O, uno podría decir: podemos imaginar a los mundos descritos y es parte del contenido de nuestro imaginario, el que las direcciones llamadas 'espaciales' sean espaciales. Y, puesto que la imaginación es una guía para la posibilidad, eso nos da razón para creer que esos mundos son posibles.

¿Cómo funciona este acto de imaginación? Tal vez, así: nos imaginamos viendo la historia del mundo en cuestión, en desarrollo, como si estuviéramos viendo una película. Podemos decir qué direcciones son tempóricas y cuáles espaciales, cuando vemos una película (sin necesidad de ninguna teoría de la diferencia, que nos ayude); de la misma manera, podemos decir qué direcciones son tempóricas y cuáles espaciales, en estos mundos.

Imaginar ver a la historia del desarrollo del mundo como quien ve a una película, sería una forma legítima para aprender qué direcciones en ese mundo son tempóricas, sólo si ésas fueran las experiencias que tendría un observador que *existiera en ese mundo*. Pero las leyes que se nos dan en ejemplo 1 y ejemplo 2, no son lo suficientemente ricas como para permitir la existencia de observadores conscientes. Así que no podemos usar este procedimiento para defender la afirmación de

¹⁸ No solo rechazamos a la teoría porque entra en conflicto con nuestra teoría de la diferencia entre espacio y tiempo. Nuestra principal razón para rechazarla, es que no respeta nuestras intuiciones modales sobre legislación. Brevemente, el empiricismo sobre las leyes (y la teoría del mejor sistema, en particular) implica que no puede haber mundos que difieran simplemente en qué leyes los gobiernan. Pero aceptamos los contraejemplos opositores que la teoría del mejor sistema ofrece a esta afirmación (por ejemplo, en [1]).

que las direcciones en que estas leyes rigen (supuestamente) la evolución del mundo son direcciones espaciales.

Los siguientes dos ejemplos contienen ejemplos más efectivos, de las leyes.

Ejemplo 3: En este mundo, las leyes son las de la mecánica newtoniana y la ley NEWTON de gravitación universal. Esta ley rige en una dirección espacial: si sabemos que aquí y ahora, hay una partícula de cierta masa, sabemos algo sobre el valor que tiene ahora, el campo gravitacional, en cualquier otro punto.

Este ejemplo no es convincente. En primer lugar, no está claro que, en una correcta interpretación, la teoría gravitacional newtoniana diga que realmente existe tal cosa como el campo gravitacional. E incluso si lo hace, que aquí, ahora, hay una partícula de una cierta masa, junto con las leyes, no involucra información completa sobre lo que está sucediendo en *algún* otro lugar, mucho menos en *cualquier* otro lugar. (Información completa sobre lo que está sucediendo en algún otro lugar, nos diría si hay partículas allí; no sólo cuál es el valor del campo gravitatorio, allí.) Que haya aquí, una partícula de cierta masa incluso, no comprende cuál es el valor del campo gravitatorio en cada uno de los otros puntos. Para saber eso habría que saber cuántas partículas hay en total y cuáles son sus masas y posiciones ahora. Si sabemos algo acerca de lo que está sucediendo en otros lugares, es sólo cómo contribuye la partícula de aquí, al valor del campo gravitatorio en otros lugares; pero esto es consistente con que el valor efectivo del campo es completamente nulo. Así que estas leyes no rigen en una dirección espacial.

Ejemplo 4: Este mundo, está regido por las leyes de la mecánica cuántica.

En un experimento de tipo EPR, existen dos partículas separadas por cierta distancia y si medimos el espín de una de ellas en alguna dirección, sabemos con certeza el resultado de una medición del espín de la otra partícula en esa misma dirección, aunque los eventos de medición estén espacialmente separados. Así que estas leyes rigen la evolución del mundo en una dirección espacial.

Este ejemplo no es convincente. Pues, para que las leyes rijan la evolución del mundo, en una dirección espacial, al menos debe suceder que dada información completa sobre lo que está sucediendo aquí, las leyes den información completa sobre (o asignen probabilidades a una descripción completa de) lo que está sucediendo en otros lugares que estén espacialmente separados de aquí. Pero si todo lo que sabemos es que (después de la medición) cierta partícula, justamente aquí, tiene espín arriba, en alguna dirección, las leyes no nos dicen nada sobre lo que está sucediendo en cualesquiera otros lugares. Sólo nos dan información si también sabemos que hay otra partícula en algún otro lugar y que el 'sistema' que comprende a

las dos partículas, está en un estado enmarañado. Pero esta información no es, justamente, información sobre lo que está sucediendo justo aquí.

9 CONSIDERACIONES ALTERNATIVAS

Finalmente, revisaremos algunas consideraciones alternativas sobre lo que hace al tiempo diferente del espacio y diremos por qué rechazarlas. Nuestro objetivo no es dar formulaciones y refutaciones detalladas estas teorías; sólo pretendemos sugerir por qué creemos que van en la dirección equivocada desde el principio.

9.1 La Teoría Causal del Tiempo

Según esta visión, una dirección es tempórica sólo en caso de que sea una posible dirección de causalidad. Esta teoría parece inspirada por una cierta manera de pensar acerca del espaciotiempo minkowskiano. Hay una axiomatización sintética de la geometría de este espaciotiempo utilizando sólo un predicado de dos argumentos que puede asumirse como ' x y z son causalmente conectables'. Tal vez esta axiomatización es metafísicamente acertada: las relaciones espacio-tempóricas en el espaciotiempo minkowskiano y los hechos acerca de qué eventos ocurren antes que cuáles otros eventos, se derivan de una relación más fundamental de conectabilidad causal.¹⁹

Rechazamos a esta teoría, por dos motivos. El primero y menos importante, es que excluye la posibilidad de la causalidad instantánea. Parece que la mecánica newtoniana implica causalidad instantánea, según esa teoría, la presencia del sol a una cierta distancia de la tierra, instantáneamente causa que la tierra experimente una cierta fuerza —y aceptamos que los mundos newtonianos son metafísicamente posibles. Pero, damos más importancia al segundo motivo. No creemos que los hechos acerca de causalidad, sean más fundamentales que la diferencia entre espacio y tiempo. Pero deberían de serlo, para que esta teoría sea correcta.

(Nuestra teoría consiste en que las leyes son más fundamentales que la diferencia entre espacio y tiempo. Alguien podría preguntarse por qué estamos cómodos con esto e incómodos con la teoría causal del tiempo. No daremos una respuesta detallada a esta pregunta; Sólo señalaremos que algunos filósofos contemporáneos comparten la sensación de que la causalidad es menos fundamental que la legislad²⁰).

¹⁹ Ver [11].

²⁰ David Lewis [4] es un ejemplo: analiza la causalidad en términos de contrafactuals y sus condiciones de validez para contrafactuals, apelan a las leyes. Pero, incluso los filósofos que rechazan al análisis contrafactual de la causalidad, como Maudlin [7], creen que las leyes son más fundamentales que la relación de causalidad.

9.2 Tridimensionalismo

Tridimensionalismo es la consideración de que los objetos materiales persisten en el tiempo sin tener partes tempóricas. Puesto que es comúnmente admitido que los objetos materiales se extienden en el espacio por tener partes espaciales, existe una asimetría entre espacio y tiempo. Uno podría tratar de distinguir al espacio del tiempo usando esa asimetría: el tiempo es esa dimensión en la que los objetos materiales se extienden independientemente de sus partes espaciales.

El tridimensionalismo es controversial; así que, puesto que no somos tridimensionalistas no estamos tentados por esta propuesta. Pero, es que no creemos que debiera de haber tridimensionalistas. Un argumento estándar contra el tridimensionalismo es el argumento de la temporalidad intrínseca: Si algo es esférico en algún momento, entonces debe tener una parte temporal que es esférica *simpliciter*, so pena de hacer de la esfericidad una relación ocasional y no una propiedad intrínseca.²¹ Los tridimensionalistas creen que pueden resistir este argumento. Pero, si pudieran, entonces, también pueden resistir el argumento paralelo de que los objetos materiales que se extienden espacialmente, deben tener partes espaciales, el argumento de la localidad intrínseca: Si algo es rojo en un lugar y verde en otro, entonces debe tener una parte espacial que es roja *simpliciter*, so pena de hacer de la rojez una relación local. (Si se niega que la rojez y el verdor sean propiedades intrínsecas se pueden elegir otros ejemplos). Así que los tridimensionalistas deberían admitir la posibilidad de objetos materiales que se extienden espacialmente, sin tener partes espaciales. Pero una vez que se concede esa posibilidad, ya no hay una asimetría entre la forma en que los objetos materiales están (o pueden ser) extendidos en el espacio y la forma en que están (o pueden ser) extendidos en el tiempo.

9.3 El enfoque del Hecho en Bruto

Según el enfoque del hecho en bruto, no hay necesidad de apelar a la geometría o a las leyes para distinguir a las direcciones espaciales de las tempóricas. En cambio, no hay manera distinguir a las direcciones en el espaciotiempo, de las direcciones tempóricas, en otros términos. No existe una respuesta informativa, a la pregunta, '¿Qué hace tempóricas a las direcciones tempóricas?'

Una forma de poner este punto de vista, es decir que hay una propiedad fundamental de las direcciones, la propiedad de ser una dirección tempórica. Esta característica, fundamental, no se analiza.

Pero, podría parecer extraño creer que cosas como las direcciones podrían tener propiedades fundamentales. Si limitamos nuestra atención a espaciotiempos newtonianos, podríamos evitar esta excentricidad, evitando hablar de direcciones.

²¹ Este argumento, ampliamente discutido, se presenta, entre otros, en [5] y [10].

Temporalidad y Espaciedad

Entonces el punto de vista del hecho en bruto se vería así: algunas regiones de este espaciotiempo son tempoideas y otras no. Las tempoideas tienen alguna propiedad intrínseca fundamental que las otras no: la propiedad de ser tempoideas. Fin de la teoría. Esta teoría no es plausible. Desde luego, las regiones que tuvieran esta propiedad especial, también deberían desempeñar un papel apropiado en la geometría. (Suponiendo que caracterizáramos al espaciotiempo newtoniano utilizando dos funciones de distancia, el papel sería como sigue: cada región contiene todos y sólo los puntos que están a distancia cero desde algún punto de esa región, según una de esas funciones de distancia.) Pero, ¿por qué existe esta conexión necesaria entre esta propiedad especial y un cierto papel geométrico? El enfoque del hecho en bruto no da ninguna respuesta. Nuestro punto de vista lo hace mejor: puesto que no postula la característica especial, no tiene ninguna conexión necesaria que explicar.

Pero tal vez eso es sólo una caricatura del enfoque del hecho en bruto. He aquí un enfoque estrechamente relacionado que se podría asumir. No postular una especial propiedad fundamental, no geométrica, de ser tempoidea. En cambio, escoger a una de las relaciones geométricas que da al espaciotiempo su estructura y hacerla especial. Cumpliendo con nuestro objetivo sobre el espaciotiempo newtoniano, una manera de poner el asunto es como sigue: este espaciotiempo se estructura, supongamos, por dos funciones de distancia. Una de ellas es la función de distancia *tempórica* y la otra es la función de distancia *espacial*.²² Las tempoideas son las regiones que contienen todos y sólo los puntos que están a distancia cero desde cualquier punto de ellas, según la función de distancia tempórica. ¿Qué hace a una función la función de distancia tempórica, en lugar de la función de distancia espacial? No existe una respuesta. Es simplemente un hecho en bruto.

Tomamos más en serio a este punto de vista, como un competidor del nuestro, que los otros que hemos considerado. Pero creemos que se equivoca. Una vez más, la razón apela al espaciotiempo newtoniano bidimensional.

Tomemos a un mundo w con espaciotiempo newtoniano de dos dimensiones y 'rotemos' a toda la materia en ese mundo, '90 grados'²³ para producir un nuevo mundo w^* . Podemos describir a este mundo un poco más detalladamente, pero no quiero procurar alguna pregunta por llamar a ciertas regiones del espaciotiempo en w^* 'momentos' o 'puntos del espacio'. Así que tendremos que escoger regiones del

²² Hay formas análogas para formular la visión sobre otras consideraciones de las relaciones espacio-tempóricas fundamentales, que caracterizan al espaciotiempo newtoniano.

²³ Por supuesto, esto realmente, no tiene sentido en la geometría del espaciotiempo newtoniano. A lo que nos referimos es: considerar a este mundo representado en sobre plano euclideo bidimensional, como una hoja de papel; rotar todo 90 grados sobre este plano euclideo; ahora consideremos al mundo al que este nuevo diagrama representa.

espaciotiempo en w^* , usando características que esas regiones tienen en w . La descripción 'regiones del espaciotiempo que son puntos del espacio en w ' determina a un conjunto definido de regiones del espaciotiempo en w^* , dejando abierta la cuestión de si esas regiones son también puntos del espacio en w^* . Más detalladamente, w^* luce como algo así: eventos que son simultáneos en w se producen (en w^*) en regiones que se encuentran (en w) en momentos diferentes pero que están en el mismo lugar. Las leyes de w^* también se obtienen de las leyes de w por 'rotación': las leyes de w^* , tratan a regiones que son puntos del espacio en w , como las leyes de w tratan a las regiones que son instantes de tiempo en w .

Creemos que w^* es cualitativamente indiscernible de w . Pero el punto de vista del hecho en bruto no puede decir esto. Según la visión del hecho en bruto, el espaciotiempo newtoniano de dos dimensiones no es simétrico de esta manera. Por lo que la visión del hecho en bruto implica que o bien no se pueden realizar las operaciones de 'rotación' (es decir, no existe tal mundo 'rotado') o, que si se puede, resulta un mundo que es muy muy diferente, cualitativamente, de w . Por lo que rechazamos este punto de vista.

Ambas versiones del enfoque del hecho en bruto, son similares a la visión de que lo que hace el futuro diferente del pasado, es que la dirección hacia el futuro en el tiempo, tiene alguna propiedad intrínseca especial de la que carece la dirección hacia el pasado. Rechazamos a la visión del hecho en bruto por el mismo motivo que muchos rechazan este punto de vista sobre la diferencia entre el pasado y el futuro. En este último caso, parece que un mundo en el que la distribución de la materia fuera 'especularmente invertida' en un momento dado (las leyes, siendo invariantes a contratiempo (podemos suponer), serían las mismas) no sería un mundo en el que todo iría 'yendo hacia atrás', sino un mundo en el que la dirección que es efectivamente, la dirección hacia el futuro, es la dirección hacia el pasado. Algunos de los que sostienen este punto de vista, identifican a la dirección hacia el futuro con la dirección en la que aumenta la entropía; por lo que no es intrínseco a la dirección hacia el futuro, que sea la dirección hacia el futuro. Aceptamos esta visión sobre la diferencia entre el futuro y el pasado.²⁴ Y nuestra opinión sobre la diferencia entre espacio y tiempo es análoga.²⁵

²⁴ MAUDLIN [6] y EARMAN [2] defienden la visión del hecho en bruto sobre la diferencia entre el futuro y el pasado. PRICE [8] es un filósofo que la rechaza. REICHENBACH [9] identifica al futuro con la dirección del aumento de entropía.

²⁵ Gracias a GORDON BELOT, CIAN DORR, HARTRY FIELD, PETE GRAHAM y audiencias en la 2004 APA Eastern division meeting y la Australian National University. también damos las gracias a TIM MAUDLIN, comentarista de APA.

Temporalidad y Espaciedad

Referencias

- [1] CARROLL, JOHN W. (1994). *Laws of Nature*. New York: Cambridge University Press.
- [2] EARMAN, JOHN (1974). 'An Attempt to Add a Little Direction to 'The Problem of the Direction of Time'.' *Philosophy of Science* 41(1): 15-47.
- [3] — (1986). *A Primer on Determinism*. Boston: D. Reidel Publishing Company.
- [4] LEWIS, DAVID (1986a). 'Causation.' In *Philosophical Papers*, volume 2, 159-171. New York: Oxford University Press.
- [5] — (1986b). *On The Plurality of Worlds*. New York: Blackwell.
- [6] MAUDLIN, TIM (2002). 'Remarks on the Passing of Time.' *Proceedings of the Aristotelian Society* 102: 259-274.
- [7] — (2004). 'Causation, Counterfactuals, and the Third Factor.' In John Collins, Ned Hall and L. A. Paul (eds.), *Causation and Counterfactuals*, chapter 18, 419-444. Cambridge, MA: MIT Press.
- [8] PRICE, HUW (1996). *Time's Arrow and Archimedes' Point*. New York: Oxford University Press.
- [9] REICHENBACH, HANS (1956). *The Direction of Time*. Los Angeles: University of California Press.
- [10] SIDER, THEODORE (2001). *Four-Dimensionalism*. New York: Oxford University Press.
- [11] SKLAR, LAWRENCE (1974). *Space, Time, and Spacetime*. Berkeley: University of California Press.
- [12] WILLIAMS, DONALD C. (1951). The Myth of Passage. *The Journal of Philosophy* 48(15): 457-472.
- [13] SKOW, BRADFORD. (2007). What makes time different from space? *Nous* 41: 227-252.