



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FILOSÓFICAS

PERSISTENCIA, ESPACIO-TIEMPO Y RELATIVIDAD

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

PRESENTA:

MOISÉS MACÍAS BUSTOS

ASESORES:

DR. ALESSANDRO TORZA
DR. ELÍAS OKÓN GURVICH
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FILOSÓFICAS

MAYO, 2017.

CD.MX.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

To Far Away Times

CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	7
INTRODUCCIÓN	9
1. Objetivos	9
2. El Cohete de Teseo: Un Diálogo Filosófico	10
Capítulo I	13
Presupuestos: Filosofía de la Ciencia y Metafísica	13
1. Realismo Científico y Anti-realismo Científico	13
2. Realismo Estructural	13
3. Fundamentación e Ideología	14
4. Filosofía del Tiempo	14
4.1 Presentismo vs. Eternalismo	14
4.2 El Problema de la Persistencia	16
4.3 La Teoría de Contrapartes	19
4.4 Tres Argumentos Clásicos en Favor de los modelos 4D	20
4.4.1 El Argumento de la Vaguedad	20
4.4.2 Los Argumentos por Analogía Entre el Espacio y el Tiempo (Sider, 2001)	21
4.4.3 El Argumento del Espacio-Tiempo (Sider, 2001)	21
5. Ideología Formal Presupuesta	21
Capítulo II	23
Espacio-Tiempo y Física	23
1. Preliminares Matemáticos	23
1.1 Teoría de Conjuntos	23
1.2 Estructuras Abstractas y Estructuras Concretas	24
1.2 Ecuaciones de Movimiento	25
1.3 Sustantivismo vs. Relacionismo	27
2. Espacios Newtonianos	28
2. Espacios Galileanos	30
3. Espacios Minkowski	32
Capítulo III	37
Mereología, Ubicación y Persistencia	37
1. Mereología	37
1.1 Axiomas de Mereología Clásica (Varzi, 2016)	37

2. Ubicación	40
3. En Defensa de MH	42
3.1 El Argumento Modal en Contra de MH	42
3.2 El Argumento de Simples Extendidos en Contra de MH	44
3.2.1 El Argumento Desde la Teoría de Cuerdas a los Simples Extendidos	44
Capítulo IV	48
Persistencia y Espacio-Tiempo	48
1. Sider Sobre Persistencia y Relatividad	48
2. Gilmore Sobre Ubicación Espacio-Temporal	49
3. Balashov Sobre Persistencia y Espacio-Tiempo	52
3.1. Balashov Sobre Persistencia y Ubicación en Espacio-Tiempos Genéricos	52
3.2 Balashov Sobre Persistencia y Ubicación en Espacio-Tiempos Galileanos	55
3.3 Balashov Sobre Persistencia y Ubicación en Espacio-Tiempos Minkowski	56
3.4 Objeciones a los Principios Metodológicos de Balashov	58
4. Endurantismo y Perdurantismo Relativistas	59
4.1 ¿Son el Exdurantismo y el Perdurantismo Ontológicamente Equivalentes?	60
Capítulo V	62
Unitismo, Supersustantivismo y Persistencia	62
1. Unitismo vs Separatismo	62
2. Supersustantivismo	63
3. Algunas Lecciones de la Meta-metafísica de la Física	67
4. Del Unitismo, al Supersustantivismo a la Persistencia 4D via (DN)	70
4.1 En Contra del Separatismo	71
4.2 Del Unitismo al 4D	71
4.3 Persistencia (4D) sin Partes Fundamentales	72
4.4 Del Unitismo al Supersustantivismo	73
4.5 Del Supersustantivismo a 4D	76
5. Un Estudio de Caso: El Argumento Explicativo de Balashov	78
CONCLUSIÓN	80
BIBLIOGRAFÍA	82

“Physics, as well as pure mathematics, has supplied material for the philosophy of logical analysis. This has occurred especially through the theory of relativity and quantum mechanics. What is important to the philosopher in the theory of relativity is the substitution of space-time for space and time. Common sense thinks of the physical world as composed of “things” which persist through a certain period of time and move in space. Philosophy of physics developed the notion of “thing” into that of “material substance”, and thought of material substance as consisting of particles each very small and each persisting throughout all time. Einstein substituted events for particles; each event had to each other a relation called “interval” , which could be analysed in various ways into a time element and a space element. The choice between these various ways was arbitrary and no one of them was theoretically preferable to any other. From all this it seems to follow that events, not particles, must be the stuff of physics. What has been thought of as a particle will have to be thought of as a series of events.”

- **Bertrand Russell, A History of Western Philosophy, The Philosophy of Logical Analysis**

AGRADECIMIENTOS

Es importante enfatizar que esta investigación no habría podido realizarse sin el apoyo financiero del CONACYT. También quiero agradecer a los siguientes proyectos (PAPIIT, IA 400114) “Gravedad cuántica y el problema de la medición”, (PAPIIT, IA401015) “Tras las consecuencias: Una visión universalista de la lógica (I)” otorgados por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Quiero comenzar por agradecer a mis tutores el Dr. Alessandro Torza y el Dr. Elias Okon. Toda mi vida adulta desee tener la oportunidad de hacer investigación filosófica en la intersección de la metafísica, la lógica matemática y la física. Dadas esas circunstancias no pude haber encontrado una mejor combinación de tutores para dirigir una investigación de esa índole.

También quiero agradecerles por las lecciones aprendidas en reuniones, seminarios, clases, discusiones y eventos académicos. Los seminarios y talleres de metafísica y filosofía de la física que ellos dirigen han sido instrumentales en mi capacidad para profundizar en mi entendimiento de los temas aquí abordados. Alessandro y Elías tienen siempre la mayor disposición para discutir un punto, aclarar una duda, hacer una sugerencia o rectificar un error. El deseo de que Alessandro y Elías me consideren un interlocutor filosófico valioso es una motivación importante que me lleva sistemáticamente a profundizar más en mis investigaciones. En tercer lugar, quiero agradecerles por su apoyo moral y su paciencia. Imagino que puede ser complicado dirigir a alguien tan desorganizado como yo, por lo que la confianza que tienen en que haré mi parte es aún más inesperada y bienvenida.

Quiero agradecer especialmente a María del Rosario Martínez por su cariño, apoyo, paciencia y sentido del humor. Probablemente es la única persona que he visto con regularidad en los últimos meses que he dedicado a finalizar esta investigación, sin embargo gracias a ella la he pasado excelentemente. No hay día en donde la compañía de María no sea una de mis mayores alegrías.

Quiero agradecer también a mi familia, a quienes no he visitado en algunos meses al menos, por no desconocerme como uno de los suyos. A mi madre Libertad Bustos, a mi hermano Leonardo Macías así como a Luis Delgado, Nidia Bustos y Nidia Gabriela Gutiérrez Bustos.

También quiero darle las gracias a mis lectores y amigos el Dr. Cristian Gutiérrez, el Dr. Luis Estrada y el Dr. Ricardo Mena por su retroalimentación así como por la interacción filosófica de primer nivel a lo largo de muchos años. Es bastante probable que ellos tres sean las personas con quienes más he discutido filosofía a lo largo de los años. Esas interacciones intelectuales, que atesoró enormemente, han contribuido enormemente a mi formación como filósofo y espero que así siga siendo.

Otras personas con quienes discutí algunos de los problemas filosóficos más importantes en esta investigación y cuyos comentarios me fueron de gran ayuda son: Carlos Romero, Emiliano Boccardi, Alejandro Vázquez del Mercado, María Martínez, Allen Stais, Miguel Angel Sebastian, Axel Barceló, Jorge Treviño, Tim Prisk, Angélica Pena, Azul Santibañez, Liliana Almeida y Fernanda Mora, quien me dio mi primera clase sobre espacios métricos hace ya años.

He tenido la buena suerte de interactuar en congresos y durante eventos con algunos de los filósofos que juegan un rol importante en la dialéctica de esta investigación y de quienes recibí

muy buena retroalimentación en torno a algunas de las líneas que exploro en el capítulo V. En conexión con eso quiero agradecer a Ted Sider, Shamik Dasgupta, Jessica Wilson, Raúl Saucedo y Agustín Rayo, quienes tuvieron la mejor disposición para escuchar y comentar algunas de las propuestas que aquí he detallado.

Finalmente deseo agradecer al Dr. Marco Antonio Rocha por su amistad y apoyo infalible.

INTRODUCCIÓN

1. Objetivos

El tema central de esta investigación es el de la naturaleza de la persistencia a través del tiempo en el contexto de nuestras mejores teorías físicas acerca del espacio-tiempo. Este problema involucra uno de los conceptos centrales en nuestra comprensión científica del mundo físico, a saber, el concepto de tiempo. La forma usual en que se plantea el problema de la persistencia involucra ciertas nociones que están conectadas con la física, pero estos supuestos rara vez suelen ser formulados de manera explícita, empero, extrapolar las disputas filosóficas en torno a la naturaleza de la persistencia al contexto de espacios newtonianos, galileanos y relativistas (minkowski) no es una tarea trivial. Estos espacios son algunos de los espacios fundamentales donde ocurre la dinámica de los objetos físicos en física clásica.

Entre las motivaciones para estudiar la persistencia a través del tiempo en esos espacios se encuentran las siguientes:

1. Es un ejemplo de un problema filosófico que se complica en cuanto lo conectamos con las teorías científicas relevantes.
2. Es una aplicación de la reflexión filosófica a un aspecto de la naturaleza metafísica de estructuras espacio-temporales específicas: el espacio newtoniano, el espacio galileano y el espacio minkowski de la relatividad especial. Este último salva los fenómenos dinámicos y es consistente con el electromagnetismo tal como está capturado en las ecuaciones de Maxwell. Los espacios minkowski son también un caso límite de los espacios de curvatura variable estudiados en relatividad general, que es actualmente la mejor teoría física para modelar la dinámica de los objetos a escalas macroscópicas.
3. Tener claridad sobre cómo extender el debate a esas estructuras espacio-temporales permite más fácilmente generalizar a estructuras más complejas como la que postula la teoría general de la relatividad, así como posiciones aún más remotas conceptualmente, si bien no me ocupó de esa extensión en esta investigación.

El problema de la persistencia consiste en entender cómo es que un objeto material sobrevive al cambio, siendo el mismo en distintos tiempos i.e. ¿cómo es posible para un objeto X, con determinadas propiedades cualitativas en el tiempo t_1 , ser el mismo objeto con al menos alguna propiedad cualitativa diferente en el tiempo t_2 ? Sostengo que es posible formular estos modelos en el contexto de las estructuras espacio-temporales arriba mencionadas empleando herramientas de física, metafísica, filosofía de la ciencia y mereología y que, una vez hecho esto, **la tesis de que los objetos materiales persisten en el sentido perdurantista está en mejor posición que las tesis rivales.**

En el capítulo I introduzco tres modelos sobre la persistencia los cuales pretenden explicar cómo esto es posible: el modelo endurantista (3D), el modelo exdurantista (4D) y el modelo perdurantista (4D). En palabras de Lewis (1986): *“Digamos que algo persiste si y sólo si, de alguna manera u otra, existe en varios tiempos; esta es la expresión neutral. Algo perdura si y sólo si persiste teniendo diferentes partes, o estadios, en diferentes tiempos, aunque ninguna de sus partes esté presente en más de un tiempo: mientras que algo endura si y sólo si persiste estando del todo presente en más de un tiempo.”* Sólo falta aquí la caracterización de un objeto exdurante i.e. un objeto que persiste teniendo una relación de contraparte temporal con distintos

objetos en distintos tiempos, donde una contraparte temporal es el objeto más similar a algún otro bajo algún contexto discursivo saliente.

En esta tesis he perseguido diferentes objetivos en conexión con el problema de la persistencia, las diferentes tesis que buscan resolver el problema y las estructuras espacio-temporales en nuestras mejores teorías físicas:

1. Articular el problema de la persistencia, así como varios supuestos de metafísica y filosofía de la ciencia indispensables para plantear la discusión así como para formular mi solución.
2. Introducir a detalle las diversas estructuras-espacio temporales que, en nuestras mejores teorías de física, albergan a los objetos materiales persistentes.
3. Introducir herramientas conceptuales que permitan analizar la relación de todo-parte en contextos temporales (mereología), así como las propiedades de la relación de ubicación que tienen los objetos materiales con las regiones espacio-temporales.
4. Reformular las posiciones, con estas herramientas, en las estructuras espacio-temporales previamente mencionadas.
5. Ofrecer una serie de argumentos que favorecen lo que más adelante caracterizo como **perdurantismo de ubicación**, desde dos posiciones metafísicas: el unitismo, la tesis de que el tiempo y el espacio son aspectos de una sustancia más fundamental, el espacio-tiempo y el supersustantivismo, la tesis de que el espacio-tiempo y sus propiedades son suficientes para dar soporte a una ontología realista en el caso de nuestras mejores teorías físicas.

De esos cinco puntos me ocupo, en ese orden, en los cinco capítulos de esta investigación. En los primeros capítulos (I, II) el enfoque es en presentar una serie de posiciones y asunciones estructurales en filosofía y física. En los capítulos intermedios (III, IV), hay también una presentación de posiciones filosóficas dominantes en la literatura que acompañan a una discusión de elementos formales de mereología y postulados estructurales de las teorías naturalizadas de persistencia a través del tiempo. El capítulo V, que es mi contribución principal a la discusión filosófica, integra todo lo discutido en los capítulos anteriores en una serie de argumentos que presento en favor del perdurantismo de ubicación.

2. El Cohete de Teseo: Un Diálogo Filosófico

En algún mundo posible, de cuyo nombre no quiero acordarme, existían dos brillantes inventores llamados Belthazar y Lucca que habían logrado diseñar cohetes que lograban velocidades cercanas a las de la luz. Por azares del destino ambos compartían el mismo cumpleaños, por lo que sus conversaciones giraban no sólo en torno a la ciencia y filosofía empleadas en la física del viaje interestelar sino también acerca de los artefactos estéticos de la época: su música, su arquitectura, su cine, su literatura.

Un buen día decidieron probar su tecnología. Belthazar viajó primero, su cohete aceleró a velocidades cercanas a las de la luz. Pasó un tiempo explorando el universo y finalmente regresó a la Tierra. Su cohete había sufrido varias averías, por lo que gradualmente había ido reemplazando sus partes una por una. Al llegar a la Tierra, para conmemorar su regreso, él y Lucca decidieron construir un monumento. Tomaron las partes que Belthazar reemplazó en el cohete y construyeron otro cohete físicamente idéntico al original, empleando exactamente las

mismas partes de la misma forma.

Sin embargo, pasado un tiempo, ambos pensaban en el pasado con nostalgia, cuando podían hacer bromas e intercambiaban impresiones acerca de los diversos artefactos culturales de su época compartida. Belthazar se había sumergido en las nuevas tendencias, con la vitalidad de su juventud, pero Lucca se había empeñado en la preservación de artefactos estéticos de una época ya lejana. No era capaz de participar a las nuevas tendencias musicales, visuales y arquitectónicas. Belthazar sabía que no había mucho que hacer para compartir ese deseo por aprender cosas nuevas, pero deseaba al menos ser tan viejo como ella para restaurar las cosas a como eran, al menos en ese aspecto. Quizá ambos podrían sumergirse en la preservación y admiración de aquello que fue excelente pero ya no era popular.

Planearon un nuevo viaje en el cohete que Belthazar había ido remodelando. Ahora él se quedaría en la Tierra mientras Lucca recorrería el universo. Lucca finalmente partió en el cohete, acelerando cerca de la velocidad de la luz. Habían estimado una trayectoria que haría posible que a su regreso ella y Belthazar tuvieran de nuevo la misma edad. Eventualmente Lucca volvió a la Tierra. Habían logrado su objetivo pero ahora ambos estaban entrados en años. Para conmemorar su retiro colocaron el cohete en el que Lucca viajó a lado del otro cohete. Un monumento a la tecnología, el tiempo y el cambio.

Ocasionalmente bromeaban respecto a cómo no es claro cuál de los cohetes era el original: ¿el que tiene las partes originales o el que sustituyó todas gradualmente? Sus discusiones solían ir así:

L: No hemos internalizado lo suficiente las lecciones de Einstein y Minkowski. El espacio y el tiempo no son entidades separadas, sino parte de una sola entidad fundamental, el espacio-tiempo. Éste es un objeto tetradimensional que existe *sub specie aeternitatis*, donde las trayectorias de los objetos, las líneas de mundo, bien podrían identificarse con los objetos en sí como entidades tetradimensionales. Los dos cohetes son, en mi opinión entidades de ese tipo.

B: ¿Gusanos espacio-temporales? ¿Extendidos tanto en el tiempo como en el espacio?

L: Precisamente, cuando los miramos ahora parecería que no comparten partes, pero si pensamos en cuatro dimensiones ambos tienen un origen en común, en ese primer cohete que construimos. En el espacio-tiempo tetradimensional los cohetes son como un sendero que se bifurca. En uno, las partes metálicas originales fueron reemplazadas hasta que el cohete estaba constituido por nuevas partes, en el otro esas partes originales dieron lugar a un duplicado estructural. Llamamos “cohete” a aquel objeto tridimensional que, en algún tiempo, tiene cierta forma y función, pero bien podríamos decir que ambos cohetes no son más que partes disjuntas de un único objeto extendido en el tiempo, el cohete 4D.

B: Es una manera poco intuitiva de pensar. Pero, como dices, la dificultad estriba en que no hemos internalizado las lecciones de la teoría de la relatividad especial. Es verdad nada en la física nos obliga lógicamente a conceptualizar así a los objetos, pero es una interpretación filosófica de lo más natural a la luz de esa teoría...

L: Si. Lo que es más, internalizar del todo el marco conceptual relativista creo que tendría que llevarnos a decir que es engañoso decir de estas líneas de mundo, estos gusanos espacio-temporales, que tienen también extensión en el tiempo. Todo objeto en el espacio minkowski

tiene extensión en el espacio-tiempo. Las dimensiones espaciales o temporales de los objetos no son invariantes, las mismas para cualquier observador sin importar el marco de referencia. Los viajes que realizamos ilustran esta consecuencia de la geometría del espacio minkowski mejor que nada.

B: Efectivamente, el único invariante métrico en el espacio-tiempo minkowski es el intervalo. La distancia 4D podríamos llamarle. Nadie se sorprende de que si dos autos salen de un mismo lugar y van dirigidos a un mismo punto, aquel que toma la ruta más corta llega antes. Pero las naves espaciales y en general todo objeto material es un viajero en el universo 4D. La ruta más corta entre dos puntos en el espacio minkowski es aquella donde los objetos tienen velocidades cercanas a las de la luz. Es simplemente una característica de...

L: Una característica de la geometría del espacio-tiempo minkowski así es. Donde la velocidad de la luz es una invariante en cualquier marco de referencia. O, siendo más precisos, donde la trayectoria posible de la luz genera una estructura geométrica invariante desde cualquier marco de referencia, los conos de luz, definidos en todo punto en el espacio-tiempo. Quien permaneció en la Tierra simplemente tomó la ruta más larga entre dos puntos, registrada en su reloj como una cantidad de tiempo transcurrida, mientras que el otro tomó un atajo.

B: Sin duda, pero de nuevo estás cayendo en una manera tridimensional de pensar. Dado todo lo que hemos dicho, la descripción correcta es...

L: Si,... que los atajos, como partes de los senderos que tomamos por el espacio-tiempo, no son más que partes propias de nuestras líneas de mundo así como las de los cohetes y que son, si es correcto todo esto, lo que a fin de cuentas somos. Esos gusanos espacio-temporales.

B: Entonces la pregunta acerca de cuál de los cohetes es el original es menos interesante que la observación de que ambos son gusanos espacio-temporales que tienen un segmento inicial en común. La estructura arquitectónica del mundo es una donde donde el espacio y el tiempo están tan íntimamente unidos que sólo podemos separarlos a través del pensamiento, siendo *sub specie aeternitatis* un objeto estético que *per impossibile* nunca pasará de moda.

Capítulo I

Presupuestos: Filosofía de la Ciencia y Metafísica

Abstract: Primero voy a hacer explícitos de manera muy superficial, dados los objetivos modestos de este capítulo, algunos supuestos metafísicos y de filosofía de la ciencia que suelen preceder estos debates. Seguido de esto, doy una perspectiva general en torno a las disputas presentismo vs. eternalismo. En tercer lugar voy a esbozar, de manera informal, una caracterización de las posiciones que dominan esta discusión y haré explícito lo que involucran en términos de ideología¹.

-

1. Realismo Científico y Anti-realismo Científico

En esta tesis asumo que nuestras mejores teorías científicas acerca del espacio-tiempo son indispensables para entender su naturaleza. Esta investigación presupone una suerte de realismo científico. A grandes rasgos podemos caracterizar el realismo científico como la tesis de que tenemos un compromiso ontológico con aquellas ontologías que postulan nuestras mejores teorías científicas. Este compromiso está justificado a la luz del poder explicativo y predictivo de nuestras mejores teorías.

El argumento estándar en favor del realismo científico es conocido como el **argumento de no milagros** (Putnam, 1975), la idea es que el extraordinario éxito explicativo de nuestra mejor ciencia sería milagroso si ésta no fuera, cuando menos, aproximadamente verdadera. Por otro lado, Laudan (1981) ha argumentado que en muchos casos históricos nuestra mejor ciencia no era ni siquiera aproximadamente verdadera, por lo que es razonable suponer que nuestra ciencia actual tampoco es aproximadamente verdadera, en lo que se conoce como el **argumento de la meta-inducción pesimista**.

El debate continúa a la fecha. Vickers (2016) por ejemplo argumenta que, en general, es posible para el realista científico retirar sus compromisos realistas a aquellos supuestos en una teoría científica que no son indispensables para recuperar el poder predictivo y explicativo². Si esto es así, es posible mantener un compromiso con el realismo científico aun cuando algunos supuestos en nuestras mejores teorías históricamente hayan sido demostrablemente falsos.

2. Realismo Estructural

Esta tesis es también compatible con una filosofía de la ciencia más débil que el realismo científico, pero también de corte realista, a saber el realismo estructural. Si ciertas estructuras matemáticas sobreviven el cambio teórico en ciencia y deben ser de alguna manera vindicadas por nuevas teorías científicas, como ocurriría tanto si el realismo científico (en la mayoría de sus versiones), como si el realismo estructural son verdaderos, entonces investigar filosóficamente esas estructuras puede arrojar intuiciones filosóficas sobre teorías científicas sucesoras, así como sobre la estructura última del mundo físico.

¹ En el sentido de Theodore Sider en *Writing the Book of the World*, quien a su vez retoma (y expande) la noción original de W.V. Quine.

² Este es un tema recurrente en el capítulo V de esta investigación.

El realismo estructural es la tesis de que lo que es relevante en las teorías científicas es la estructura del dominio que modelan. Viene en dos variantes: la variante epistémica (Russell, 1927; Frigg y Votsis 2011; Votsis, 2003; Zahar, 2007), sostiene que lo más que podemos conocer del mundo es su estructura y la variante óptica (Ladyman y Ross, 2007; French, 2014) sostiene que fundamentalmente sólo hay estructuras. Todas las variantes tienen el problema adicional de formular una noción filosóficamente aceptable de “estructura”, la manera estándar de definir estructura es en términos teórico-conjuntistas³.

3. Fundamentación e Ideología

Por ideología entenderé las propiedades, cuantificadores y otras estructuras que entren en nuestras mejores teorías científicas. La utilidad de las nociones de Sider será más evidente más adelante. Presupongo en esta tesis que el mundo tiene una estructura metafísica fundamental. No es una simple colección de objetos o una masa amorfa, sino un objeto estructurado cuyas características pueden ser descubiertas a través de la investigación científica y filosófica.

A lo largo de esta investigación haré uso de la noción de ideología en el espíritu de Sider (2011) con el objetivo de discernir una posible estructura fundamental respecto a los predicados, relaciones y cuantificadores en nuestras mejores teorías del espacio-tiempo que nos ayude a ver qué elementos en esas teorías son metafísicamente sustanciales y cuáles no. Hay posiciones sobre fundamentación rivales a la de Sider, por ejemplo Fine (2001), Cameron (2010) y Schaffer (2009b). Considero que la posición de Sider es más sólida básicamente por las razones que él ofrece en el capítulo 8 de su *Writing the Book of the World*.

La idea intuitiva detrás de la discusión en torno a si un debate metafísico es sustancial o no, es que un debate es sustancial si la ideología que se usa para caracterizarlo busca reflejar la estructura fundamental de la realidad e.g. su estructura cuantificacional, matemática, de propiedades, etc. Si la ideología de la teoría no busca reflejar o puede mejor interpretarse como no reflejando esa estructura de la realidad, sino la estructura de algún esquema conceptual solamente, entonces la teoría es acerca de un aspecto no metafísicamente sustancial. Por ejemplo, la distinción arriba/abajo es acerca de nuestro esquema conceptual: el mundo físico tiene la característica de ser isotrópico i.e. no privilegiado en torno a direcciones, sus leyes valen independientemente de la dirección. Por otro lado, que el mundo tenga cierta estructura espacio-temporal parece ser un aspecto sustancial.

4. Filosofía del Tiempo

Existen al menos dos debates importantes sobre ontología espacio-temporal que han entretenido a los filósofos del tiempo. Por un lado tenemos el debate entre aquellos que consideran que todos los tiempos ya existen sub specie aeternitatis y aquellos que creen que el mundo está en un continuo proceso temporal de actualización. Por otro lado tenemos el debate entre los diferentes modelos de persistencia que pretenden responder a la pregunta: ¿cómo sobreviven los objetos al cambio de manera que el mismo objeto existe en distintos tiempos?

4.1 Presentismo vs. Eternalismo

La disputa entre presentistas y eternalistas es esencialmente una disputa acerca de lo que existe,

³ Véase la sección 1.2 del capítulo II.

una disputa ontológica. Los presentistas sostienen que sólo los eventos/objetos presentes existen, mientras que los eternalistas sostienen que eventos/objetos presentes, pasados y futuros existen. Aunque algunos eternalistas⁴ buscarían refinar esta caracterización notando como los eventos y/o objetos no tienen, fundamentalmente, las características: ser pasado, presente o futuro; sino las características de orden temporal: anterior a algún evento dado, simultáneo con un evento dado, posterior a algún evento dado. En esas características ningún tiempo es privilegiado como “*el presente*”, sino que para cualquier evento/objeto va a ser el caso que si este existe en algún tiempo, entonces habrá tiempos anteriores a aquel y también posteriores. Por ‘foliación temporal’ entiendo un elemento de una partición del espacio-tiempo bajo la relación de equivalencia de “simultaneidad”, éstas a su vez son una colecciones de regiones espaciales maximales las cuales podemos, en el espacio-tiempo newtoniano o galileano, asignar a un único instante temporal o identificar con un instante temporal. Los eternalistas consideran que para decir todo lo que es el caso en todas las foliaciones temporales⁵ basta este lenguaje que otorga al tiempo solamente la importancia de ordenar cronológicamente los eventos, pero no la de privilegiar foliaciones.⁶

La unión del eternalismo con esta desmitificación del lenguaje temporal es conocida en la literatura como la teoría B del tiempo o la teoría del universo bloque (estático), en contraste con la teoría A (*becoming*) que sostiene que hay un único tiempo privilegiado, el presente, y que el lenguaje temporal representa correctamente el hecho metafísico de que la totalidad de la realidad cambia instante a instante a medida que ciertos objetos desaparecen de la existencia y son reemplazados por otros en este único tiempo. Entre las variantes de la teoría A la más conocida es el presentismo, que sostiene que sólo el tiempo presente existe.

El eternalista daría una caracterización como sigue de la realidad: Objetos pasados y futuros existen, pero están a una distancia temporal de nosotros. Así como objetos lejanos existen, pero están a una distancia espacial de nosotros. El deíctico ‘ahora’ no nombra algún aspecto privilegiado de la realidad, únicamente nombra aquello que ocurre simultáneamente con mi uso o pensamiento de la expresión. Funciona análogamente al deíctico ‘aquí’.

El problema principal que tiene el presentismo es que en el marco de una interpretación realista de la relatividad especial⁷, al no tener el espacio-tiempo minkowski suficiente estructura para privilegiar hipersuperficies *space-like* como hiperplanos de simultaneidad absolutos, deja al presentista sin candidatos plausibles que puedan ser identificados como el presente. Una posible maniobra es tomar algún hiperplano de simultaneidad arbitrario desde algún marco de referencia y designar a ese como el presente, sin embargo puesto que diferentes marcos de referencia generan diferentes hiperplanos de simultaneidad (presentes) en unos de los cuales dos eventos son simultáneos y en otros no el resultado es que se viola el siguiente principio plausiblemente

⁴Una excepción a esto serían los defensores del *Moving Spotlight View* en la filosofía del tiempo como Quentin Smith. Ellos conceden la existencia de objetos en todas las foliaciones temporales del mundo, pero consideran que ciertas foliaciones son privilegiadas en tanto son presentes. En ese modelo el presente tiene una dinámica.

⁵Esto es la forma más simple de introducir el concepto de ‘foliación’ sin perder precisión, para más detalle véase Balashov (2010).

⁶ La disputa aquí conectada es aquella entre los *serious tensors* y los *de-tensors* que dan o se abstienen de dar una importancia metafísica (dinámica) al lenguaje temporal.

⁷En contraste a una interpretación que considera la teoría special de la relatividad como empíricamente adecuada pero falsa de la realidad, pues la realidad debe tener tiempos absolutos aun si son empíricamente indetectables. (Sider, 2001)

transitivo: todo lo presente con algo presente, es real. La consecuencia de morder la bala sería que, además de renunciar a ese principio, la realidad es distinguida para algunos observadores, o desde algunos puntos, en un sentido a precisar, sin que esto tenga ninguna consecuencia observable. Este parece un costo demasiado alto. Qué sea el presente en relatividad especial es, en algún sentido, algo puramente convencional⁸. Lo importante es que el espacio-tiempo minkowski no tiene suficiente estructura como para caracterizar una noción no arbitraria de presente. Este es un problema serio para el presentista, si bien no letal⁹.

Desde luego otro problema que se puede plantear con estos recursos es el de los hacedores de verdad bajo el presentismo. Seguro el presentista estará filosóficamente en una mejor posición si es capaz de salvar las apariencias respecto a ciertas intuiciones sobre el tiempo que casi todos compartimos, por ejemplo (con la lectura existencial) que si bien no hay dinosaurios si es verdad que hubo dinosaurios y *mutatis mutandis* para existenciales sobre objetos futuros. El presentista requiere que esas proposiciones sean verdaderas pero los recursos más obvios a los que podría apelar, a saber que son verdaderas porque existen esos objetos a cierta distancia temporal con esas propiedades, están disponibles para el eternalista pero no para él.

Un recurso que usan los presentistas (Sider, 2001) es el uso de operadores temporales ‘WAS’, ‘WILL’ análogos a operadores modales. Ej: La proposición: Posiblemente (Existe x, tal que x es Hamlet), no me comprometo con la existencia de Hamlet. Análogamente la proposición: WAS (Existe x, tal que x es Sócrates), no me comprometo con la existencia de Sócrates. Pero si bien intuitivamente eso explica cómo ese tipo de proposiciones podrían ser verdaderas pese a no existir objetos en esos tiempos que las hagan verdaderas, sigue sin explicar qué exactamente las hace verdaderas. El presentista requiere, además de decir cómo es posible que proposiciones sobre el pasado y el futuro puedan ser verdaderas, dar una semántica para explicar cuáles son los hacedores de verdad de estas proposiciones; mientras que el eternalista no tiene *prima facie* este costo¹⁰. Por supuesto los presentistas tienen respuestas a estas objeciones en las cuales no pienso adentrarme. En esta tesis asumiré simplemente que el presentismo es una filosofía falsa acerca del espacio-tiempo sobretodo en virtud de su incompatibilidad con la teoría de la relatividad.

Con lo dicho arriba podemos decir más en torno al debate sobre la persistencia. El debate sobre persistencia suele tenerse presuponiendo la teoría B, si bien en principio es compatible con la verdad del presentismo. Sin embargo el presentismo nos debe una explicación acerca de porque nuestro discurso sobre persistencia, en términos de continuantes, suele hacer referencia a la existencia pasada y futura de los mismos en tanto esta manera de expresarse es intuitivamente verdadera. Recuérdese que bajo el presentismo los objetos que pueblan el mundo sólo existen durante un instante. El mundo es genuinamente tridimensional.

4.2 El Problema de la Persistencia

Una forma de motivar la discusión en torno al problema de la persistencia es reflexionando sobre el fenómeno del cambio:

- A tenía el cabello largo el lunes y corto el martes.

⁸ Sobre esto regresaré más abajo.

⁹ Para una exploración de posibles interpretaciones presentistas de la relatividad especial, véase Sider (2001).

¹⁰ Para más detalle véase Sider, 2001, secc. 2.

- B medía 1.40 mt cuando tenía 7 años, pero 10 años después medía 1.70 mts.
- Napoleón vivía en Elba, luego vivió en Santa Elena.
- Cicerón denunció a Catilina, luego perdió la cabeza.

En esas oraciones se dice de cierto objeto que en un tiempo tiene ciertas características y en otros, anteriores o posteriores, otras propiedades que muchas veces pueden ser incompatibles entre sí. En estos casos el cambio parece involucrar un objeto adquiriendo y/o perdiendo propiedades/relaciones con el transcurso del tiempo. Consideremos en conexión con eso la Ley de Leibniz (Indiscernibilidad de Idénticos):

$$(LL) \quad (\forall x)(\forall y)(x = y \rightarrow (\forall P)(Px \leftrightarrow Py))$$

Cualesquiera objetos idénticos tienen todas y sólo las mismas propiedades y relaciones. Pero consideremos al niño que fui y el adulto que soy, el niño es pequeño mientras el adulto es más grande, luego no tienen las mismas propiedades, entonces por *modus tollens* sobre la Ley de Leibniz son distintos. Podemos emplear el mismo razonamiento en relación a cualquier objeto espacio-temporal. Tómese al objeto en un tiempo y luego en otro, dado que en nuestro mundo la distribución de la materia en el espacio-tiempo cambia a cada instante entonces eso es suficiente para que las propiedades relacionales de cualquier objeto cambien de instante a instante aun si, milagrosamente, mantuvieran todas sus propiedades intrínsecas¹¹. Pero entonces, si este argumento es exitoso, ningún objeto en nuestro mundo persiste. Nuestro discurso sobre persistencia es en esencia falso.

La conclusión del argumento anterior resulta demasiado ajena a nuestras intuiciones mientras que las premisas del argumento son susceptibles de discusión o reinterpretación. ¿Qué premisas? No la Ley de Leibniz que es bastante sólida (a diferencia de su principio hermano “la identidad de indiscernibles”)¹², tampoco que esos objetos en esos tiempos tienen esas propiedades. Quizá el error está en identificar al objeto instantáneo con la persona, pedazo de materia u objeto bajo el *sortal* F, etc.

Estamos en posición de introducir tres alternativas (no exhaustivas¹³) acerca de cómo los objetos persisten, las cuales son compatibles con la verdad de la Ley de Leibniz y la premisa de que los objetos sobreviven al cambio.

- i) **Endurantismo (3D):** Un objeto persiste a través del tiempo ‘durando’, esto es, estando del todo presente en diferentes tiempos. Su relación de ocupación con la dimensión temporal es uno-muchos. Bajo este modelo el objeto es el mismo en cualesquiera dos tiempos diferentes en la medida en que tiene sus propiedades en tiempos. Es niño en t y adulto en t’. Ese tipo de propiedades no son incompatibles por lo que se evita la contradicción. Pensemos, por ejemplo, en un camino es que

¹¹ En conexión con este párrafo entiendo la noción de ‘propiedad relacional’ como aquella propiedad que los objetos tienen en virtud de sus relaciones espacio-temporales con otros objetos. Por ‘propiedad intrínseca’ entiendo aquellas propiedades que cualquier duplicado perfecto de un objeto tendría. Para más detalle véase Lewis (1984).

¹²Véase por ejemplo Black, 1952.

¹³Una exploración detallada de las posibles posiciones sobre persistencia puede encontrarse en *Threedimensionalism* (2006) de John Hawthorne.

- quebradizo en una parte y recto en otra, claramente eso no es inconsistente. El tridimensionalista no requiere de nada por encima de la relación de ocupación uno-muchos y una noción exótica de predicación para acomodar la persistencia. Hay que notar rápidamente que aceptar la posición no nos dará inmediatamente criterios de identidad a través del tiempo, sólo explicará cómo es que la identidad es posible.
- ii) **Perdurantismo (4D-WORM):** Un objeto persiste a través del tiempo ‘perdurando’, esto es, estando presente en diferentes tiempos en la medida en que tiene partes temporales en esos tiempos. Su relación de ocupación con la dimensión temporal también es uno-muchos, pero la relación de ocupación de partes temporales es uno-uno. Bajo este modelo lo que difiere son las partes temporales del objeto. Bajo este esquema los objetos físicos son gusanos espacio-temporales, extendidos en el tiempo, como en el espacio. Una analogía es la siguiente: yo tengo partes espaciales, como mi brazo, que ocupa una región espacial menor que la que ocupa todo mi cuerpo, una parte temporal mía ocupa espacialmente el mismo espacio que yo ocupé, pero lo hace por sólo un instante o un intervalo. Del objeto en cuestión podemos decir entonces que tiene una parte temporal que es un niño y otra que es un adulto y estas difieren, pero el objeto tiene la propiedad de estar compuesto por ambas partes temporales, por lo que no se cae en la contradicción. Las partes temporales tienen sus propiedades *simpliciter* por lo que no hay necesidad de hablar de propiedades en tiempos. El tetradimensionalista (WORM) no requiere nada por encima de las partes para acomodar la persistencia. Hay que notar rápidamente que aceptar la posición no nos dará inmediatamente criterios de identidad a través del tiempo, sólo explicará cómo es que la identidad es posible.
- iii) **Exdurantismo (4D-STAGE + CPT)¹⁴:** Un objeto persiste a través del tiempo ‘exdurando’, esto es, estando presente en diferentes tiempos en la medida en que en que hay individuos instantáneos en esos tiempos vinculados por una relación de contraparte temporal que es suficiente para garantizar la persistencia. Para el objeto y cualquiera de sus contrapartes temporales la relación de ocupación con los instantes es uno-uno. Bajo este modelo lo que difiere son los individuos instantáneos. En este esquema los objetos físicos son individuos instantáneos que tiene una relación de contraparte temporal con otros individuos instantáneos similares, bajo esa relación, en el pasado y en el futuro. Del objeto en cuestión podemos decir entonces que es un individuo instantáneo que tiene la propiedad *simpliciter* de ser un niño (o un adulto), ambos individuos difieren pero podemos decir que el adulto fue ese niño en virtud de que la teoría temporal de la contraparte¹⁵ asigna condiciones de verdad verdaderas a esas proposiciones cuando, en ciertos contextos, hay una relación de similitud en alguna dimensión que es suficiente para que asintamos a hablar de persistencia en

¹⁴ Para más detalle acerca de la teoría de contraparte véase Divers (2002).

¹⁵ En esta teoría de la contraparte foliaciones del espacio-tiempo reemplazan a los mundos como individuos. Recuérdese que para Lewis, x es un mundo $\text{sys}x$ es la suma mereológica de todo objeto espacio-temporalmente conectado. Los axiomas modales para teoría de contraparte emplean esta noción de mundo. Pero los axiomas temporales emplean tiempos. Ocurre lo mismo para otras nociones modales, se cambian a temporales en esa teoría.

esos casos, por lo que no se cae en la contradicción. Los individuos instantáneos tienen sus propiedades *simpliciter* por lo que no hay necesidad de hablar de propiedades en tiempos. El tetradimensionalista (STAGE) no requiere nada por encima de los individuos instantáneos, las relaciones de similaridad contextualizada entre ellos y la teoría temporal de contraparte para acomodar la persistencia. Hay que notar rápidamente que aceptar la posición no nos dará inmediatamente criterios de identidad a través del tiempo, sólo explicará cómo es que la identidad es posible.

Hay que señalar que la posición endurantista aquí discutida no ahonda en los problemas que surgen al intentar caracterizar con precisión esa posición o posiciones que preserven su espíritu.¹⁶ Sin embargo con esas tres posiciones sobre la mesa, muchos de los argumentos estándar en el debate pueden esgrimirse. Argumentos a favor o en contra de cualquiera de las dos posiciones. Los más prominentes en la literatura a favor del 4Dismo serían algunos como el argumento de la vaguedad de Sider, argumentos por analogía entre el espacio y el tiempo, el de intrínsecos temporales de David Lewis, el argumento de la parsimonia desde el sustantivismo, etc¹⁷. En contra del 4Dismo pesan argumentos como el de los discos de materia homogénea que rotan y del tipo “*incredulous stare*”.

4.3 La Teoría de Contrapartes

La teoría de contrapartes (Lewis, 1968, 1986) tiene como objetivo sistematizar el discurso sobre modalidad de re en un lenguaje puramente extensional de primer orden, lo cual permite interpretar y asignar condiciones de verdad a oraciones modales acerca de individuos. Tiene una interpretación natural en términos de modalidades temporales e.g. lo que fue o será de x.

Esta axiomatización es la de John Divers (2002) que omite dos axiomas de Lewis (1968) innecesarios en este contexto:

1. a es posiblemente F sólo en caso que haya un mundo donde a tiene una contraparte relevante que es F.
2. a es necesariamente F sólo en caso que en todo mundo, toda contraparte relevante de a es F.
3. (P1) $\forall x \forall y (Ixy \rightarrow Wy)$: Ninguna cosa está en ningún lado excepto en un mundo.
4. (P2) $\forall x \forall y \forall z (Ixy \ \& \ Ixz \rightarrow y = z)$ Ninguna cosa está en dos mundos.
5. (P3) $\forall x \forall y (Cxy \rightarrow \exists z Ixz)$ Lo que sea una contraparte está en un mundo.
6. (P4) $\forall x \forall y (Cxy \rightarrow \exists z Iyz)$ Lo que sea que tenga contrapartes está en un mundo.
7. (P5) $\forall x \forall y \forall z (Ixy \ \& \ Izy \ \& \ Cxz \rightarrow x = z)$ Nada es una contraparte de ninguna otra cosa en su mundo.
8. (P6) $\forall x \forall y (Ixy \rightarrow Cxx)$ Cualquier cosa en un mundo es contraparte de sí misma.

Para la versión temporal basta sustituir tiempos por mundos y dar versiones temporales para el pasado y el futuro de 1 y 2. Plausiblemente, algunos axiomas la teoría de contrapartes que valen para el caso modal deben ser modificados en el caso temporal, por ejemplo, para acomodar la

¹⁶ Para ver una discusión extensa sobre eso véase Sider, 1997.

¹⁷ Hay una amplia literatura sobre cada uno de estos argumentos. Por obvias razones en mi tesis sólo trataré con mayor detalle un par que sean particularmente relevantes. También veré si estos argumentos pueden adaptarse a las estructuras espacio-temporales discutidas en física.

posibilidad del viaje en el tiempo plausiblemente un objeto puede tener más de una contraparte en algún tiempo.

4.4 Tres Argumentos Clásicos en Favor de los modelos 4D

Hay al menos tres argumentos importantes en favor de los modelos 4D a los cuales haré referencia a lo largo de esta tesis. Por ello, presentaré aquí los argumentos sin demasiado comentario y haré referencia a ellos cuando sea relevante.

4.4.1 El Argumento de la Vaguedad

El argumento de la vaguedad de Sider (2001) es probablemente el más interesante de todos estos. Está inspirado por un argumento presentado previamente por Lewis (1984).

El argumento de Lewis es como sigue:

- i) P1: Si no toda clase tiene fusión¹⁸, entonces debe haber un par de casos conectados por una serie continua tal que en uno, la composición se da, pero en el otro no se da.
- ii) P2: En ninguna serie continua hay un corte abrupto con respecto a si se da la composición.
- iii) P3: En cualquier caso de composición, ya sea que ésta definitivamente ocurre o definitivamente no ocurre.

Para el argumento de Sider (1997) es necesario introducir unas definiciones:

- i) Fusión Diacrónica: Sea f una asignación (posible función parcial)¹⁹ que mapea instantes en su dominio a conjuntos no vacíos de objetos que existen en esos tiempos. X es una fusión diacrónica de f sii para todo i en el dominio, X es un fusión en i de $f(i)$.
- ii) Fusión Diacrónica Mínima: Es una fusión diacrónica de f que existe sólo en los instantes en el dominio de f . Ej: Una fusión diacrónica mínima de una persona es la fusión de los objetos que componen a esa persona durante todo instante en que esa persona existe. Preguntar por la fusión diacrónica mínima de un objeto es preguntar cuando comienza y cesa de existir.

El argumento de la vaguedad es:

- i) P1': Si no toda asignación tiene una fusión D mínima entonces habrá algún par de casos conectados por una serie continua tales que en uno, la fusión D mínima se da y en el otro no se da.
- ii) P2': En ninguna serie continua hay un corte abrupto en si la fusión D mínima se da.
- iii) P3': En cualquier caso de fusión D mínima, ya sea que ésta definitivamente ocurre o definitivamente no ocurre.
- iv) P1', P2' y P3' implican U.
- v) U: Toda asignación tiene una fusión D mínima.

¹⁸El objeto y es la fusión de la clase de los x 's si y sólo si para toda z , z es parte de y si y sólo si z se traslapa con alguno de los x 's. Decimos que un objeto se traslapa con otro si y sólo si tienen una parte en común. Para mayor detalle véase la sección sobre mereología en el capítulo III de esta tesis.

¹⁹Una función es una relación entre dos conjuntos, dominio y codominio, tal que para todo elemento en el dominio hay asociado uno y sólo uno del codominio. Una función parcial es una relación como la anterior que no está definida para todo elemento del dominio.

- vi) U implica la tesis de localidad temporal.
- vii) TLT: Necesariamente, para cualquier objeto x y para cualesquiera conjuntos disyuntos no vacíos de tiempos $T1$ y $T2$ cuya unión es el lapso temporal de x , hay dos objetos $x1$ y $x2$ tales que, $x1$ y x tienen las mismas partes en todo tiempo en $T1$ y $x2$ y x tienen las mismas partes en todo tiempo en $T2$. Y el lapso temporal de $x1 = T1$ y de $x2 = T2$.

4.4.2 Los Argumentos por Analogía Entre el Espacio y el Tiempo (Sider, 2001)

El argumento de la extensión: Si un objeto tiene partes espaciales en la medida en que está extendido en el espacio entonces un objeto debe tener partes temporales en la medida en que está extendido en el tiempo.

El argumento modal: Si una región espacial R de algún objeto pudiera sobrevivir a la destrucción o ser todo lo que pudo haber existido entonces una región temporal R de algún objeto pudiera ser todo lo que hubiera existido, pero entonces hay partes temporales.

El argumento de propiedades en lugares: Si el tridimensionalista acepta que las propiedades se tienen en tiempos, ¿por qué no aceptar que las propiedades se tienen en lugares? O si las propiedades las tienen partes espaciales entonces ¿por qué no aceptar que las tienen partes temporales?

4.4.3 El Argumento del Espacio-Tiempo (Sider, 2001)

1. Si el sustantivismo es el caso entonces ya sea que hay espacio-tiempo y ocupantes materiales o sólo hay espacio-tiempo.
2. Pero postular ocupantes materiales no es parsimonioso en tanto el espacio-tiempo puede hacer todo el trabajo.
3. Todo lo demás constante las teorías más parsimoniosas son más razonables.
4. Por ende el supersustantivismo es razonable.
5. Pero las regiones espacio-temporales persisten de manera 4D i.e. son regiones extendidas espacio-temporalmente con subregiones espaciales y/o temporales.²⁰
6. Por ende, nuestra metafísica más razonable sobre el espacio-tiempo implica la persistencia 4D.

En el capítulo V exploro una línea de argumentación hacia la tesis 4D desde el supersustantivismo que se inspira en este argumento de Sider.

5. Ideología Formal Presupuesta

Es posible observar a estas alturas que la ideología presupuesta en la discusión va cuando menos a incluir a la lógica clásica de primer orden; plausiblemente un dominio *all-inclusive*²¹

²⁰Esto último es suficiente para la TLT mencionada en el argumento de la vaguedad, la cual es suficiente para el perdurantismo mereológico.

²¹Habría que aclarar en qué sentido este dominio no es un conjunto. De otra manera las paradojas que aquejan a la teoría ingenua de conjuntos amenazan el proyecto. Véase por ejemplo *Absolute Generality*, editado por Agustín

que permita la cuantificación irrestricta, de manera que haya un candidato de elegibilidad semántica²² para los cuantificadores que nos permita decir lo que queremos decir acerca de la naturaleza óptica de la realidad, a saber que esos son los objetos que existen *simpliciter*; la mereología clásica²³ con su relación primitiva de “parte” y sus sumas (*worms*) y la teoría de conjuntos con su relación primitiva de “pertenencia” que detallo en el siguiente capítulo.

Rayo.

²²Por elegibilidad semántica entiendo aquella relación entre los términos singulares de una teoría y su correspondencia con nuestra interpretación pretendida de la teoría, sujeta a constricciones de uso y magnetismo de referencia. Por ‘magnetismo de referencia’, intuitivamente entiéndase el cómo la estructura metafísica del mundo contribuye a determinar los referentes. Para más detalle véase Sider (2011).

²³ Por ‘mereología clásica’ entiendo la teoría filosófica acerca del todo y la parte capturada por los axiomas dados en Simons (1997). Detallaré estos axiomas y mencionaré algunas posiciones clásicas en el capítulo III.

Capítulo II

Espacio-Tiempo y Física²⁴

Abstract: En este capítulo voy a discutir qué tipo de estructura espacio-temporal suele estar en el trasfondo de estas discusiones, a saber la newtoniana. Acto seguido discuto las características de otros espacios-tiempos a los cuales sería interesante mover la discusión, por ejemplo espacios galileanos, espacios minkowski.

-

Es interesante observar que desde el principio de la discusión hemos estado asumiendo cierta estructura espacio-temporal al formular, tanto el debate presentismo vs. eternalismo, como las diversas teorías de la persistencia. Recordemos que estamos presuponiendo la teoría-B. A continuación examinaremos con detalle esas diversas estructuras espacio-temporales.

1. Preliminares Matemáticos

En la presentación de estas ideas, así como en análisis posteriores presupongo la axiomatización estándar de la teoría de conjuntos, esto es ZFC²⁵ (Suppes, 1960). Ésta es crucial para poder modelar las regiones espacio-temporales como conjuntos de puntos, caracterizar estructuras métricas, afinas y topológicas así como definir funciones apropiadas para caracterizar ecuaciones y transformaciones, así como entender ideología mereológica y de ubicación crucial en el debate sobre persistencia. La relación fundamental en la teoría de conjuntos es \in y se lee como “pertenece”. Intuitivamente, decimos que un objeto x pertenece a un conjunto C si es uno de los elementos de C .

1.1 Teoría de Conjuntos

1. **Extensionalidad ($=$):** Sean A y B conjuntos, $A = B \leftrightarrow \forall x (x \in A \leftrightarrow x \in B)$
2. **Vacio:** Existe un conjunto que no tiene elementos, denotado por \emptyset .
3. **Subconjunto (\subseteq):** Sean A y B conjuntos, $A \subseteq B \leftrightarrow \forall x (x \in A \rightarrow x \in B)$
4. **Subconjunto Propio (\subset):** Sean A y B conjuntos, $A \subset B \leftrightarrow \forall x ((x \in A \rightarrow x \in B) \& \exists y (y \in B \& y \notin A))$
5. **Unión (\cup):** Sea A un conjunto de conjuntos, $\cup A = \{x \mid \exists y (y \in A \& x \in y)\}$. En ZFC la existencia de uniones está garantizada por el axioma de unión.
6. **Intersección (\cap):** Sea A un conjunto de conjuntos, $\cap A = \{x \mid \forall y (y \in A \rightarrow x \in y)\}$. La existencia de la intersección de A no requiere un axioma especial, pues depende sólo de la existencia de los conjuntos que son miembros de A .
7. **Potencia (\wp):** Sea A un conjunto, $\wp(A) = \{x \mid x \subseteq A\}$. La existencia del conjunto potencia de A está garantizada en ZFC por el axioma de conjunto potencia.
8. **Par Ordenado ($\langle \rangle$):** Sean A y B conjuntos, $\langle A, B \rangle = \{\{A\}, \{A, B\}\}$. Intuitivamente, el

²⁴Para un apoyo visual véanse las figuras 2 y 3.

²⁵Si bien muchos de estos axiomas tienen contrapartes en otras axiomatizaciones de la teoría de conjuntos que tienen un espíritu filosófico diferente. Por ejemplo, en una teoría de conjuntos con urelementos, con algunas modificaciones o en la axiomatización clásica de Russell y Whitehead, *Principia Mathematica* (1910), que no asume una ontología de conjuntos pero la recupera a través de definiciones contextuales y la teoría ramificada de los tipos.

conjunto ordenado donde el primer elemento es A y el segundo elemento es B . Se extiende recursivamente al orden de n conjuntos.

9. **Producto Cartesiano (\times):** Sean A y B conjuntos, $A \times B = \{ \langle x, y \rangle \mid x \in A \ \& \ y \in B \}$, se extiende recursivamente al producto de n conjuntos.
10. **Función:** Una función F es un subconjunto de un producto cartesiano, en símbolos $F \subseteq A \times B$. Llamamos al conjunto A el dominio de F , y al conjunto B el codominio de F . A cada miembro del dominio corresponde uno y uno sólo del codominio.
11. **Función Inyectiva:** Una función $F \subseteq A \times B$ es inyectiva $\leftrightarrow f(x) = f(y) \rightarrow x = y$
12. **Función Sobreyectiva:** Una función $F \subseteq A \times B$ es sobreyectiva $\leftrightarrow f(A) = B$, donde $f(A)$ es el rango de F .
13. **Función Biyectiva:** Una función $F \subseteq A \times B$ es biyectiva \leftrightarrow es inyectiva y sobreyectiva.
14. **Relación de Equivalencia:** Una relación R es de equivalencia sobre un dominio $D \leftrightarrow$ (i) para cualquier x en D , xRx (reflexividad); (ii) para cualquier x, y en D , si xRy entonces yRx (simetría); (iii) para cualquier x, y, z en D , si xRy y yRz , entonces, xRz (transitividad).
15. **Clase de Equivalencia:** El conjunto de todos los elementos de algún conjunto A en una relación de equivalencia con algún elemento a de A denotado por $(a)R = \{x \in A \mid xRa\}$
16. **Partición:** P es una partición de un conjunto $A \leftrightarrow$ (i) $\emptyset \notin P$ (ii) $\cup x \in P = A$ y (iii) $\forall x \forall y \in P (\neg(x = y) \rightarrow x \cap y = \emptyset)$.
17. **Orden Parcial:** Un conjunto A está parcialmente ordenado por una relación $R \leftrightarrow$ para cualquier x en A , xRx (reflexividad); (ii) para cualesquiera x, y en A , xRy y yRx entonces $x = y$ (antisimetría); (iii) para cualesquiera x, y, z en A , si xRy y yRz entonces xRz (transitividad).
18. **Orden Lineal:** Un conjunto A está linealmente ordenado por una relación R (i) para cualesquiera x, y en A , xRy y yRx entonces $x = y$ (antisimetría); (ii) para cualesquiera x, y, z en A , si xRy y yRz entonces xRz (transitividad); (iii) para cualesquiera x, y en A , xRy o yRx (totalidad).
19. **Tipo de Orden:** Sean A y B conjuntos con R y R^* relaciones de orden sobre los mismos respectivamente, decimos que (A, R) tiene el mismo tipo de orden que $(B, R^*) \leftrightarrow$ Existe una función f de A a B tal que para todo x_1, \dots, x_n en A , si $R(x_1, \dots, x_n)$ entonces, para todo $f(x_1) \dots f(x_n)$ en B , $R^*(f(x_1) \dots f(x_n))$.
20. **Cardinales:** Sean A y B conjuntos, decimos que A y B tienen la misma cardinalidad \leftrightarrow Existe una función f , biyectiva entre ellos. Intuitivamente, **cardinalidad** recupera la noción de mismidad de número e.g. sabemos que una colección tiene n objetos si es posible establecer una biyección entre esa colección y los números naturales hasta n .

1.2 Estructuras Abstractas y Estructuras Concretas

Votsis y Frigg en su *Everything You've Always Wanted to Know About Structural Realism* definen una estructura en términos de teoría de conjuntos como un par ordenado $\langle U, R \rangle$, con U dominio y un conjunto indexado R , de relaciones n -ádicas sobre el dominio. Una estructura concreta es **isomorfa** a otra si existe una función f que mapea los elementos de la primera, bajo las R relaciones, a los elementos de la otra bajo las R^* relaciones de esa, tal que si $x_1 \dots x_n$ están en U bajo las R_i , $f(x_1) \dots f(x_n)$ están en U^* bajo las R^*_i . Una estructura abstracta es una clase de estructuras concretas isomorfas. Una construcción muy a la Russell-Whitehead (1910).

Las estructuras espacio-temporales fundamentales son las siguientes (Maudlin, 2012):

1. **Estructura Topológica:** El nivel de estructura que da sentido a la noción de continuidad en el espacio-tiempo. Intuitivamente, decimos que dos estructuras son topológicamente equivalentes si preservan vecindades i.e. si cualesquiera puntos “cercaños” en una son “cercaños” en la otra.

Def.- El par de objetos (X, J) es un espacio topológico, donde X es el conjunto de base, J es la topología sobre X y los elementos de J los conjuntos abiertos si y sólo si X un conjunto no vacío y J una colección de subconjuntos de X tal que: (i) $X \in J$ (ii) $\emptyset \in J$ (iii) Si $O_1, O_2, \dots, O_n \in J$, entonces $O_1 \cap O_2 \dots \cap O_n \in J$ (iv) Si para cada $i \in I$, $O_i \in J$ entonces $\bigcup_{i \in I} O_i \in J$. (Mendelson, 1990)

2. **Estructura Afín:** El nivel de estructura que da sentido a la noción de trayectoria recta o curva en el espacio-tiempo. Intuitivamente, decimos que dos estructuras son equivalentes respecto a su estructura afín si preservan el mismo tipo de trayectorias rectas y curvas.

Def.- Un espacio afín es un triple $\langle E, E^*, + \rangle$ donde E es un conjunto de puntos, E^* es un espacio vectorial de traslaciones y una acción $+$: $E \times E^* \rightarrow E$ que satisface: (i) $a + 0 = a$, para toda $a \in E$ (ii) $(a + u) + v = a + (u + v)$ para toda a en E y para toda u, v en E^* (iii) para cualesquiera puntos $a, b \in E$ hay una única $u \in E^*$ tal que $a + u = b$. (Gallier, 2011)

3. **Estructura Métrica:** El nivel de estructura que da sentido a la noción de distancia en el espacio-tiempo. Intuitivamente, decimos que dos estructuras son métricamente equivalentes si preservan distancias entre puntos del espacio-tiempo.

Def.- Un espacio métrico es una dupla $\langle E, d \rangle$, donde E es un conjunto de puntos que pueden ser números naturales, reales, complejos, funciones, etc. Y d es una función definida sobre E que toma como argumentos puntos en E y da como resultado un único número real positivo, intuitivamente, la distancia entre esos puntos. Tal función es llamada “función de distancia” y tiene las siguientes propiedades: (i) cumple con la desigualdad del triángulo $d(x, z) \leq d(x, y) + d(y, z)$ (ii) es simétrica respecto a *inputs* y (iii) arroja cero como resultado sólo si los *inputs* son los mismos. (Mendelson, 1990)

Todo espacio métrico es un espacio topológico:

“Si J es la colección de conjuntos abiertos de un espacio métrico (X, d) entonces (X, J) es un espacio topológico, el espacio topológico asociado al espacio métrico (X, d) y el espacio métrico (X, d) da lugar al espacio topológico (X, J) .” (Mendelson, 1990)

1.2 Ecuaciones de Movimiento

Sea²⁶ p un partícula punto en movimiento, sean x y t espacios con la topología de la línea real²⁷ tal que x representa al espacio y t representa al tiempo. Podemos considerar entonces al producto cartesiano de $x * t$ estructuralmente equivalente a R^2 . Es posible en este espacio caracterizar las

²⁶ La sección 1.2 del capítulo II corresponde a los primeros tres párrafos de mi artículo *Movimiento e inconsistencia: Una Defensa de la Teoría Ruselliana del Movimiento* (2016).

²⁷ Esto es, con el mismo tipo de orden, un orden lineal que preserva relaciones métricas (distancias) o en un espacio sin métrica, relaciones de continuidad.

siguientes funciones (Lindsay, 1940) para velocidad promedio, velocidad instantánea, aceleración promedio y aceleración instantánea de la partícula:

$$(i) \ v(\text{avg}) = \Delta x / \Delta t$$

$$(ii) \ v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta x / \Delta t = dx/dt$$

$$(iii) \ a(\text{avg}) = \Delta v / \Delta t$$

$$(iv) \ a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta v / \Delta t = dv/dt$$

La posibilidad de caracterizar esas funciones en esta estructura está garantizada bajo el supuesto de que x y t sean estructuralmente isomorfos a los reales en tipo de orden, propiedades algebraicas y métricas puesto que la velocidad promedio no es más que una división de diferencias y así análogamente para aceleración promedio. Respecto a velocidades y aceleraciones instantáneas, en tanto las trayectorias de las partículas se asumen continuas en el espacio, entonces es el caso que para una partícula y cualquier t donde la partícula existe, $x(t)$ tiene un valor que corresponde a la posición de la partícula en su trayectoria continua por el espacio. Esas funciones a su vez son continuas:

Def.- Sean (X, d) y (Y, d^*) espacios métricos, con $a \in X$. Una función $f: X \rightarrow Y$ es continua en el punto $a \in X$ si dado algún $\epsilon > 0$, existe un $\delta > 0$, tal que $d^*(f(x), f(a)) < \epsilon$ cuando sea que $x \in X$ y $d(x, a) < \delta$.²⁸

Def.- La función $f: X \rightarrow Y$ es continua si es continua en cada punto en X . (Mendelson, 1990)²⁹

Con la finalidad de hacer cálculos se introduce en los espacios newtonianos y galileanos un **marco de referencia**, esto es, una asignación de coordenadas al plano, volumen o hipervolumen donde se toma como origen algún punto arbitrario y desde ahí se imponen n número de líneas euclidianas ortogonales entre sí, para n dimensiones, con la finalidad de poder asignar una coordenada a cada punto del espacio-tiempo que se pretende modelar. Decimos que las leyes dinámicas son equivalentes en dos marcos de referencia si la transformación (función) que los conecta preserva la estructura topológica, afín y métrica relevante. En los espacios newtonianos y galileanos las transformaciones que preservan estructura son las transformaciones galileanas. En los espacios minkowski los marcos de referencia son **marcos de Lorentz**, cumplen también con la función de asignar desde algún punto arbitrario en el espacio minkowski una colección completa de coordenadas a cada punto en el espacio-tiempo, pero no satisfacen todas las propiedades de un marco de referencia euclidiano. Las transformaciones que preservan estructura topológica, métrica y afín en el espacio-tiempo minkowski son las **transformaciones de Lorentz** y son éstas las que permiten hablar de equivalencia respecto a las leyes dinámicas desde cualquier marco de referencia en ese espacio-tiempo.

Las leyes dinámicas para las partículas en la física clásica están capturadas en las ecuaciones

²⁸Continuidad en un punto en el caso específico de los números reales se define: Sea $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$. La función f es continua en el punto $a \in \mathbb{R}$, si dado algún $\epsilon > 0$, existe un $\delta > 0$, $|f(x) - f(a)| < \epsilon$, cuando $|x - a| < \delta$.

²⁹La definición puede extenderse a espacios topológicos en términos de vecindades, a su vez definidas en términos de conjuntos abiertos y cerrados. (Mendelson, 1990)

de Newton (Russell, 1903; Maudlin, 2012³⁰), éstas caracterizan el tipo de movimientos físicamente posibles para las partículas en el espacio y permiten deducir propiedades concretas de estas trayectorias si se conocen las condiciones iniciales. Es sobre esas trayectorias, que representan en el modelo de arriba funciones de posición, que es posible deducir el estado de movimiento de la partícula.

1.3 Sustantivismo vs. Relacionismo

Por sustantivismo entiéndase la tesis de que el espacio-tiempo existe. Viene en al menos dos variantes: sustantivismo dualista y super-sustantivismo. El sustantivismo dualista es la tesis de que tanto el espacio-tiempo como individuos que ocupan regiones del espacio-tiempo existen, mientras que el super-sustantivismo es la tesis de que sólo el espacio-tiempo existe y el discurso acerca de ocupantes espacio-temporales puede fundamentarse en términos del espacio-tiempo y sus propiedades³¹. Por relacionismo entiéndase la tesis de que lo que existe son objetos y sus relaciones espacio-temporales.

En la literatura tradicional de metafísica y filosofía de la física, se ha defendido que nuestras mejores teorías científicas postulan que cierta estructura espacio-temporal es necesaria para dar cuenta de determinados fenómenos dinámicos (Russell, 1903; Friedman, 2014; Sklar, 1974; Nerlich, 1994; Earman, 1989; Maudlin, 2012). Llamemos a esto la motivación sustantivista. Al mismo tiempo, los defensores de la posición relacionista han sostenido que dichas estructuras suelen ser defectuosas en términos de exuberancia ontológica, parsimonia, modalidad y subdeterminación (G. W. Leibniz y S. Clarke, 1956; Russell, 1927; Dasgupta, 2011, 2015; Mundy, 1983).

El sustantivismo presupone que el espacio-tiempo es independiente de sus ocupantes materiales. Por otro lado, el relacionismo presupone que el sistema espacio-temporal no es nada por encima de las relaciones espacio-temporales entre objetos materiales³². Históricamente la motivación más fuerte para el sustantivismo ha sido el argumento de que la suposición de la existencia de ciertas estructuras espacio-temporales es necesaria para dar cuenta de la dinámica de los objetos. Es más fácil comprender la motivación para preferir el sustantivismo por sobre el relacionismo en el contexto de las leyes de Newton. Se denomina espacio-tiempo newtoniano a aquella estructura matemática que da soporte a las leyes de la dinámica de Newton. Estas leyes nos dicen cómo una partícula o colección de partículas (sistema) alteran su estado de movimiento a través del tiempo. Por estado de movimiento entiéndase en esta conexión la trayectoria del sistema. Las leyes de Newton son:

1. Un sistema dinámico en la mecánica de Newton no cambia su estado de movimiento (e.g.

³⁰Maudlin enfatiza en su *Philosophy of Physics: Space and Time* (2012), las explicaciones geométricas de la dinámica. Para él la geometría del espacio-tiempo es fundamental, por lo que parte de esa geometría para explicar la estructura de los distintos espacio-tiempos. Por lo mismo, se vale en un inicio de la formulación geométrica de las leyes de Newton.

³¹ Véase por ejemplo de Jonathan Schaffer (2009), *Space-Time the one Substance*.

³² La esencia de estos argumentos es que la estructura del espacio-tiempo, ya sea el newtoniano o relativista, es compatible con la posibilidad de mundos trasladados y mundos impulsados que son cualitativamente idénticos en términos de la distribución relativa de propiedades físicas. (G. W. Leibniz y S. Clarke, 1956)

- dirección o velocidad) a menos que se le aplique una fuerza.
2. La fuerza sobre un sistema es directamente proporcional a la masa del sistema por su aceleración.
 3. Si un sistema actúa con cierta fuerza sobre otro, el segundo actuará sobre el primero con una fuerza de la misma magnitud en dirección opuesta.

Para dar soporte a estas leyes se requiere una estructura matemática muy particular: La de un conjunto con la estructura de R^4 con una métrica, estructura afina y estructura topológica. Este conjunto es una unión de clases de equivalencia de puntos espaciales, bajo la relación de equivalencia de simultaneidad, cada una de las cuales tiene la estructura de R^3 y donde los elementos de esta clase de equivalencia tienen el tipo de orden de R^1 : un orden lineal denso sin extremos, que captura la estructura topológica del tiempo newtoniano (Friedman, 2014; Sklar, 1974; Nerlich, 1994; Earman, 1989; Maudlin, 2012).

Es ilustrativo considerar el experimento mental de la cubeta propuesto por Newton para defender la posición sustantivista (Earman, 1989, p. 24). Imaginemos una cubeta atada a una cuerda la cual se tuerce. A medida que la cuerda comienza a desenredarse la cubeta comienza a moverse, inicialmente rota solamente la cubeta, quedando el agua en la superficie en reposo respecto a la cubeta. Posteriormente el agua en la cubeta adquiere el estado de movimiento de su contenedor, su superficie se hace cóncava. Finalmente la cubeta deja de moverse pero el agua mantiene su estado de movimiento. ¿Respecto a qué podemos decir que está moviéndose el agua de tal forma que su superficie permanece cóncava? El relacionista debe poder explicar la concavidad del agua invocando sólo movimientos relativos, por lo que una hipótesis plausible en este contexto es que el movimiento del agua es respecto a la cubeta. Pero no puede ser meramente respecto a la cubeta, pues en un primer tiempo hay movimiento relativo de la cubeta respecto al agua y en ese caso la superficie del agua aún no era cóncava, en un segundo tiempo la cubeta y el agua tienen el mismo estado de movimiento pero la superficie del agua es cóncava y en un último tiempo el agua se mueve y la cubeta está en reposo en relación a ésta. Nótese que si la propuesta relacionista es correcta entonces decir que el agua se mueve relativamente a la cubeta y decir que el movimiento de la cubeta es relativo al agua es decir lo mismo. Lo único que cambia, para el relacionista, son las posiciones espaciales relativas entre los objetos (y sus partes). Pero claramente hay una diferencia observable que ésta descripción no acomoda. La respuesta de Newton es que el agua rota respecto al espacio absoluto. Puesto de manera más sutil: las leyes de la dinámica, que deben poder vindicar las propiedades físicas observables, requieren de un soporte estructural. El soporte mínimo, argumenta el sustantivista, es el espacio-tiempo y lo respalda mediante este tipo de escenarios.

En esta investigación no pienso adentrarme en esta discusión más allá de lo necesario para discutir mi problema. Basta decir por el momento que el relacionista tiene respuestas que ofrecer al sustantivista, si bien en este trabajo no exploro esa línea más a fondo. Por ahora asumiré para fines metodológicos el sustantivismo.

2. Espacios Newtonianos

A continuación voy a seguir de cerca las presentaciones de estos conceptos que pueden encontrarse en los trabajos de Russell (1903; 1927), Sklar (1974), Friedman (2014), Nerlich (1994) y Maudlin (2012).

Una manera de representarnos el universo bloque es como una serie de planos unos sobre otros, regiones del espacio en un instante o foliaciones temporales. Los elementos de un mismo plano son puntos, todos son tales que si un evento ocurre en alguno entonces cualquier evento que ocurra en otro es simultáneo con ese. Es decir, la relación de simultaneidad es una relación de equivalencia. Llamemos a esos planos, planos de hiper-simultaneidad. Podemos asignar a cada hiperplano de simultaneidad un único instante temporal. Si se impone sobre esa estructura euclidiana una estructura afina (Maudlin, 2012) que distinga líneas rectas de curvas podemos considerar una clase distinguida de líneas paralelas (pues hay muchas clases de líneas paralelas en esta estructura), cada una de las cuales intersecta uno y sólo un elemento de cada hiperplano de simultaneidad, podemos interpretar cada línea como fijando una posición absoluta en el plano.

En esa estructura:

1. El tiempo y el espacio son separables i.e. hay dos tipos de entidades fundamentales espacio-temporales, el tiempo y el espacio.
2. Las regiones del espacio persisten en el tiempo de manera endurantista (3D), estando multi-ubicadas en cada instante temporal.
3. El tiempo tiene la topología de la línea real.

Def.- Los espacios topológicos (X, J) y (Y, J^*) son **homeomorfos** si existen funciones inversas f y g tales que $f: X \rightarrow Y$ y $g: Y \rightarrow X$ tales que f y g son continuas. En ese caso f y g son **homeomorfismos** y f y g definen un homeomorfismo entre (X, J) y (Y, J^*) . (Mendelson, 1990) Por ejemplo el tiempo newtoniano y la línea real son estructuras homeomorfas i.e. existe una biyección que preserva las relaciones de orden y continuidad, es decir, son topológicamente equivalentes.

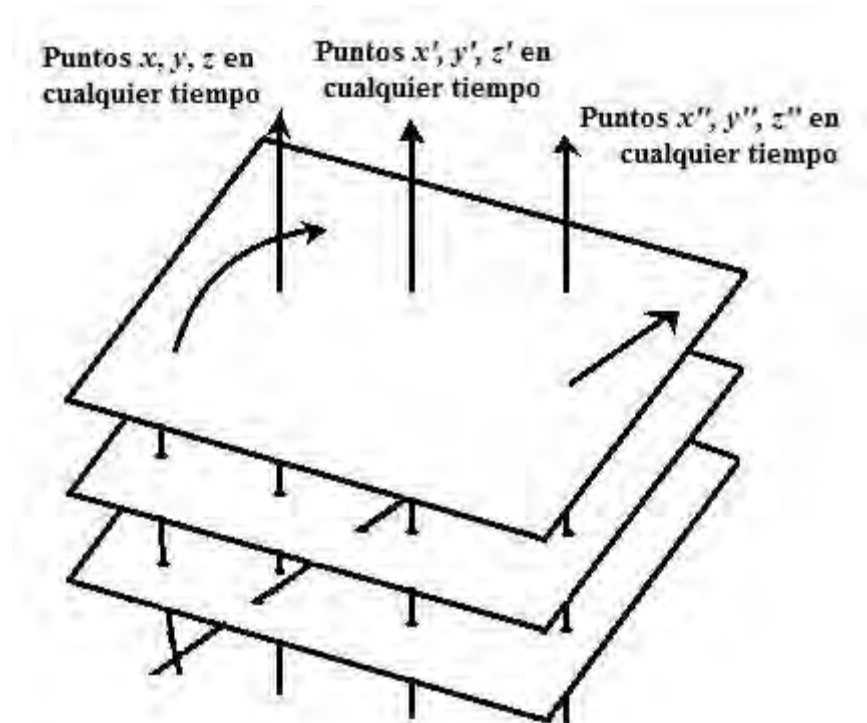
4. Hay una métrica temporal que es invariante ante isometrías:

Def.- Una isometría es una transformación (función f) definida sobre nuestro espacio métrico $f: E \rightarrow E$, tal que para cualesquiera puntos $a, b \in E$ es el caso que $d(a, b) = d(f(a), f(b))$. Intuitivamente es una transformación de ese espacio que preserva las relaciones de distancia entre los puntos del espacio. Ejemplos de isometrías son: rotaciones, traslaciones, e inversiones. Por ejemplo, tomemos un eje de coordenadas de dos dimensiones en un espacio euclidiano y rotémoslo 45 grados. Cualquier posible figura geométrica en ese plano preservará distancias bajo esa rotación.

5. Hay una métrica espacial que es invariante ante isometrías.³³
6. Entre cualesquiera dos puntos p y q , estén p y q en el mismo o diferente hiperplano de simultaneidad, existe una distancia entre ellos.
7. Es posible distinguir tres tipos de líneas, líneas que son paralelas respecto a las posiciones absolutas (reposos absolutos) y cada una empalma totalmente una posición en distintos tiempos, líneas rectas que están inclinadas respecto a esas (velocidades absolutas) y líneas que se curvan (aceleraciones absolutas).
8. Entre cualesquiera dos puntos espacio-temporales p y q , hay una distancia espacial euclidiana definida: $\Delta r(p, q) = [(x_2 - x_1)^2 + (z_2 - z_1)^2]^{1/2}$ y un intervalo temporal

³³“*Toda isometría es una transformación afín y toda transformación afín es una transformación topológica.*” (Maudlin, 2012, p. 8)

definido $\Delta t(p, q) = t_2 - t_1$. (Balashov, 2010)



En esencia, un espacio Newtoniano (Fig. 1)³⁴ es donde es posible distinguir objetos acelerados de objetos con movimiento rectilíneo uniforme y en donde es posible distinguir objetos que llevan una velocidad, de aquellos que están en reposo absoluto.

2. Espacios Galileanos

Un problema con la concepción newtoniana del espacio es que experimentalmente no es posible distinguir un marco de referencia en reposo absoluto de uno en movimiento rectilíneo uniforme a cierta velocidad absoluta. Las leyes de la física son invariantes galileanas: arrojarán los mismos resultados experimentales en cualesquiera dos marcos de referencia donde exista movimiento rectilíneo uniforme. Sobre este punto Galileo (Beltrán, 1995):

“Encerraos con un amigo en la cabina principal bajo la cubierta de un barco grande, y llevad con vosotros moscas, mariposas, y otros pequeños animales voladores... colgad una botella que se vacíe gota a gota en un amplio recipiente colocado por debajo de la misma... haced que el barco vaya con la velocidad que queráis, siempre que el movimiento sea uniforme y no haya

³⁴ Fig 1: Un espacio-tiempo newtoniano. Cada foliación espacio-temporal, marcada como “E3 Space”, por ser un espacio euclidiano de 3 dimensiones, es un hiperplano de simultaneidad donde cada punto en su superficie es simultáneo con cualquier otro punto en su superficie. La estructura topológica del tiempo es E1 o R1, porque es como una línea euclidiana que ordena a los eventos en simultáneos, anteriores o posteriores, para todo evento. Las líneas rectas son trayectorias de objetos espacio-temporales en el espacio-tiempo. En un espacio Newtoniano hay líneas rectas privilegiadas paralelas a E1 (tiempo) que marcan las posiciones absolutas. Los espacios Galileanos carecen de éstas, pues son estructura redundante que no juega ningún rol en la formulación de las leyes dinámicas de Newton.

fluctuaciones en un sentido u otro.... Las gotas caerán... en el recipiente inferior sin desviarse a la popa, aunque el barco haya avanzado mientras las gotas están en el aire... las mariposas y las moscas seguirán su vuelo por igual hacia cada lado, y no sucederá que se concentren en la popa, como si cansaran de seguir el curso del barco.”

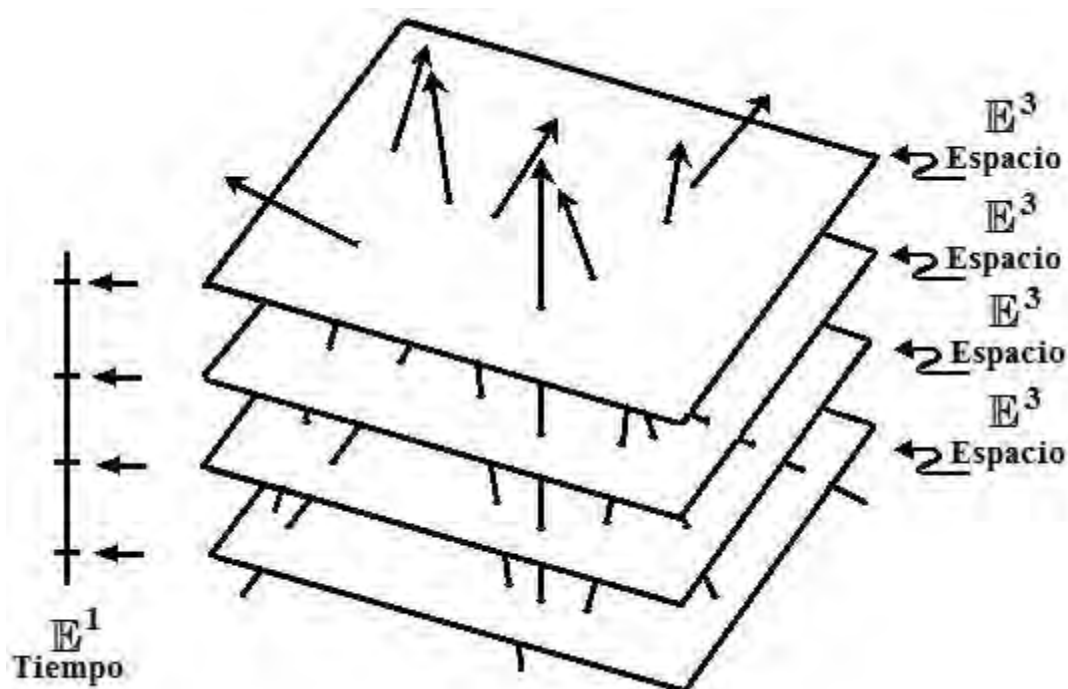
Eso quiere decir que la estructura del espacio-tiempo newtoniano es redundante respecto a lo que requieren las leyes de la mecánica newtoniana. Si eliminar esa estructura redundante nos deja con suficiente estructura espacio-temporal para salvar los fenómenos observables, entonces por un argumento tipo navaja de Occam, como bien señala Shamik Dasgupta (2009; 2015) es racional no presuponer esa estructura adicional en nuestras mejores teorías científicas.³⁵

No entraré en demasiado detalle en torno a los espacios galileanos, basta decir para fines de esta exposición que en ellos no hay una colección de líneas que atraviesen los hiperplanos de simultaneidad que sean distinguidas respecto a posición. Las distancias espaciales sólo están definidas de manera invariante para puntos sobre un mismo hiperplano de simultaneidad. Pero no tiene sentido preguntarse por la distancia entre dos puntos espaciales en distintos tiempos independientemente de un marco de referencia. En este espacio *prima facie* todavía es posible distinguir líneas rectas de líneas curvas y por ende contiene justo suficiente estructura para dar sentido a las leyes de la mecánica newtoniana, pero no para hablar de posiciones absolutas o velocidades absolutas excepto desde algún marco de referencia. Retiene sin embargo suficiente estructura para caracterizar aceleraciones absolutas y por ende para dar sentido a los efectos observables de la aceleración.

Para cualquier relación R de equivalencia sobre un conjunto X , el conjunto de sus clases de equivalencia será una partición de X . Como las clases de equivalencia son conjuntos, entonces en principio es posible formar su unión, pero la unión de los elementos de una partición de un conjunto X es X . Luego, sea S el conjunto de las clases de equivalencia bajo la relación de equivalencia “simultaneo con”, $x \in US$ si y sólo si existe un y tal que $y \in S$ y $x \in y$, pero (por **partición**) si x pertenece a y y x pertenece a $z \in S$, entonces $y = z$. Por lo tanto, cada punto pertenece a uno y sólo un hiperplano de simultaneidad y la unión de todos estos constituye el espacio-tiempo galileano. El universo bloque galileano será entonces, en discurso teórico-conjuntista, la unión de todas las clases de equivalencia generadas por la relación “*simultaneo con*”. Dada esta posible construcción los hiperplanos de simultaneidad pueden ser considerados los tiempos en esta estructura, al poseer todas las características requeridas, sin necesidad de postular una clase de tiempos independiente.

Los objetos que persisten en esos espacios todavía podrían ser identificados con trayectorias (4D*worms*), con intersecciones de trayectorias con hiperplanos de simultaneidad (4D*stages*) o con objetos *del todo presentes* (3D*dismo*) en cada instante ade alguna trayectoria, teniendo propiedades relativizadas a los hiperplanos.

³⁵ Como señalo en el capítulo V, en la vecindad del argumento sobre redundancia podemos considerar que aquellos predicados y relaciones espacio-temporales que sean suficientes para recuperar las leyes de la física y, por ende, salvar las apariencias en ese dominio, sean las propiedades y relaciones metafísicamente fundamentales.



3. Espacios Minkowski

En la última sección de este capítulo introduzco los espacios minkowski. La constancia de la velocidad de la luz en las ecuaciones de Maxwell requiere revisiones fundamentales a la geometría del espacio-tiempo galileano. Estos espacios tienen estructura topológica, afina y algo así como una estructura métrica. En ellos se recupera todo lo que experimentalmente es recuperable en espacios galileanos y aún es posible, como es requerido, distinguir trayectorias curvas de rectas. Sin embargo el tiempo se relativiza, como había ocurrido antes con el espacio. Ya no hay posiciones temporales absolutas. La noción de simultaneidad como invariante en todo marco de referencia se pierde.

Para fines ilustrativos considérese el siguiente escenario discutido por Maudlin (2012, p. 68):

“Imaginemos que hay dos focos en rápido movimiento relativo que pasan el uno al lado del otro. Mientras pasa el uno al lado del otro ambos despiden luz. Es un hecho empíricamente verificable que que la luz de ambos alcanzaran a un mismo observador donde sea en el universo de manera simultánea. Luego las trayectorias de la luz, no dependen de lo que la fuente estaba haciendo cuando la luz fue emitida.”

Las velocidades relativas de objetos materiales suelen ser mayores o menores dependiendo de lo que la fuente estaba haciendo en relación al observador e.g. moviéndose hacia este o alejándose, pero no así en el caso de la luz. El punto que Maudlin busca ilustrar es que la geometría del espacio-tiempo por sí sola determina las trayectorias de los rayos de luz. Esto quiere decir que es parte de la geometría minkowski que desde cualquier punto del espacio-tiempo minkowski hay una estructura que corresponde a la trayectoria que tomaría la luz si

arribara o fuese emitida desde ese punto: la estructura de cono de luz. Esa estructura determina para cualquier punto una región que está *space-like* conectada con ese punto. El universo bloque en principio puede ser dividido en una infinidad de hiperplanos espacio-temporales desde algún marco de referencia, en algunos de los cuales dos eventos son simultáneos, en otros uno es anterior al otro y en otros posterior: la decisión en torno a si dos eventos son simultáneos es totalmente convencional, siempre y cuando se respete la restricción de que su separación sea *space-like*³⁶, en tanto los marcos de referencia no tienen *prima facie* una significatividad física.

Ninguna de estas divisiones en hiperplanos es físicamente privilegiada y plausiblemente tampoco es metafísicamente privilegiada. De hecho es empleando una argumentación en ese espíritu como Hilary Putnam (1967) motivó su famoso argumento en favor de la realidad de todos los eventos en el universo bloque relativista. A grandes rasgos el argumento de Putnam es que dado que en el espacio-tiempo minkowski los eventos presentes desde algún marco de referencia pueden traslaparse con los eventos presentes desde otro marco de referencia i.e. E es presente con E* que es presente con E**, pero E no es presente con E** entonces sí lo presente es real y todo lo que es presente con algo presente es real, entonces todo evento, al ser presente con algo presente, debe ser considerado real.

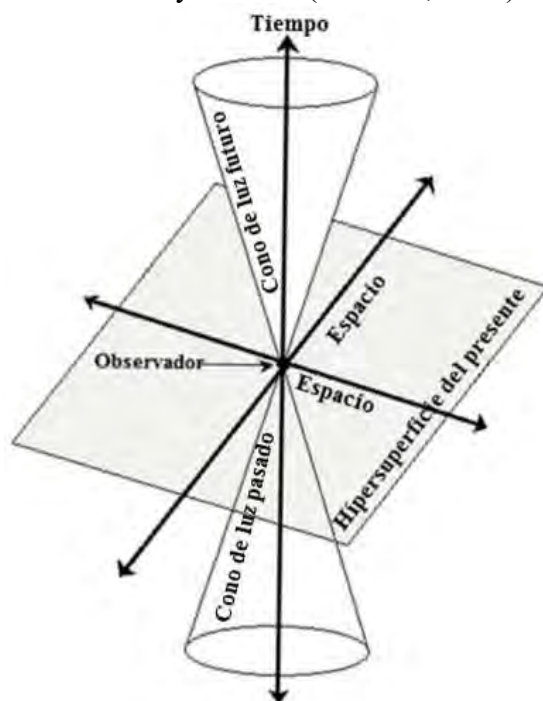
En un espacio-tiempo minkowski, en cada punto de ese espacio (evento) hay una estructura de cono de luz con las siguientes características:

1. Hay ciertos conos distinguidos en este tipo de estructura tetradimensional: las posibles trayectorias de la luz las cuales son invariantes en cualquier marco de referencia.
2. Para cada punto p en el espacio minkowski existe una correspondiente estructura de cono de luz, este cono genera tres regiones disjuntas excepto por p.
3. Los puntos al interior de la región futura del cono son el futuro absoluto de p y se dice que están *time-like* separados de p. Es la región del espacio-tiempo que puede ser causalmente afectada por p al ser alcanzables en una distancia menor a la de la luz.
4. Los puntos al interior de la región pasada del cono de luz son designados el pasado absoluto de p y también están *time-like* separados, son aquellos que por las razones aducidas arriba pueden causalmente afectar p.
5. Los puntos sobre las trayectorias de la luz están *light-like* separados y son aquellos que están separados a una distancia igual a la que recorre la luz en el tiempo que los separa.
6. El resto de los puntos están en el *absolute elsewhere* y nunca pueden ser causalmente afectados por p al estar más lejos (en el 4D block) que la distancia que la luz puede recorrer para afectarlos. Estas regiones también son invariantes desde cualquier marco de referencia.
7. (i) Para cualesquiera dos puntos espacio-temporales p y q, hay un intervalo relativístico definido $I(p, q)$; (ii) para cualquier línea espacio-temporal, hay un hecho acerca de si la trayectoria de ésta es curva o recta; (iii) para cualquier superficie acrónica en el espacio-tiempo, hay un hecho acerca de si ésta es plana o curva. (Balashov, 2010)
8. Las transformaciones que dan soporte a la equivalencia de dos marcos de referencia inerciales respecto a las ecuaciones dinámicas son las transformaciones de Lorentz.
9. La expresión “velocidad de la luz” es un tanto engañosa. La luz tiene una velocidad desde algún marco de referencia inercial, pero el espacio-tiempo minkowski como el galileano

³⁶Lo defino más abajo.

tampoco tiene posiciones absolutas, por lo que no hay una noción absoluta de cambio de posición con respecto al tiempo. Es más preciso hablar de la estructura de las posibles trayectorias de luz, que si es una propiedad invariante en ese espacio-tiempo, análogamente es más preciso hablar de las trayectorias rectas o curvas *time-like* de un objeto material en el espacio-tiempo, que también son invariantes en esa estructura e.g. una trayectoria acelerada es curva desde cualquier marco de referencia en el espacio-tiempo minkowski.

10. **Ley de la Luz:** La trayectoria de la luz, emitida desde algún evento en el vacío, es una línea recta en el cono de luz futuro del evento. (Maudlin, 2012)
11. **Hipótesis del Reloj:** La cantidad de tiempo que un reloj preciso marca entre dos eventos es proporcional al intervalo en la trayectoria de esos eventos i.e. los relojes miden los intervalos entre puntos de sus trayectorias. (Maudlin, 2012)



La “distancia métrica” del espacio-tiempo minkowski (Fig. 3)³⁷ es el intervalo I , entre cualesquiera puntos p y q , que involucra distancias espaciales y temporales. No cumple con todas

³⁷ Fig 3. Un cono de luz, definido en cada punto (evento) de un espacio-tiempo minkowski. El cono de luz divide las regiones espacio-temporales en 5 regiones topológicas disjuntas salvo p , el punto de origen del cono de luz. En el pasado y futuro del cono de luz están las zonas con una separación “*time-like*”. Las zonas fuera del cono se dice que están separadas “*space-like*” del evento (punto) origen del cono. Cualesquiera dos puntos sobre el cono de luz se dice que están “*light-like*” separados. La región en el cono de luz pasado de p es aquella que tiene una influencia causal en p y la región en el cono de luz futuro de p , es aquella que es causalmente afectada por p . La trayectoria de un objeto e.g. una partícula o persona, en el espacio-tiempo Minkowski se representa como una línea que está siempre confinada al interior del cono de luz, la línea de mundo o *world-line*: sería como el 4D WORM arriba discutido. Salir del cono de luz o estar en su superficie implicaría, en el primer caso, que se rebasó la velocidad de la luz, una imposibilidad en el espacio-tiempo minkowski o en el segundo caso, que se es un fotón, y se viaja exactamente a la velocidad de la luz.

las propiedades de la función de distancia en espacios métricos pero se le asemeja bastante y es un invariante de esa estructura. Las distancias espaciales, en hiperplanos relativos a un marco de referencia y las distancias temporales no son invariantes y dependiendo del marco de referencia son más pequeñas o grandes, etc. Ello da lugar a los famosos efectos de dilatación/encogimiento espacio-temporal. Ésta es una característica de la geometría del espacio-tiempo minkowski (Maudlin, 2012) y no tiene que ver con propiedades de la materia³⁸.

Es posible recuperar una noción de hipersuperficie *space-like* en esas estructuras. (Calosi y Fano, 2015)

Def.- S es una superficie de Cauchy en un espacio-tiempo Minkowski S es **maximal**: cubre toda una región tridimensional del espacio-tiempo de cuatro dimensiones y cualesquiera puntos sobre esa superficie tienen un intervalo *space-like* entre ellos.

Def.- $D+(S) = \{p \in M \mid \text{cada curva dirigida al pasado que no es } \textit{space-like} \text{ intersecta } S\}$

Def.- $D-(S) = \{p \in M \mid \text{cada curva dirigida al futuro que no es } \textit{space-like} \text{ intersecta } S\}$

Donde M es el espacio-tiempo minkowski. Las superficies de Cauchy en el espacio-tiempo minkowski separan a los eventos en aquellos que están en el futuro absoluto de la misma $D+(S)$, en el pasado absoluto de la misma $D-(S)$ y sobre la misma. Por lo tanto $D+(S) \cup D-(S) = M$.³⁹

Esta definición será muy importante en los capítulos siguientes.

En conexión con los espacios minkowski es importante regresar al concepto de marco de referencia, que en el contexto de la teoría de la relatividad nos permite recuperar algunas distinciones que no son parte de la estructura fundamental de esos espacios. Sobre este punto cito a Gilmore (2008):

“Otra noción que es útil en conexión con el espacio-tiempo minkowski es la de marco inercial de referencia. Intuitivamente, un marco inercial de referencia está dado por los objetos no acelerados que están en reposo mutuo, más formalmente puede definirse como un conjunto maximal de líneas rectas paralelas time-like. Para cualesquiera puntos p y q en un marco de referencia F en el espacio-tiempo minkowski, existe un hecho acerca del número de minutos para los cuales p precede a q relativo a F (y por ende hay un hecho acerca de si p y q son simultáneos relativo a F) y existe un hecho acerca de las distancias espaciales entre p y q relativo a F (aun si no son simultáneos) y los hechos acerca de estas distancias son gobernados por la geometría euclidiana. Cada marco de referencia, por lo tanto, está asociado con su propia manera de dividir el espacio-tiempo minkowski en hiperplanos de simultaneidad relativa disjuntos. Aunque las distancias y duraciones entre puntos varían entre marcos de referencia el intervalo espacio-temporal no. Si F es un marco inercial de referencia, p y q son puntos espacio-temporales, s es la distancia en pies entre p y q relativo a F , t es la duración en minutos entre p y q relativo a F , y c es la velocidad de la luz en pies por minutos, el intervalo I entre p y q está

³⁸De hecho el que la estructura geométrica del espacio-tiempo pueda tener esos efectos sobre la materia es parte de lo argumenta Graham Nerlich para sustentar el sustantivismo. Véase su *The Shape of Space*.

³⁹Este resultado no vale en un espacio-tiempo de Gödel en donde existen curvas cerradas *time-like* que imposibilitan distinguir el pasado del futuro. Gödel demostró que este modelo es consistente con las ecuaciones de Einstein en relatividad general. Véase Lockwood (2005).

dado por la siguiente fórmula $I^2 = S^2 - (c^2 t^2)$. Los puntos p y q están space-like separados sólo en caso de que I^2 sea positivo. Su valor es constante en todos los marcos de referencia.”⁴⁰

Como resultado de todas estas propiedades podemos notar que el espacio minkowski es fundamentalmente diferente al espacio newtoniano en al menos un aspecto fundamental. El espacio y el tiempo no son *prima facie* dimensiones separables sino están unidos en la métrica del intervalo. Las distancias espaciales o temporales no son invariantes en todos los marcos de referencia, mientras que los intervalos espacio-temporales sí. Es claro que esto requiere reformular conceptos como “parte temporal”, “gusano espacio-temporal” y “propiedad en tiempo” así como investigar si las posiciones y argumentos esbozados en el debate tradicional pueden siquiera formularse y, de poderse esto último, si alguna sale favorecida respecto a otras.

⁴⁰La traducción es mía.

Capítulo III

Mereología, Ubicación y Persistencia

Abstract: Con el objetivo de dar una caracterización precisa del debate sobre persistencia se introducen herramientas conceptuales apropiadas i.e. axiomas de mereología y ubicación. Con la finalidad de vincular estas herramientas con los problemas filosóficos discutidos en esta tesis se plantean algunas distinciones conceptuales presentes en la literatura; se modifican las posiciones en virtud de estas nociones en las estructuras espacio-temporales de fondo y se discuten a lo largo algunas controversias presentes en la discusión contemporánea sobre el tema.

-

1. Mereología

En virtud de la introducción, en el capítulo anterior, de diversas definiciones acerca de estructura espacio-temporal, estamos casi en posición de adaptar esas definiciones a esos espacios. Dado que el debate entre los diferentes modelos de la persistencia es en parte un debate acerca de objetos materiales y sus partes, es indispensable con la finalidad de hacer distinciones finas que permitan ofrecer una solución, el contar con una teoría mereológica de fondo. La axiomatización estándar de la teoría del todo y la parte se conoce como mereología clásica, algunos de sus axiomas son los siguientes:

1.1 Axiomas de Mereología Clásica (Varzi, 2016)

Reflexividad: $\forall x(Pxx)$

Todo objeto es parte de sí mismo.

Transitividad: $\forall x\forall y\forall z(Pxy \& Pyz) \rightarrow Pxz$

Si x es parte de y y y es parte de z luego x es parte de z.

Antisimetría: $\forall x\forall y(Pxy \& Pyx) \rightarrow x=y$

Si x es parte de y y y es parte de x entonces x es idéntico a y.

Los axiomas anteriores pretenden capturar el núcleo esencial de la relación de parte. Si bien inclusive sobre estos axiomas se han avanzado algunas objeciones en relación con ese objetivo.

Igualdad: $Ixy = \text{def. } Pxy \& Pyx$

Esto se sigue directamente de iii) y puede parecer redundante. Varzi (2016) lo introduce como definición de la identidad para conectar las nociones en la lógica de primer orden subyacente con la relación en mereología.

Parte Propia: $PPxy = \text{def. } Pxy \& \neg(x=y)$

x es parte propia de y si y solo si x es parte de y entonces x es distinto de y.

Extensión Propia: $EPxy = \text{def. } Pyx \& \neg(x=y)$

x es una extensión propia de y syss y es parte de x y x es distinto de y.

Traslape: $T_{xy} = \text{def. } \exists z (P_{zx} \ \& \ P_{zy})$

x traslapa y syss existe un z tal que z es parte de x y z es parte de y.

Sublape: $U_{xy} = \text{def. } \exists z (P_{xz} \ \& \ P_{yz})$

x sublapa y syss existe un z tal que z es parte de x y y es parte de z.

Estos axiomas forman parte de lo que podríamos llamar el núcleo de la mereología, si bien no son suficientes por sí mismos para caracterizar la mereología clásica. Son suficientes para inducir un orden parcial en un dominio de objetos que obedezcan esa relación todo-parte. Sin embargo hacen falta también axiomas de suplementación para tener una teoría más robusta que garantice extensionalidad, así como axiomas para caracterizar las operaciones booleanas sobre los objetos en el dominio: productos y sumas. La mereología clásica contiene la cerradura bajo sumas y productos finitos e infinitos, así como sumas irrestrictas de cualesquiera objetos bajo alguna propiedad expresada por una fórmula en el metalenguaje de la teoría:

Suplementación Fuerte: $\neg P_{yx} \rightarrow \exists z (P_{zy} \ \& \ \neg O_{zx})$

Extensionalidad: $(\exists z PP_{zx} \vee \exists z PP_{zy}) \rightarrow (x=y \leftrightarrow \forall z (PP_{zx} \leftrightarrow PP_{zy}))^{41}$

Suma: $S_{zxy} = \text{def. } \forall w (O_{zw} \leftrightarrow (O_{wx} \vee O_{wy}))$

Producto: $M_{zxy} = \text{def. } \forall w (P_{zw} \leftrightarrow (P_{wx} \vee P_{wy}))$

Suma Generalizada: $(\exists w \phi_w \ \& \ \forall w (\phi_w \rightarrow \psi_w)) \rightarrow \exists z S_{z\phi_w}^{42}$

Producto Generalizado: $(\exists w \phi_w \ \& \ \forall w (\phi_w \rightarrow \psi_w)) \rightarrow \exists z R_{z\phi_w}$

La mereología clásica está también comprometida con la existencia de un objeto total: la suma mereológica de cualesquiera objetos del dominio que cumplen con la condición de ser idénticos consigo mismos i.e todos, cuya existencia se sigue de la existencia de sumas irrestrictas. Cualquier otro objeto en el dominio es parte propia del objeto total. Por extensionalidad, la suma irrestricta de todos los objetos que cumplen la condición de ser idénticos consigo mismos es única.

Suma Irrestricta: $\exists w \phi_w \rightarrow \exists z S_{z\phi_w}$

Suma General: $\sigma_x \phi_x = \text{df } \iota z S_{z\phi_w} S^{43}$

Suma Irrestricta Única: $\exists x \phi_x \rightarrow \exists z (z = \sigma_x \phi_x)$

Otras teorías mereológicas (Gilmore, 2014) rechazan la existencia de un objeto maximal [*junk*], otras postulan la existencia de átomos mereológicos: objetos que no tienen partes propias;

⁴¹Este axioma pretende capturar extensionalidad en términos de partes propias i.e. para todos aquellos objetos que no son átomos mereológicos.

⁴²Con ϕ una fbf en un lenguaje de primer orden.

⁴³Con “ ι ” como un operador de descripción definida.

otras niegan la existencia de átomos mereológicos, dando cabida a objetos gunky, mientras que otras aceptan la posibilidad de objetos mereologicamente coincidentes i.e. que comparten todas sus partes.

Simplicidad: $S(x) =df \neg \exists y PP(y, x)$

Complejidad: $C(x) =df \neg S(x)$

Gunk: $G(x) =df \forall y [P(y, x) \rightarrow C(y)]$

Coincidencia: $CO(x, y) =df \forall z [O(x, z) \leftrightarrow O(y, z)]$

Junk: $\exists y PPxy$.

Análogamente a como ocurre en ZFC una axiomatización de la mereología más robusta contiene axiomas que afirman la existencia de algún objeto condicional a la existencia de otros. Si bien en ZFC el objetivo de una axiomatización de la teoría de conjuntos es generar objetos que permiten la construcción de entidades matemáticas como los números naturales, los reales, las variedades topológicas y demás (Tiles, 1989), en mereología el objetivo filosófico más recurrente ha sido la capturar las propiedades metafísicas de la relación todo-parte de manera rigurosa con fines de investigar disputas ontológicas como si cualesquiera objetos tienen una suma o sólo hay simples mereológicos. Es por ello que diferentes filósofos aceptarían diferentes axiomas de suplementación cuando la mereología se interpreta como una teoría acerca del mundo.

Los axiomas que acomodan la posibilidad de *gunk* y *junk*, además de que pueden formularse de manera consistente con el núcleo mereológico, están respaldados por intuiciones modales acerca de qué es metafísicamente posible. **Gunk** por ejemplo permite capturar la intuición de que los objetos materiales podrían seguirse descomponiendo indefinidamente en partes propias. Como argumenta Schaffer (2003) parece que la historia de la física muestra, a la fecha, que cualquier candidato para ser un átomo sin estructura interna termina siendo revelado como compuesto por constituyentes estructurados más pequeños. Por otro lado **Junk** busca acomodar la intuición de que el universo podría ser infinitamente ascendente en cuanto estructura mereológica. Quizá el universo no es sino parte de otro universo que a su vez lo contiene y éste a su vez de otro y así, ad infinitum. Un tipo de estructura similar son los ordinales de Von Neumann los cuales están bien ordenados (ergo parcialmente ordenados) por la pertenencia y para cualquier ordinal es el caso que hay un ordinal sucesor que lo contiene. La suposición de que hay un conjunto de todos los ordinales lleva a la paradoja de Burali-Forti y es prima facie lógicamente contradictorio. En principio no es claro que los objetos físicos no pudieran tener una estructura análoga a la de los ordinales de Von Neumann bajo la relación de parte.

Respecto a las fusiones (sumas) mereológicas y el axioma de que hay un objeto universal, existe una posición metafísica llamada universalismo que sostiene que cualesquiera objetos materiales tienen una suma, por ejemplo Putin+Obama, que traslapa todo lo que es parte de Putin y Obama. Además, según esta posición, existe un objeto maximal concreto que contiene a Putin y Obama (o cualesquiera objetos materiales) como partes propias y que a su vez no es parte propia de nada.

El argumento de la vaguedad de Sider, esbozado en el capítulo I, pretende demostrar la

necesidad del universalismo mereológico por un lado y de manera más robusta la necesidad del universalismo diacrónico i.e. la tesis de que cualesquiera objetos materiales en distintos tiempos tienen una suma y que para cualquier intervalo temporal, sin importar cuán pequeño, si existe un objeto que empalma temporalmente ese intervalo entonces existe una parte propia del objeto que ocupa exactamente ese intervalo hasta el caso límite de los instantes temporales. Otros sostienen que sólo hay objetos simples, que son átomos mereológicos y que en ninguna circunstancia tienen una suma. Esta posición se denomina nihilismo mereológico. Quienes rechazan el universalismo mereológico y el nihilismo suelen pensar que existe una respuesta interesante a la pregunta de composición especial (Van Inwagen, 1990): ¿en qué circunstancias los objetos mereológicos tienen una suma? La respuesta en este caso no puede ser: en toda circunstancia o en ninguna, debe ser algo intermedio en virtud de la naturaleza del mundo.

Entre los axiomas mereológicos arriba presentados hay varios que resultan ser lógicamente independientes del núcleo mereológico, mientras que otros son deducibles de la conjunción de otros axiomas. Es posible generar muchas teorías de mereología, algunas de las cuales serán sub-teorías de otras y algunas de las cuales serán incompatibles con otras (Simons, 1987). Esto muestra que la relación “parte de”, aun cuando se interpreta de una manera precisa, distanciada de usos coloquiales, no acarrea tantos compromisos metafísicos como para seleccionar una única teoría mereológica como la metafísicamente fundamental. Al menos en ausencia de otras consideraciones filosóficas.

Podemos entonces plantear las siguientes preguntas: ¿Son las posibilidades mereológicas que representan estos modelos, genuinas posibilidades metafísicas? Si hay un modelo en mereología que capture los auténticos hechos metafísicos, ¿qué tipo de razones tendríamos para creerlo? En la literatura, el tipo de consideraciones que suelen aducirse tienen que ver con la capacidad de diferentes teorías mereológicas para resolver varios acertijos filosóficos y en ese sentido la estrategia que suele adoptarse para favorecer alguna posición es similar a las estrategias que se adoptan en el debate sobre la persistencia. Esto no es sorprendente en la medida en que los modelos de persistencia suelen incluir un fuerte elemento de ideología mereológica⁴⁴.

2. Ubicación

Entendemos por ubicación la noción intuitiva de ocupar alguna región espacio-temporal. Relaciones de ubicación son por ejemplo la relación que tiene mi teclado con parte de mi escritorio; la relación que yo tengo en este momento con mi departamento; la relación que tiene un vehículo con los distintos puntos del camino que atraviesa en distintos tiempos, etc. Habíamos dicho en el capítulo I que los diferentes modelos de persistencia arrojan diferentes respuestas respecto a la ubicación de los objetos espacio-temporales. Esa noción de ubicación espacio-temporal para objetos persistentes, entonces, requiere una relación entre objetos materiales y regiones espacio-temporales y en ese sentido es cuando menos conceptualmente diferente de la relación de ubicación mereológica que existe entre el teclado y el escritorio, así como el vehículo y el camino. Recuérdese que estamos por el momento presuponiendo la verdad del dualismo sustantival.

⁴⁴Más adelante, en el capítulo V, argumento que además de su capacidad de resolver acertijos existen otros criterios de elección racional de teorías, a la luz de ciertos presupuestos naturalistas, que favorecen ciertos modelos de persistencia y sus mereologías asociadas.

Algunas características plausibles de la relación de ubicación pueden capturarse de manera más precisa mediante las siguientes propiedades (Gilmore, 2014):

Ubicación Débil: $UD(x, y) =_{\text{def}} : \exists z[L(x, z) \ \& \ O(z, y)]$ 'x está débilmente ubicado en y' significa que x tiene una ubicación exacta que se traslapa con y.

Exactitud: $\forall x \forall y [UD(x, y) \rightarrow \exists z L(x, z)]$ Cualesquiera cosas son tales que si una está débilmente ubicada en la otra entonces esa está exactamente ubicada en alguna región.

También podemos tomar ubicación débil como primitivo y definir ubicación exacta en sus términos.

Ubicación Exacta: $L(x, y) =_{\text{def}} : \exists z [UD(x, z) \leftrightarrow O(y, z)]$ x está exactamente localizada en y significa que x está débilmente ubicada en todas y solo aquellas entidades que se traslapan con y.

Cuasi-funcionalidad: $\forall x \forall y \forall z [(L(x, y) \ \& \ L(x, z)) \rightarrow CO(y, z)]$ Nada tiene dos ubicaciones exactas diferentes, a menos que aquellas ubicaciones coincidan mereológicamente una con otra.

Siguiendo a Gilmore (2006) decimos que x está exactamente ubicado en una región R si tiene la misma forma y tamaño que R así como las mismas relaciones espacio-temporales con otras cosas que R. Decimos que x está débilmente ubicado en una región R si R no está del todo libre de x. Entonces x ocupa débilmente aquellas regiones que ocupa exactamente así como aquellas super-regiones que contienen a x y aquellas subregiones que se traslapan con aquellas regiones que x ocupa exactamente. El que Moby Dick ocupe una región espacial con forma de ballena y con el tamaño de una ballena en un tiempo t es un ejemplo de ubicación exacta. Moby Dick también ocupa débilmente super-regiones como el océano de la Tierra en el mundo posible w donde Moby Dick existe y Ahab ocupa débilmente una subregión de la región R que Moby Dick exactamente ocupa.

Estamos en posición de problematizar la tesis de la armonía mereológica, de aquí en adelante **MH** (Schaffer, 2009), la cual consiste en que cualesquiera propiedades mereológicas de los objetos materiales y sus relaciones con otros objetos con alguna ubicación, perfectamente armonizan con las de las regiones espacio-temporales que ocupan (Gilmore, 2014). Saucedo (2011) argumenta en *Parthood and Location* que reflexionar en torno a las propiedades modales de la relación todo-parte y la relación de ocupación entre objetos materiales y el espacio-tiempo nos lleva a considerar varios supuestos contraejemplos a **MH**. La pregunta central tiene que ver con la conexión entre las propiedades mereológicas de los objetos materiales y el espacio-tiempo que ocupan, así como su fuerza modal: ¿es necesaria? ¿Es contingente? La tesis de la armonía mereológica requiere, piensa él, de la necesidad de las siguientes proposiciones (Saucedo, 2011, p. 227):

1. x es mereológicamente simple syss la ubicación de x es mereológicamente simple.
2. x es mereológicamente complejo syss la ubicación de x es mereológicamente compleja.⁴⁵
3. x tiene exactamente n partes syss la ubicación de x tiene exactamente n subregiones.
4. x es gunky syss la ubicación de x es gunky.
5. x es parte de y syss la ubicación de x es una subregión de la ubicación de y.

⁴⁵Saucedo (2011) señala que esta manera de presentarlo es redundante pero hace más transparente las consecuencias metafísicas.

6. x es parte propia de y syss la ubicación de x es una subregión propia de la ubicación de y .
7. x y y se traslapan syss la ubicación de x y la ubicación de y se traslapan.
8. Las x s componen y syss las ubicaciones de las x s componen las ubicaciones de las y s.

Para ilustrar algunos de los posibles casos que podrían falsificar estos principios consideremos un par de escenarios exóticos:

1. Supongamos por ejemplo que sólo el espacio-tiempo puede instanciar infinitos actuales i.e. infinitos que se manifiestan como una totalidad de manera concreta. Pero entonces sería falso que cualquier objeto que ocupe una región R del espacio-tiempo con la cardinalidad del continuo de puntos, donde cada punto es una subregión, tendría tantas partes como hay números reales.
2. Supongamos que los simples extendidos son posibles i.e. objetos mereologicamente indivisibles pero que ocupan una región extendida R . Estos objetos son prima facie posibles. Pero si esto es así, entonces no es el caso que cualquier objeto que ocupa una región espacio-temporal divisible en subregiones y puntos, es a su vez divisible en subregiones y puntos.

Podríamos seguir construyendo escenarios que a primera vista no son incoherentes pero entran en conflicto con i) – viii) necesarios para la verdad de la tesis de armonía mereológica. Pero si estos escenarios son de hecho metafísicamente posibles eso nos obliga a revisar algunos de los supuestos que hay detrás de los modelos tradicionales de persistencia.

3. En Defensa de MH

3.1 El Argumento Modal en Contra de MH

El argumento de Saucedo (2011) en favor de la tesis de que los objetos materiales y el espacio-tiempo que ocupan tienen posibilidades metafísicas *de re* distintas es en esencia un argumento de concebibilidad: si p es concebible, p es posible. Estos argumentos son notablemente débiles en la medida en que, por un lado, dan un peso desmedido a nuestras capacidades cognitivas para poder acceder el reino de posibilidades metafísicas y por otro lado, es plausible que las imposibilidades sean concebibles (Berto, 2014).

Por lo mismo Saucedo ha buscado fortalecer su posición empleando una noción rigurosa de recombinación en el contexto de lenguajes formales con predicados que capturen ideología fundamental. Estos son algunos de sus presupuestos:

(P1) Es posible que haya dos objetos materiales y dos regiones, tal que uno de esos objetos materiales está ubicado en una de esas regiones y el otro objeto material esté ubicado en la otra región.

(P2) Es posible que haya dos objetos materiales, uno de los cuales es parte del otro y dos regiones, una de las cuales no es subregión de la otra.

(P3) Es posible que haya dos objetos materiales, unos de los cuales no es parte del otro y dos regiones, una de las cuales es una subregión propia de la otra.

(F) La relación de parte y la relación de ubicación son ambas fundamentales.

(M) Alguna versión del principio de recombinación (Lewis, 1986) es suficiente para garantizar la posibilidad metafísica.

La estrategia de Saucedo a grandes rasgos involucra tomar proposiciones como **(P1-P3)**, sustituir individuos y relaciones por variables, excepto cuando aquellas expresan propiedades fundamentales y argumentar que en virtud de la posibilidad metafísica de **(P1-P3)** así como **(M)** y **(F)** alguna recombinación inconsistente con **MH** es metafísicamente posible.

Si bien no es posible en esta investigación hacerle justicia a la sutil argumentación de Saucedo, es posible plantear algunas objeciones generales a esta metodología⁴⁶.

En primer lugar, si bien es un lugar común en la literatura que las posibilidades metafísicas exceden las posibilidades físicas, pero son menos generales que las posibilidades lógicas o conceptuales (Vadya, 2015) no es en realidad claro qué son las posibilidades metafísicas o siquiera si hay tal cosa. Spinoza (Newlands, 2013) famosamente (y coherentemente creo) rechaza la tesis de que existen otras posibilidades metafísicas distintas de la actualidad. No sostengo aquí nada por el estilo, menciono este punto simplemente para ilustrar que más allá de nuestras capacidades de representación, construcción de teorías y sistemas formales no tenemos otro acceso privilegiado a la estructura modal fundamental de la realidad, de haber tal cosa.⁴⁷ Pasar de posibilidad conceptual a posibilidad metafísica, aun en la presencia de un sistema rigurosamente construido, es ilegítimo. Después de todo hay varias maneras de sistematizar tanto la noción de parte (Simons, 1986), como la noción de ubicación (Parsons, 2005; Calosi y Fano, 2015) como toda una serie de nociones formales, inclusive el análisis (Robinson, 1966).

Ahora, la manera en que Saucedo determina la naturaleza de las relaciones de parte y ubicación es empleando intuiciones modales en el marco de un sistema formal que pretende rigorizar esas intuiciones. Este puede ser un procedimiento completamente legítimo para explorar construcciones formales y sus propiedades pero, por un lado, pide la cuestión respecto a si esa ideología es fundamental en vez de reducible a alguna otra y, por otro lado, no es claro que justifica su preferencia por nociones de parte y ubicación entendidas a la luz de cierta sistematización y no de otra⁴⁸. Si el principio de recombinación aplicado a proposiciones lógicas con variables de predicado fundamentales tiene como soporte solamente intuiciones modales respecto a cómo mejor entender esos predicados en el contexto de ciertos sistemas, su soporte es bastante endeble.

Una alternativa para descubrir si alguna ideología es fundamental es investigar si las estructuras que introduce son totalmente redundantes respecto a la estructura que buscan modelar, en este caso el espacio-tiempo y sus habitantes. Esto es compatible con la posibilidad de que esas estructuras conceptuales, aún si son redundantes respecto a nuestra ciencia fundamental, puedan encontrar justificación a la luz de nuevos resultados científicos y por ende que valga la pena explorarlos. Por lo mismo, me parece razonable rechazar **(F)** de manera

⁴⁶ El argumento de Saucedo presupone además el humanismo, el cual también es controversial y ha sido criticado en la literatura (Maudlin, 2007), por lo que no discutiré más ese presupuesto.

⁴⁷ Sider (2011) sostiene que la modalidad no es parte de la estructura fundamental del mundo sino un fenómeno puramente convencional.

⁴⁸ Williamson (2013) tiene una metodología para hacer justo esto en el caso de disputas acerca de qué lógica modal es mejor, asumiendo que la modalidad es fundamental.

tentativa, pero volveré sobre este punto en el capítulo V.

3.2 El Argumento de Simples Extendidos en Contra de MH

Mencioné arriba la posibilidad de simples extendidos i.e. objetos sin partes propias pero que ocupan una región espacio-temporal extendida R . Voy a considerar por un momento qué tipo de escenario podría inducir a alguien a considerar la hipótesis de simples extendidos como una genuina posibilidad para el mundo actual.

Supongamos que los físicos descubren un tipo de partícula de ciertas dimensiones tal que, sin importar la aplicación de ninguna fuerza o método, no arroja ningún indicio de poseer estructura interna. Esto sin lugar a dudas es compatible con que la partícula tenga partes propias, pero una explicación razonable acerca de por qué esto ocurre así es que la partícula es simplemente indivisible y carece de estructura interna. El escenario es quizá más plausible desde la perspectiva de la física clásica. La física clásica es probablemente falsa, sin embargo es un hecho que hubo algún momento en donde la evidencia apuntaba a que vivíamos en un mundo clásico. Interpretaciones de la mecánica cuántica como la de Bohm podrían ser más amigables a ese tipo de consideraciones modales.

3.2.1 El Argumento Desde la Teoría de Cuerdas a los Simples Extendidos

Una versión naturalista de este argumento en el contexto de la investigación en torno a la unificación de la física i.e. la búsqueda de una teoría de gravedad cuántica, es la tesis de que **los objetos fundamentales de la teoría de cuerdas** son simples extendidos. Sobre este punto, Greene (1999, pp. 141-142) acerca de la constitución de las cuerdas:

“Hay dos posibles respuestas a esta pregunta. Primero, las cuerdas son genuinamente fundamentales, son “átomos”, constituyentes indivisibles en el auténtico sentido de los antiguos griegos. Desde esta perspectiva aun si las cuerdas tienen extensión espacial, la pregunta acerca de su composición carece de contenido. Si las cuerdas estuvieran hechas de algo más pequeño no serían fundamentales... Una cuerda es simplemente una cuerda, no hay nada más fundamental, no puede ser descrita como compuesta de ninguna otra sustancia.”⁴⁹

En su *Does String Theory Posit Extended Simples?* (2016) David John Baker argumenta que nada en la teoría de cuerdas requiere esta suposición, contra Green. Baker señala primero que hay al menos dos maneras de plantear la teoría de cuerdas, en contextos clásicos y en contextos cuánticos.

Un espacio de configuración para un sistema físico es una descripción matemática de todas las posibles configuraciones del sistema en relación a ciertos parámetros (posición) para todo tiempo en la evolución del sistema. El número de dimensiones de un espacio de configuración de posición para un sistema clásico es $3N$, para tres dimensiones espaciales y N partículas $p(t) = (p_1(t), p_2(t)...p_n(t))$. Para el caso de una partícula en un espacio tridimensional, el número de dimensiones del espacio de configuración es 3, para dos es 6, etc. Las coordenadas de posición generalizadas y las propiedades formales del espacio de configuración están necesariamente asociadas con las velocidades generalizadas que corresponden a las derivadas en t de las $p(t)$ ⁵⁰.

⁴⁹ Mi traducción.

⁵⁰ Véase de R.I.G. Hughes *The Structure and Interpretation of Quantum Mechanics* (1989, p. 72)

En un contexto clásico la cantidad de configuración es la variable vectorial $x_i(t)$ desde algún marco de referencia que codifica la posición de una partícula en un tiempo con i para el número de dimensiones en un espacio de configuración n -dimensional. Análogamente, en teoría de cuerdas una cuerda es descrita por la variable $X_i(\sigma, t)$ que “fija la posición en el espacio del punto en la coordenada σ (de un parámetro sobre la longitud de la cuerda) en t . Por ejemplo la posición de un extremo de la cuerda está dada por $X_i(0,t)$ y por convención escribimos σ en unidades tales que la cuerda es π unidades de largo y la posición el otro extremo es $X_i(\pi,t)$ ” (Baker, 2016). Mientras que para las partículas la única energía cinética poseída es la de su centro de masa, las cuerdas tienen energía en sus distintos puntos en movimiento relativo.

En la mecánica cuántica estándar⁵¹ los sistemas físicos se modelan en un espacio vectorial complejo⁵², en donde los vectores se designan mediante la notación de Dirac $|A\rangle$, $|B\rangle$, etc. Estos pueden ser sumados o multiplicados por escalares puesto que todo espacio vectorial se define sobre un campo, por ejemplo los números reales, cuyos elementos son escalares. La suma y la multiplicación de vectores por escalares es cerrada sobre ese conjunto⁵³. A cada estado instantáneo del sistema se le asigna un vector de longitud 1 y a todo vector de longitud 1 se le asocia un estado del sistema. Los operadores⁵⁴, representan propiedades del sistema (spin, momentum, posición) y son mapeos (funciones) lineales⁵⁵ del espacio vectorial a sí mismo. Cumplen con la regla **E/E**, un postulado de la mecánica cuántica lógicamente independiente de la estructura del espacio vectorial: *Un estado posee el valor de una propiedad P representada por el operador O si y sólo si ese estado es un eigenvector⁵⁶ de O con eigenvalor P .* Si un vector representa el estado de un sistema y es eigenvector de un operador para alguna propiedad, entonces el sistema tiene el eigenvalor correspondiente. Hay estados cuánticos que en virtud de la regla **E/E** no tienen bien definido su valor para alguna propiedad, pero la mecánica cuántica estándar es silenciosa respecto al estado del sistema en estos casos. Este es uno de los problemas principales conectados con la interpretación de la mecánica cuántica.

Dos elementos fundamentales en la formulación estándar son la ecuación de Schrodinger, que codifica la evolución temporal del sistema de manera determinista y la regla de Born, que es un algoritmo para calcular la probabilidad de medir un cierto resultado al observar un sistema físico. La probabilidad de medir un eigenvalor λ_i del eigenespacio⁵⁷ de O , para un observable de un operador O y un vector de estado $|\psi\rangle$ es igual a $\langle\psi|P_i|\psi\rangle = |\lambda_i|\psi\rangle|^2$, donde esa expresión da el valor esperado del operador de proyección P_i para un sistema físico en el estado $|\psi\rangle$.

⁵¹En esto sigo de cerca la presentación dada en Okon, 2014.

⁵²Un número complejo es un número de la forma $a + bi$, con a elemento de los reales e i un número imaginario.

⁵³Una operación binaria $*$ es cerrada sobre un conjunto C syss, para todo x, y en C , $x*y$ también es miembro de C .

⁵⁴Cumplen con $O(|A\rangle + |B\rangle) = O(|A\rangle) + O(|B\rangle)$ y $O(a|A\rangle) = a.O(|A\rangle)$

⁵⁵Una función f es lineal sobre un espacio vectorial syss $f(x+y) = f(x) + f(y)$ y $a.(f(x)) = a.f(x)$ con a escalar.

⁵⁶ v es un eigenvector de una transformación (función) lineal T syss T no cambia la dirección de v .

⁵⁷El conjunto de todos los eigenvectores de un operador (transformación lineal) que corresponden al mismo eigenvalor junto con el vector cero.

⁵⁸Sea P cualquier operador de proyección P y v cualquier vector, entonces: $\langle v|Pv\rangle = |Pv|^2$. Para una prueba de este resultado véase Hughes (1989, p. 48)

En contextos cuánticos las cuerdas evolucionan en superposiciones de sus configuraciones en donde coordenadas como x_i se interpretan como operadores \hat{x}_i , por ejemplo un operador de posición. En este contexto se preservan relaciones de incertidumbre (posición-momentum) como en el caso de la mecánica cuántica estándar⁵⁹. Para el operador de posición para cuerdas $\mathbf{X}_i(\sigma, t)$ su valor de expectativa para el estado $|\psi\rangle$ es $\langle\psi|\mathbf{X}_i(\sigma, t)|\psi\rangle$ como en el caso de la mecánica cuántica estándar. Las objeciones de Baker se resumen entonces en lo siguiente:

(i) Dado que la pregunta acerca de si las cuerdas son simples extendidos en el mundo actual debe plantearse en un contexto cuántico, entonces, en ausencia de una solución al problema de la medición no es claro respecto a qué interpretación evaluar esta hipótesis. Algunas propuestas (Wallace y Timpson, 2010)⁶⁰ que toman el espacio de estados cuánticos como representando propiedades en el espacio-tiempo asignan propiedades a uniones de regiones espaciales y sus subregiones. En esta interpretación esas regiones tienen subregiones como partes, su instanciación de propiedades hace implausible una interpretación para las cuerdas en términos de simples extendidos.

(ii) En el nivel del formalismo y la estructura formal de las cuerdas, éstas contra Greene son capaces de descomponerse en partes: *“las cuerdas no siempre permanecen juntas y el proceso mediante el cual se separan en partes es un aspecto importante de la teoría de cuerdas con interacciones.”* (Baker, 2016 p. 5). También nota que no hay tal cosa como una cuerda básica que no pueda descomponerse, toda cuerda puede descomponerse. Las cuerdas no se descomponen en partes puntuales pero a lo sumo eso motivaría una interpretación gunky de las cuerdas, compatible con **MH** en un espacio-tiempo gunky y con la existencia de partes espacio-temporales.

Una tercera objeción, que no aparece en Baker pero puede plantearse a la luz de observaciones de Smolin (2007) y Woit (2007), es que el programa de investigación en teoría de cuerdas es puramente especulativo y está desconectado de la práctica experimental. El estatus de la teoría de cuerdas dentro de la física no es suficientemente sólido como para defender que alguna tesis metafísica que depende de la misma, si eso fuera el caso, se da en el mundo actual.

Por esas razones no considero que el argumento naturalista de los simples extendidos sea una amenaza para la tesis de la armonía mereológica **MH**.

⁵⁹Por razones de espacio no me es posible aquí entrar en mayor detalle respecto a la formulación estándar de la mecánica cuántica y los problemas filosóficos que la rodean. Véase sin embargo Hughes (1989), Albert (1994), Okon (2014) y Maudlin (2011).

⁶⁰ “...we can take the regions of space (and their unions) as our basic bearers of properties.” Wallace y Timpson (2010, p. 711)

Capítulo IV

Persistencia y Espacio-Tiempo

Abstract: El objetivo de este capítulo es trasplantar el mapa conceptual de la disputa tradicional en metafísica acerca de la naturaleza de la persistencia a un contexto más naturalista. Con esta finalidad los modelos de persistencia antes formulados, se modificarán teniendo a las estructuras espacio-temporales postuladas en física, e introducidas en el capítulo II, como trasfondo empleando la ideología introducida en el capítulo III.

1. Sider Sobre Persistencia y Relatividad

Nuestro punto de partida en la reformulación relativista de los modelos de persistencia es el locus classicus de Sider (2001) sobre la filosofía del tiempo *Fourdimensionalism*. Sider entiende la tesis 4D como sosteniendo que los objetos persisten teniendo partes temporales en todo momento en el que existen tanto para el caso perdurantista como el exdurantista. Como vimos arriba, esta condición no es necesaria para formular otros modelos de perdurantismo y exdurantismo que logren explicar el fenómeno del cambio y deja de lado algunas distinciones importantes. Sin embargo, dado que Sider no tenía a la mano las herramientas conceptuales para dilucidar los modelos de persistencia en el contexto de su ubicación espacio-temporal, es del todo comprensible que sus definiciones no abarcan todo lo que uno desearía. Aun así es un muy buen punto de partida para recordar los problemas que enfrentan los modelos de persistencia para agotar todas las distinciones mientras simultáneamente buscan preservar intuiciones pre-teóricas.

Sider va a entender la noción de parte temporal de la siguiente manera:

(PT) X es parte temporal de Y en t syss (i) X es parte de Y, (ii) X existe en t y sólo en t y (iii) X traslapa todo lo que es parte de Y en t. (Sider, 2001)

La intuición que se busca capturar es que una parte temporal de un objeto material es un objeto instantáneo, distinto del objeto material del que es parte, pero que en algún instante en el que ese objeto material existe cubre exactamente todo lo que ese objeto material cubre. Los objetos materiales 4D tienen propiedades compatibles en distintos tiempos syss poseen distintas partes temporales con esas propiedades en distintos tiempos o tienen contrapartes temporales que instancian esas propiedades directamente. Por otro lado el endurantismo está comprometido con la negación de la tesis de que los objetos materiales tienen partes temporales.

La formulación de Sider de la tesis perdurantista de tipo mereológico requiere la tesis de localidad temporal. Él la presenta como sigue:

Tesis de Localidad Temporal: Necesariamente, para cualquier objeto x y cualesquiera conjuntos de tiempos no-vacíos y disyuntos T1 y T2, cuya unión es la duración temporal de x, existen dos objetos x1 y x2, tales que i) x1 y x2 tienen las mismas partes para todo tiempo en T1, ii) x2 y x tienen las mismas partes para todo tiempo en T2 y iii) la duración temporal de x1=T1, mientras que la duración temporal de x2=T2. (Sider, 1997)

Ahora, los espacios newtonianos y galileanos tienen suficiente estructura como para poder caracterizar la noción de parte temporal i.e. como una parte de un objeto que existe en un hiperplano y sólo en un hiperplano de simultaneidad y que traslapa todas las partes del objeto en

ese hiperplano. Por lo mismo, es posible recuperar en estos espacios la caracterización de predicación perdurantista y exdurantista. El endurantismo negaría en este caso que los objetos materiales tienen partes ubicadas solamente en esos hiperplanos. Sin embargo el espacio minkowski presenta nuevas dificultades para acomodar esas nociones.

Como vimos arriba en el espacio minkowski cada punto tiene asociada una estructura de cono de luz que divide las regiones espacio-temporales, desde ese punto, en aquellas que están relacionadas *time-like*, *light-like* y *space-like*. Sin embargo, si bien es el caso que si en algún marco de referencia F un punto p está *time-like* separado de un punto q entonces en cualquier marco de referencia F' p y q están *time-like* separados, no es el caso que si la distancia espacial entre dos puntos en F es d y la temporal es t , lo mismo ocurrirá en cualquier otro marco de referencia, aun cuando el intervalo entre esos puntos sea invariante en todo marco.

Por otro lado, dependiendo del marco de referencia que se elija, el espacio-tiempo puede particionarse en diferentes clases de equivalencia. El marco de referencia de reposo para un objeto material sería uno en el cual los hiperplanos de simultaneidad para ese objeto intersectarían la línea de mundo del objeto en ángulos rectos, pero para otro objeto en movimiento inercial respecto a éste, en su marco de referencia, los hiperplanos de simultaneidad intersectarían la línea de mundo del objeto en ángulos no rectos. Esto quiere decir que si las partes temporales del objeto son aquellas que empalman todo lo que es parte del objeto en estos hiperplanos, entonces en distintos marcos de referencia las partes temporales del objeto serían diferentes. En cualquier caso, si uno acepta el universalismo mereológico, como lo hace Sider, entonces plausiblemente el objeto tendría partes en cualquier región espacio-temporal que ocupe y el que sean temporales o espaciales dependerá entonces el marco de referencia en el cual describimos al objeto.

La propuesta relativizada a marcos de referencia de Sider, que busca acomodar la noción de persistencia mereológica en espacios minkowski, es que desde cualquier marco de referencia un objeto espacio-temporal tiene una parte temporal en todo momento del tiempo en el que existe. Esto tiene al menos dos posibles lecturas, como bien señalan Gibson y Pooley (2006):

1. Un objeto espacio-temporal tiene como partes temporales aquellas subregiones propias que están extendidas temporalmente desde el marco de referencia de reposo del objeto.
2. Un objeto espacio-temporal tiene como partes temporales aquellas subregiones propias que desde algún marco de referencia están extendidas temporalmente.

Gibson y Pooley argumentan que la lectura 2 es la más caritativa, en la medida en que los marcos de referencia no son parte de la estructura fundamental del mundo, sino sólo una manera de describirlo. Un objeto debiera tener como partes temporales cualesquiera subregiones propias de su línea de mundo que desde algún marco de referencia estén temporalmente extendidas. Pero si eso es así, entonces una pregunta a plantearse es: ¿qué importancia metafísica tiene la noción de parte temporal? Sobre esto volveré más adelante.

2. Gilmore Sobre Ubicación Espacio-Temporal

Siguiendo a Gilmore (2006) introduciré las siguientes definiciones para objetos persistentes.

(G1) R es el sendero de O syss R es la unión de la región o regiones que O exactamente ocupa.

(G2) R es acronal syss R es una región y para cualesquiera puntos distintos p y q en R , ni p , ni q

es absolutamente cronológicamente anterior o posterior al otro.

(G3) O persiste syss el sendero de O no es acronal.

(G4) O es un worm syss O persiste y para cualquier región R, O exactamente ocupa R si R es el sendero de O.

(G5) O es un endurente syss O persiste y cada región que O exactamente ocupa es acronal.

Las definiciones aquí dadas por Gilmore claramente son suficientemente robustas para caracterizar los modelos de persistencia en espacios newtonianos y galileanos bajo los supuestos eternalistas asumidos en el capítulo I. Los espacios newtonianos y galileanos tienen posiciones temporales distinguidas: los tiempos, cuya construcción estándar involucra el tomar todos los puntos relacionados bajo la relación de equivalencia de simultaneidad y generar una clase de equivalencia de hiperplanos cuya unión es el universo bloque eternalista. En estos espacios los hiperplanos son los únicos candidatos a ser regiones acronales bajo las definiciones de Gilmore. Los worms persisten teniendo un sendero no-acronal y ocupando uno-uno la región R que es su sendero, mientras que los endurentes persisten ocupando muchos-uno una región R que sea un sendero no-acronal.

Es posible suplementar las definiciones de Gilmore para acomodar el exdurantismo, si bien Gilmore no piensa que el exdurantismo sea compatible con la persistencia. Empero, parece que esto pide la cuestión contra el exdurantista. Después de todo el exdurantismo es *prima facie* lógicamente posible por lo que, de ser verdadero, ningún objeto persistiría. Pero este resultado prueba demasiado dado que: i) es posible dar una semántica para oraciones acerca de la persistencia de objetos materiales que recupere muchas de las condiciones intuitivas de verdad en términos exdurantistas y ii) no es claro por qué ser parte propia de una misma fusión diacrónica es suficiente para la persistencia pero tener una relación de contraparte temporal no lo sería.

(G/M6) O es un exdurante syss O persiste, la región que O ocupa exactamente es acronal y las contra-partes temporales de O ocupan todas y sólo las regiones acronales en el sendero de O.

La caracterización del endurentismo en términos de ubicación es mucho más inteligible que la caracterización en términos mereológicos. La caracterización mereológica suele asumir también una relación de ocupación muchos-uno, pero como veremos con más detalle, esto no parece necesario por un lado y por otro, en la formulación original mucha de la elucidación que viene de las nuevas distinciones está ausente. Efectivamente, un objeto endurente es análogo a un universal *in re*, si es coherente suponer que los universales *in re* pueden estar multi-ubicados también lo es *mutatis mutandis* para los objetos endurentes.

Una objeción obvia es que los objetos endurentes son individuos concretos y la multi-ubicación es ininteligible para concreta. Se pueden responder cuando menos dos cosas. Primero, no es claro dónde quedan los universales *in re* en la gradación vaga concreto-abstracto (Lewis, 1984) y segundo, proponentes de la teoría del ensamble (Russell, 1948) o del generalismo (Dasgupta, 2009) negarían la existencia de individuos concretos: el primero lo sustituye por ensambles, el segundo por cualidades y estructuras relacionales, que plausiblemente son más abstractos aun si no son abstracta. No querríamos negar a estos sustitutos el tener ubicaciones y dada su naturaleza cualitativa muchos estarían multi-ubicados.

Con estas definiciones a la mano Gilmore (2006) puede caracterizar otras nociones de interés para el metafísico que compra la posibilidad de que la tesis de armonía mereológica sea falsa. Esto se debe a que en la medida en que uno rechaza que los objetos materiales sean mereologicamente isomorfos a las regiones espacio-temporales que ocupan, se abren varias posibilidades metafísicas para los continuantes e.g. endurantes que ocupan exactamente intervalos extendidos de tiempo o perdurantes que ocupan únicamente una región sin ocupar débilmente subregiones de la misma.

(G7) Perdurantes segmentados: persisten ocupando exactamente una única región no-acronal R y teniendo partes que ocupan exactamente sub-regiones de R .

(G8) Perdurantes no-segmentados: persisten ocupando exactamente una única región no-acronal R , su sendero pero carecen de partes propias. [Simples extendidos]

(G9) Endurantes segmentados: depende del axioma de coincidencia mereológica. Asumamos un objeto material que coincide en varios intervalos, en el mismo sendero espacio-temporal, con varios objetos materiales compartiendo la misma materia: estatuas y trozos de arcilla.

(G10) Endurantes no-segmentados: Objetos materiales que persisten ubicándose en múltiples instantes o intervalos temporales pero no coinciden materialmente con otros objetos.

En virtud de la discusión anterior podemos hacer las siguientes distinciones, previamente no disponibles en los modelos tradicionales de persistencia:

Endurantismo de Ubicación: Una cosa O endura en su ubicación sys si persiste y ocupa exactamente sólo regiones acronales. La relación de ubicación es uno-muchos.

Endurantismo Mereológico: Una cosa O endura mereologicamente sys si persiste, está del todo presente en toda región acronal en la que se ubica y no tiene partes temporales.

Perdurantismo de Ubicación: Una cosa O perdura en su ubicación sys si persiste y ocupa exactamente sólo la región R que es idéntica a su sendero. La relación de ocupación es uno-uno.

Perdurantismo Mereológico: Una cosa O perdura mereologicamente sys si persiste y tiene una parte temporal que se ubica exactamente en cada región acronal que intersecta su sendero espacio-temporal.

Plausiblemente debería ser posible formular un principio general que nos diga, para objetos persistentes, dónde exactamente en el espacio-tiempo están exactamente ubicados: ¿Qué subregiones de un sendero espacio-temporal ocupa exactamente un objeto? El perdurantista puede fácilmente responder la pregunta, sin embargo el endurantista se enfrenta con algunos obstáculos a examinar. Gilmore (2006, 2007b) sugiere los siguientes principios acerca de cómo persisten los objetos endurantes.

El principio del sendero: Un objeto material ocupa exactamente sólo su sendero espacio-temporal que es su propia subregión impropia. El perdurantista de ubicación puede perfectamente responder así a la pregunta sobre ubicación.

El principio todo segmento: El objeto ocupa exactamente sólo las regiones acronales de su sendero espacio-temporal.

El principio del marco de referencia de reposo: El objeto ocupa sólo las foliaciones acronales de su sendero espacio-temporal que lo intersectan en su marco de referencia de reposo.

El principio de abajo hacia arriba: El objeto ocupa sólo los segmentos en sincronía de partículas dados por el siguiente procedimiento: encuentra el segmento inicial del segmento espacio-temporal del objeto e identifica las partículas simples que componen al objeto en esa región y añade a estas un cronómetro que mide el tiempo propio de cada partícula. Un segmento de sincronía de partículas es una suma de las ubicaciones de estas partículas cuando quiera que sus cronómetros estén sincronizados.

Con excepción del principio todo segmento el resto de las opciones son problemáticas para el endurantista por consideraciones que aquí no puedo abordar. Véase sin embargo *Where in The Relativistic World are We?* de Gilmore para una perspectiva general sobre este interesante problema abierto.

3. Balashov Sobre Persistencia y Espacio-Tiempo

Balashov (2010) es, por la sutileza y profundidad de su tratamiento, referencia obligada en la discusión sobre persistencia en las estructuras espacio-temporales discutidas con anterioridad: espacios newtonianos, espacios galileanos y espacios minkowski. Tomando en cuenta las características específicas de cada uno de estos espacio-tiempos y empleando las herramientas de la mereología y los axiomas de ubicación él propone las siguientes definiciones y distinciones con el fin de capturar el contenido del perdurantismo, el endurantismo y el exdurantismo.

Las primeras definiciones tienen como motivación dar un marco general en términos de mereología y ubicación para expresar diversas tesis sobre persistencia. A continuación introduciré las definiciones de Balashov (2010)⁶¹, explicando usos y motivaciones cuando sea pertinente. Todas las definiciones de Balashov tienen títulos en negritas, con mis explicaciones intercaladas abajo.

Las siguientes dos definiciones pretenden caracterizar lo que más atrás habíamos definido como ubicación exacta y ubicación débil.

(UBICACIÓN EXACTA) Aquella región en la que un objeto cabe exactamente y que tiene exactamente el mismo tamaño, forma y posición del objeto.

(CUASI-UBICACIÓN) Un objeto está cuasi-ubicado en una región R si, informalmente, R no está del todo libre del objeto.

3.1. Balashov Sobre Persistencia y Ubicación en Espacio-Tiempos Genéricos

Las definiciones **(D1)** a **(D14)** buscan capturar, en la ideologías de mereología y ubicación las nociones de momento temporal, persistencia a través del tiempo, ubicación exacta (débil) en el espacio-tiempo así como las modalidades de persistencia (perdurantismo, endurantismo, exdurantismo) y predicación inherentes a éstas en en el espacio-tiempo.

⁶¹ Las traducciones son mías.

(D1) La región espacio-temporal R es acronal=df $\forall p_1, p_2 (p_1, p_2 \in R \rightarrow \neg p_1 < p_2)$.

Donde “<” significa precedencia cronológica absoluta. Es decir, R es una región acronal si y sólo si para cualesquiera dos puntos en R , ninguno precede a otro cronologicamente de manera absoluta.

(D2) R es un momento temporal =df

[(i) R es una región acronal maximal del espacio-tiempo; (ii) R is Ω] =df

$[(\forall p_1, p_2)[p_1, p_2 \in R \rightarrow \neg p_1 < p_2] \& (\forall p)((\forall p_1, p_2)[p_1, p_2 \in R \cup \{p\} \rightarrow \neg p_1 < p_2] \rightarrow p \in R) \& R \text{ is } \Omega]$.

La intuición detrás de **(D2)** es que un momento temporal es universal i.e. cubre todo el espacio-tiempo e.g. todo lo que ocurre en el tiempo t . En un universo bloque tetradimensional esto requiere identificar una región acronal i.e. tal que divide al bloque en todo lo que ocurre antes, después y lo que está *space-like* relacionado con esa región. La cláusula dos garantiza que la región es maximal y que R sea Ω quiere decir que la región espacio-temporal es plana i.e. todo evento en esa región es simultáneo.

(D3) o está (exactamente) c -ubicado en R =df una de las contrapartes (no modales) de o está (exactamente) ubicada en R .

Donde c -ubicado abrevia cuasi-ubicado y donde la relación de contraparte temporal se toma como reflexiva.

(D4) La región espacio-temporal O es el sendero del objeto o =df O es la unión de la región o regiones espacio-temporales donde o está c -ubicado.

(D5) o persiste=df el sendero de o es no-acronal.

La definición **(D5)** pretende salvar la intuición de que un objeto persiste si y sólo si existe en al menos dos tiempos distintos.

(D6) p_{\perp} es una región acronal propia de o en la región acronal R =df p_{\perp} es parte de o en R .

La definición **(D6)** pretende salvar la intuición de que una región que cuasi-ocupa un objeto en algún tiempo i.e. sin estar exactamente ubicada en ella, en ese tiempo, es una parte del objeto en ese tiempo.

(INTERIOR) p es parte de o en la región acronal $R \rightarrow p \cap R \subseteq o \cap R$.

La definición de arriba pretende salvar la intuición de que cualquier parte espacial de un objeto o en algún tiempo está completamente contenida en o en ese tiempo.

(D7) p es una parte diacrónica de o en la región espacio-temporal R =df (i) p está ubicado en R y sólo en R , (ii) p es parte de o en R , (iii) p traslapa en R todo lo que es parte de o en R .

La definición de parte diacrónica de un objeto o no es otra cosa que la definición de Balashov de parte temporal. Nótese la similitud con la definición de Sider (2001).

(D8) R_{\perp} es una rebana acronal de $R = \text{df}$ R_{\perp} es una intersección no vacía de una región 3D acronal maximal con $R = \text{df}$ $(\exists R^*)[(\forall p_1, p_2)(p_1, p_2 \in R^* \rightarrow \neg p_1 < p_2) \&$

$(\forall p)((\forall p_1, p_2)[p_1, p_2 \in R^* \cup \{p\} \rightarrow \neg p_1 < p_2] \rightarrow p \in R^*) \& R_{\perp} = R \cap R^* \& (\exists p) p \in R_{\perp}]$

La definición **(D8)** pretende capturar la noción de sub-región propia en algún tiempo. Por ejemplo aquella región que ocupa el objeto material en ese tiempo.

(D9) p_{\perp} es una parte acronal propia de o en la región acronal $R = \text{df}$ (i) p_{\perp} es una parte acronal de o en R , (ii) o no es una parte acronal de p_{\perp} en R .

La definición **(D9)** captura la noción de ser una parte espacial propia de un objeto en algún tiempo, así como la asimetría de la noción de parte propia espacial.

(D10) p es una parte propia diacrónica de o en la región acronal $R = \text{df}$ (i) p es una parte diacrónica de o en R , y (ii) o no es una parte diacrónica de p en R .

La definición **(D10)** captura la noción de ser una parte temporal en una región, así como sus propiedades asimétricas.

(UNIVERSALISMO ACRONAL)

Cualquier objeto endurente está ubicado en toda rebanada acronal de su sendero.

Cualquier objeto perdurante tiene una parte diacrónica en toda rebanada acronal de su sendero.

Cualquier objeto exdurante está c-ubicado en toda rebana acronal de su sendero.

Es importante enfatizar que Balashov, al aceptar **(UNIVERSALISMO ACRONAL)**, se compromete con la tesis de que los objetos persistentes o sus partes temporales están ubicados en todas las regiones espacio-temporales maximales que intersectan sus senderos. En espacios newtonianos y galileanos esto no es problemático, pero como veremos más adelante, la formulación de región acronal maximal plana en espacios minkowski que Balashov prefiere si es problemática.

(D11) o_{\perp} es una rebanada acronal o -candidata del sendero de $o = \text{df}$ ya sea que o misma o la parte diacrónica de o_{\perp} está c-ubicada en o_{\perp} .

La definición **(D11)** busca precisar lo que implica la tesis de universalismo acronal i.e. que todo objeto persistente ocupa toda subregión acronal de su sendero, ya sea directamente en el caso del endurentismo o indirectamente en el caso del perdurantismo o exdurantismo.

(D12) o endurente =df (i) o persiste, (ii) o está ubicado en cada rebanada acronal o -candidata de su sendero, (iii) o está c-ubicada sólo en rebanadas acronales o -candidatas de su sendero.

(D13) o perdurante =df (i) o persiste, (ii) o está c-ubicada sólo en su sendero, (iii) el objeto ubicado en cualquier rebanada acronal o -candidata o_{\perp} del sendero de o es una parte propia diacrónica de o en o_{\perp} .

(D14) o exdurante =df (i) o persiste, (ii) o está ubicada en exactamente una región, que es una

rebanada acronal o-candidata de su sendero, (iii) *o* está c-ubicada en todas cada rebanada acronal o-candidata de su sendero.

3.2 Balashov Sobre Persistencia y Ubicación en Espacio-Tiempos Galileanos

Las siguientes definiciones, **(D1G)** a **(ExdSTG)**, en Balashov (2010) extienden la precisión ideológica de las definiciones anteriores al espacio-tiempo galileano. Éste, como se señaló en el capítulo II, tiene tiempos absolutos pero no posiciones absolutas en tanto cualquier *world-line* recta de algún objeto persistente puede contar como en reposo o en movimiento dependiendo del marco de referencia elegido.

(D1G) La región R de STG es acronal=df $\forall p_1, p_2 (p_1, p_2 \in R \rightarrow t_1 = t_2)$.

y

(D2G) R es un momento en el tiempo en STG =df R es un hiperplano temporal en STG.

Dado que el espacio-tiempo Galileano contiene suficiente estructura para caracterizar tiempos absolutos invariantes, Balashov se vale de estos para caracterizar nociones como región acronal y nociones dependientes de ésta. El resto de las definiciones pueden interpretarse a la luz de las explicaciones que he dado arriba.

(D3G) *o* está (exactamente) c-ubicada en R en STG =df una de las contrapartes no modales de *o* está (exactamente) ubicada en R .

(D4G) La región espacio-temporal O es el sendero del objeto *o* en STG =df O es la unión de la región o regiones espacio-temporales en las cuales *o* está c-ubicado

(D5G) *o* persiste en STG=df $\exists p_1, p_2 \in O, \neg(t_1 = t_2)$.

La definición de persistencia en espacios galileanos pretende recuperar la intuición de que un objeto persiste si existe en dos tiempos distintos. En este caso, un objeto persiste si existen dos subregiones p_1, p_2 del sendero O de *o* que intersectan dos tiempos distintos.

(D6G) p_{\perp} es una parte espacial de *o* en $o_{\perp t}$ en STG=df p_{\perp} es parte de *o* en $o_{\perp t}$.

(D7G) p_{\perp} es parte temporal de *o* en $o_{\perp t}$ en STG=df (i) p_{\perp} está ubicada en $o_{\perp t}$ pero sólo en $o_{\perp t}$, (ii) p_{\perp} es parte de *o* en $o_{\perp t}$, y (iii) p_{\perp} traslapa en $o_{\perp t}$ todo lo que es parte de *o* en $o_{\perp t}$.

(D8G) R_{\perp} es una rebanada acronal de R en STG=df R_{\perp} es la intersección no-vacía de un hiperplano temporal con R .

(UNIVERSALISMO ACRONAL G)

Cualquier objeto enduringe está ubicado en cualquier t-rebanada de su sendero (en el espacio-tiempo Galileano).

Cualquier objeto perdurante tiene una t-parte en cualquier t-rebanada de su sendero.

Cualquier objeto exdurante está c-ubicado en cualquier t-rebanada de su sendero.

(D11G) $o \perp t$ es una t-rebanada o-candidata del sendero o de $o = df$ ya sea que o misma o la t-parte de $o \perp t$ está c-ubicada en $o \perp t$.

(D12G) o endure en STG =df (i) o persiste, (ii) o está ubicado en cualquier t-rebanada de su sendero, (iii) o está c-ubicado sólo en t-rebanadas o-candidatas de su sendero.

(D13G) o perdura en STG =df (i) o persiste, (ii) o está c-ubicado sólo en su sendero, (iii) el objeto ubicado en cualquier t-rebanada del sendero de o es una t-parte propia de o en esa rebanada.

(D14G) o exdura en STG =df (i) o persiste, (ii) o está ubicado en exactamente una región, que es una t-rebanada o-candidata de su sendero, (iii) o está c-ubicado en cada t-rebanada o-candidata de su sendero.

(EndSTG-1: Rel) El objeto endurente o tiene Φ en t (es decir, en $o \perp t$) en el espacio-tiempo Galileano =df o tiene Φ -en con respecto a t .

(EndSTG-2: Ind) El objeto endurente o tiene Φ en t (es decir, en $o \perp t$) en el espacio-tiempo Galileano =df o tiene Φ -en- t .

(EndSTG-3: Adv) El objeto endurente o tiene Φ en t (es decir, en $o \perp t$) en el espacio-tiempo Galileano =df o tienen Φ .

Las definiciones **EndSTG** del tipo **Rel**, **Ind** y **Adv** pretenden salvar las tres propuestas más importantes acerca de cómo un objeto endurentista (3D) instancia propiedades i.e. en relación a tiempos, con propiedades indexadas a tiempos o de manera adverbialista.

(PerSTG) El objeto perdurante o tiene Φ en t (es decir, en $o \perp t$) en el espacio-tiempo Galileano =df la t-parte de o es Φ .

(ExdSTG) El objeto exdurante o tiene Φ en t (es decir, en $o \perp t$) en el espacio-tiempo Galileano =df la t-contraparte de o es Φ .

3.3 Balashov Sobre Persistencia y Ubicación en Espacio-Tiempos Minkowski

Recordemos que el espacio-tiempo minkowski no admite una foliación en hiperplanos de simultaneidad tales que puedan ser identificadas con tiempos absolutos, aun cuando admite una foliación en superficies de Cauchy. El espacio-tiempo minkowski tiene una estructura de cono de luz que asigna a cualquier punto del espacio-tiempo una topología que subdivide el resto de regiones espacio-temporales en aquellas cuyos puntos están *light-like* conectados con éste, aquellas cuyos puntos están *time-like* conectados a éste y aquellas cuyos puntos están *space-like* conectadas a éste. Empero, existe una noción invariante de distancia, el intervalo, tal que para cualesquiera puntos en el espacio-tiempo su intervalo es mayor a cero, menor a cero o es cero.

En lo que sigue **(D1M)** a **(ExdSTM)** son transcripciones verbatim de Balashov, intercaladas son mis explicaciones como en las secciones anteriores.

(D1M) La región R de STM es acronal =df $\forall p_1, p_2 (p_1, p_2 \in R \rightarrow I(p_1, p_2) < 0)$.

Cuando el intervalo entre dos puntos es menor a cero, decimos que los puntos están *space-like*

relacionados. Una región R es entonces acronal si cualesquiera puntos en ella están *space-like* relacionados.

(D2M) Pero sólo un subconjunto de esas regiones —aquellas que son planas—representan momentos en el tiempo en marcos de referencia inerciales, $\{tF\}$: R es un momento en el tiempo en $STM = df$ R es un hiperplano spacelike en STM .

Esta caracterización de Balashov de momento en el tiempo en términos de marcos de referencia es problemática por razones que veremos más abajo.

(D3M) o está (exactamente) c-ubicado en una región R de $STM = df$ una de las contrapartes (no-modales) de o está (exactamente) ubicada en R .

(D4M) La región espacio-temporal O es el sendero de un objeto o en $STM = df$ O es la unión de la región o regiones espaciotemporales en las cuales o está c-ubicado.

(D5M) o persiste en $STM = df \exists p1, p2 \in O (\exists F \sim (tF1 = tF2))$

$= df \exists p1, p2 \in O (\sim (p1 = p2) \& I(p1, p2) \geq 0)$.

Ya que desde un mismo marco de referencia es posible caracterizar hiperplanos de simultaneidad en el espacio minkowski, un objeto o persiste de acuerdo a Balashov cuando, en distintos hiperplanos de simultaneidad desde un mismo marco de referencia, hay dos puntos en los cuales el objeto está c-ubicado cuyo intervalo es mayor o igual a cero. Es decir, objetos que están *time-like* o *light-like* relacionados, para distintos puntos, son objetos persistentes.

(D6M) $p \perp$ es una parte acronal de o en $o \perp tF$ en $STM = df$ $p \perp$ es parte de o en $o \perp tF$.

Dado que Balashov desea preservar la distinción entre parte espacial y parte temporal es necesario en su sistema emplear marcos de referencia, de manera que para un objeto o , en algún momento temporal desde algún marco de referencia, sea posible caracterizar sus partes espaciales como aquellas partes que o tiene en momentos en el tiempo desde su marco de referencia de reposo.

(D7M) p es una parte diacrónica de o en $o \perp tF$ en $STM = df$ (i) p está ubicada en $o \perp tF$ pero sólo en $o \perp tF$, (ii) p es parte de o en $o \perp tF$, (iii) p traslapa en $o \perp tF$ todo lo que es parte de o en $o \perp tF$.

Las partes temporales son también caracterizadas en términos de marcos de referencia.

(D8M) $R \perp$ es una rebanada acronal de R en $STM = df$ $R \perp$ es la intersección no-vacía de un momento en el tiempo (i.e., de un hiperplano temporal) con R .

(UNIVERSALISMO ACRONAL M)

UM-EN Cualquier objeto endurente está ubicado en cualquiera rebanada- tF de su sendero (en el espacio-tiempo Minkowski).

UM-P Cualquier objeto perdurante tiene una parte- tF en cualquier rebanada- tF de su sendero.

UM-EX Cualquier objeto exdurante está c-ubicado en cualquier rebanada- tF de su sendero.

Esta definición es problemática, como puede verse empata parcialmente con la caracterización de Gilmore (2007b) de la persistencia de ubicación para un objeto endurente o como aquella donde o esté ubicado exactamente en aquellas hipersuperficies de Cauchy planas desde su marco de referencia de reposo. Sin embargo Balashov la extiende para caracterizar ubicación en relación a todos los tipos de objetos persistentes.

(D11M) $o \perp tF$ es una rebanada-tF o -candidata del sendero \mathbf{O} de $o = df$ ya sea que o mismo o la parte-tF de $o \perp tF$ está c-ubicada en $o \perp tF$.

(D12M) o endurente en $STM = df$ (i) o persiste, (ii) o está ubicado en cualquier rebanada-tF o -candidata de su sendero, (iii) o está c-ubicado sólo en rebanadas-tF o -candidatas de su sendero.

(D13M) o perdura en $STM = df$ (i) o persiste, (ii) o está c-ubicado sólo en su sendero, (iii) el objeto ubicado en cualquier rebanada-tF o -candidata del sendero de o es una parte-tF propia de o en ese sendero.

(D14M) o exdurente en $STM = df$ (i) o persiste, (ii) o está ubicado en exactamente una región que es una rebanada-tF o -candidata de su sendero, (iii) o está c-ubicada en cualquier rebanada-tF o -candidata de su sendero.

(EndSTM-1: Rel) El objeto endurente o tiene Φ en tF (es decir, en $o \perp tF$) en el espacio-tiempo Minkowski =df o tiene Φ -en respecto a tF.

(EndSTM-2: Ind) El objeto endurente o tiene Φ en tF en el espacio-tiempo Minkowski =df o tiene Φ -en-tF.

(EndSTM-3: Avd) El objeto endurente o tiene Φ en tF en el espacio-tiempo Minkowski =df o tiene-tF Φ .

(PerSTM) El objeto perdurante o tiene Φ en tF en el espacio-tiempo Minkowski =df la parte-tF de o es Φ .

(ExdSTM) El objeto exdurente o tiene Φ en tF en el espacio-tiempo Minkowski =df la contraparte-tF de o es Φ .

3.4 Objeciones a los Principios Metodológicos de Balashov

Balashov es claro sobre su predilección por aquellas hipersuperficies de Cauchy, en un espacio-tiempo minkowski, que son planas desde el marco de referencia de reposo del objeto como aquellas donde el objeto está ubicado indirectamente, mediante una parte temporal desde ese marco de referencia, o directamente si es un objeto endurente. Llama a este criterio:

(FLAT) En el contexto de discutir la persistencia en el espacio-tiempo Minkowski es apropiado restringir las ubicaciones y c-ubicaciones de objetos persistentes y sus partes a regiones acronales planas que representan momentos temporales en marcos de referencia inerciales.

La justificación central que ofrece para adoptar este criterio es:

(MOOR) Al adaptar una doctrina metafísica a una teoría física, uno debe buscar minimizar el grado de revisión ontológica general.

Gibson y Pooley (2006) rechazan **FLAT**. Argumentan que **FLAT** no se toma en serio la teoría de la relatividad al privilegiar los marcos de referencia, que no forman parte de la física fundamental. Como veremos en el capítulo V esta objeción depende del **unitismo** i.e. la tesis de que el espacio y el tiempo son aspectos de un tipo metafísico más fundamental, el espacio-tiempo, en conjunción con algún principio de parsimonia para teorías fundamentales que no ha sido claramente articulado por ellos.

Balashov (2010, p. 56) defiende **FLAT** con **MOOR**: en esencia consideraciones acerca de cómo conectar la imagen científica con la imagen manifiesta. Una motivación general para adoptar un principio como **MOOR** es su conexión con la razonable estrategia epistémica de revisar nuestras creencias exitosas lo menos posible *ceteris paribus*. Argumenta que si bien los marcos de referencia no tienen una interpretación realista en términos de la teoría física, adoptar **FLAT** facilita conservar nociones como parte temporal, composición en un tiempo, etc.

Sobre ese último punto uno bien podría conceder que los marcos de referencia juegan papeles importantes en conectar la teoría abstracta de la relatividad especial con el mundo físico y la experiencia cotidiana. La investigación acerca de la estructura fundamental del mundo físico no es incompatible con el deseo de recuperar la imagen manifiesta o con preservar conceptos y distinciones importantes en diferentes dominios de aplicación. La metafísica fundamental sin embargo si se pregunta, respecto a nuestras teorías físicas fundamentales, cuál es su ideología imprescindible: susceptible de ser interpretada de manera realista (Sider, 2011). La redundancia o la estructura artefactual no siempre son negativas en la búsqueda y aplicación del conocimiento, sólo en el contexto de encontrar los compromisos ideológicos mínimos en una investigación sobre la estructura metafísica del mundo. Podemos conservar ideología metafísica necesariamente ligada a marcos de referencia con la finalidad de conectar conceptos fundamentales con nuestra experiencia, pero esa ideología no es fundamental y por ende una formulación de modelos de persistencia que se tome en serio la estructura del espacio-tiempo haría mejor en no incluirla.

4. Endurantismo y Perdurantismo Relativistas

La formulación de Gibson y Pooley (2006, p. 8) de parte temporal captura las propiedades deseadas en espacios minkowski.

Una parte temporal instantánea de un objeto O es aquella cosa P tal que:

1. P es parte de O
2. P ocupa una región R que es acronal
3. R es una subregión acronal máxima del sendero espacio-temporal de O

En lo que sigue asumiré la posibilidad de que la tesis **MH** es contingente con la finalidad de ilustrar cómo los modelos sobre persistencia de ubicación y persistencia mereológica tienen diferentes extensiones en diferentes dominios. La presentación formal de Calosi y Fano (2015) de los distintos tipos de perdurantismo y endurantismo en espacios relativistas, que presento a continuación, me parece que incorpora todas las ventajas de los enfoques de Gilmore y Balashov sin ninguna de las desventajas. En virtud de las explicaciones detalladas de todos estos conceptos en secciones anteriores dejo mis comentarios al mínimo.

Path: $\text{Path}(x) = \text{def } (\cup_i R_i) (L(x, R_i))$

El sendero de x es la unión de todas las regiones espacio-temporales que x ocupa exactamente. Si x es un perdurante exactamente ubicado en su sendero R entonces $\cup_i R_i = R$. Si x es un endurante entonces su sendero es, intuitivamente, la unión de todas las regiones que ocupa exactamente.

Persistencia: $\text{Pers}(x) = \text{def } \neg \text{Acronal}(\text{Path}(x))$

3D Ubicación: $3\text{DL}(x) = \text{def } \text{Pers}(x) \ \& \ \forall R((L(x, R) \rightarrow \text{Achronal}(R)))$

4D Ubicación: $4\text{DL}(x) = \text{def } \text{Pers}(x) \ \& \ L(x, \text{Path}(x)) \ \& \ \forall R((L(x, R) \rightarrow R = \text{Path}(x)))$

Maximalidad: $\text{Max}(R) = \text{def } C_i \cap \text{Path}(x)$

Como no queremos emplear marcos de referencia en la definición de parte temporal, diremos que una parte temporal existe sobre una superficie de Cauchy. Más específicamente, es aquella parte de un objeto 4D que existe en aquellas subregiones maximales del sendero i.e. aquellas que se intersectan con la superficie de Cauchy.

Parte Temporal: $\text{PT}(x, y) = \text{def } (i) \text{PPxy} \ (ii) L(x, R_1) \ \& \ L(x, R_2) \rightarrow R_1 = R_2 \ (iii) L(x, R) \rightarrow \text{Max}(R)$

Las partes temporales satisfacen funcionalidad (Parsons, 2007), así como sus sumas y viven en las superficies de Cauchy del espacio-tiempo Minkowski. No son partes temporales en el mismo sentido en que esa noción podría entenderse en un espacio-tiempo newtoniano o galileano, pero es el sustituto más cercano aún si estrictamente hablando son partes espacio-temporales.

3D Mereológico: $3\text{DM}(x) = \text{def } \text{Pers}(x) \ \& \ \neg \exists y(\text{TP}(y, x))$

Hay más al endurantismo mereológico que la tesis de que los objetos persistentes no tienen partes temporales e.g. la característica de “estar del todo presente”, que aquí no tiene una formalización perspicua pero que, a fin de cuentas, quiere decir que un objeto es capaz de existir en diferentes tiempos e instanciar propiedades incompatibles sin hacerlo a través de sus partes. Empero, como hemos visto, los modelos endurantistas son capaces de acomodar la instanciación de propiedades de diferentes maneras.

4D Mereológico: $4\text{DM}(x) = \text{def } \text{Pers}(x) \ \& \ \forall y(\text{TP}(y, x) \rightarrow Sxy)$

Si **Junk** es falso y aceptamos el resto de la mereología clásica junto con **MH** los modelos de persistencia de ubicación y mereológicos son equivalentes.

4.1 ¿Son el Exdurantismo y el Perdurantismo Ontológicamente Equivalentes?

En el capítulo III había mencionado que nuestro único acceso a la posibilidad metafísica, de haber tal cosa, se da a través de nuestras teorías, representaciones y sistemas formales, todos accesos falibles. Por lo mismo, la pregunta acerca de si dos teorías metafísicas son equivalentes, ideológica u ontológicamente, no puede plantearse independientemente de las teorías de trasfondo que empleamos para representar la realidad metafísica. Tomemos el caso de **MH**, si hay simples extendidos espacio-temporalmente **MH** es falsa: hay objetos extendidos espacio-temporalmente que no tienen partes espacio-temporales aun si están débilmente ubicados en toda

subregión propia de su sendero.⁶² Sin embargo, si **MH** es verdadera, entonces la estructura mereológica del espacio-tiempo coincide con la de sus ocupantes: persistencia 3DL y 3DM son equivalentes y así también para 4DL y 4DM. En el capítulo III además argumenté que no tenemos razones sólidas para aceptar ni la posibilidad metafísica, ni la actualidad de simples extendidos.

En relación al exdurantismo y el perdurantismo, en el contexto de la mereología clásica son equivalentes si sus axiomas se interpretan en sentido diacrónico. En ese contexto la diferencia estriba en qué objetos queremos identificar con los objetos persistentes: las fusiones o las partes, pero las fusiones se descomponen en partes y las partes se integran en fusiones, por lo que la decisión bien podría ser totalmente convencional.

Sin embargo si la relación fundamental de parte, de haberla, no está capturada por la mereología clásica sino por una teoría que incorpora Junk o que niega **MH** o que es nihilista mereológica respecto a composición entonces las teorías no son equivalentes: a colecciones de estadios no corresponden fusiones necesariamente (**Junk**), las fusiones de regiones no se subdividen metafísicamente en partes necesariamente⁶³ (**MH**) o hay estadios de algunos objetos, los átomos, pero no hay fusiones diacrónicas de los mismos (**nihilismo**). Sin embargo, esta discusión se mantiene puramente al nivel de la posibilidad conceptual.

En el siguiente capítulo argumento que nada en la estructura fundamental del espacio-tiempo requiere abandonar la mereología clásica y algunas cosas más radicales. Por lo mismo, cuando me refiera a la tesis **4D** se debe entender que en ese contexto ambas teorías son equivalentes.

⁶² Calosi y Fano tienen una demostración de esto. (2015, sección 3.3)

⁶³ Es decir, sólo conceptualmente un simple extendido E es la suma mereológica de aquellas subregiones de E que están propiamente contenidas en las regiones que E exactamente ocupa. En estos casos, es claro que subregión y parte no colapsan, aunque el supuesto escenario aquí retratado es difícilmente inteligible más allá de nuestros recursos conceptuales.

Capítulo V

Unitismo, Supersustantivismo y Persistencia

Abstract: En este capítulo voy a concentrarme en explorar dos estrategias argumentativas en favor del 4D que emergen a partir de consideraciones metodológicas a la luz de dos tesis: unitismo y supersustantivismo. La tesis unitista es que el objeto fundamental que da soporte a las leyes dinámicas es el espacio-tiempo en lugar de entidades independientes, espacio y tiempo. La tesis supersustantivista es que no hay dos distintas clases de objetos fundamentales, objetos materiales y espacio-tiempo sino un único objeto, el espacio-tiempo y los objetos materiales son regiones del espacio-tiempo en donde se instancian ciertas propiedades. En lo que sigue argumento primero que tenemos razones para aceptar la verdad de ambas tesis y que las dos privilegian la posición 4D por encima de la 3D.

-

1. Unitismo vs Separatismo

En su *Relativity and Three Fourdimensionalisms* Calosi, Costa y Gilmore (2016) introducen la distinción entre unitismo y separatismo con el objetivo de hacer explícitas intuiciones filosóficas que han permeado la discusión a la fecha. La intuición separatista es que el espacio y el tiempo son entidades independientes y autónomas mientras que la intuición unitista es que espacio y tiempo son diferentes aspectos de una única cosa más fundamental: el espacio-tiempo. Esta distinción juega un rol importante como supuesto implícito en una serie de discusiones en la filosofía del tiempo. Por ejemplo:

1. La intuición detrás de las teorías A del tiempo acerca de cómo la distancia espacial no es filosóficamente problemática mientras que la distancia temporal si lo es i.e. la distancia espacial no tiene implicaciones ontológicas mientras que la temporal si.
2. La intuición relacionada acerca de cómo la composición espacial no es filosóficamente problemática mientras que la composición temporal si lo es. (Sider, 2001)

De manera más precisa, **la tesis separatista**, aplicada a los espacio-tiempos newtonianos, galileanos y relativistas es que existen dos tipos fundamentales de objetos que dan soporte a las leyes dinámicas: espacio y tiempo. Estos a su vez están compuestos de diferentes tipos de entidades irreducibles, puntos en el caso del espacio e instantes en el caso del tiempo. Si los puntos o instantes satisfacen propiedades métricas de cierto tipo entonces colecciones de ellos forman regiones espaciales continuas o intervalos de tiempo continuos. El espacio y el tiempo son mereologicamente disjuntos y existe una relación fundamental primitiva de la forma “*p existe en t*” que caracteriza la relación de ubicación entre puntos e instantes.⁶⁴

Por otro lado, **la tesis unitista**, aplicada a los espacio-tiempos newtonianos, galileanos y relativistas es que existe un único tipo de entidad fundamental que da soporte a las leyes

⁶⁴ Un ejemplo del uso de esta tesis para abordar discusiones filosóficas puede encontrarse en Russell (1903) cuando ofrece análisis filosóficos de nociones como cambio y movimiento en términos de objetos 3D en un universo bloque eternalista donde tiempo y espacio son distintos tipos de entidades fundamentales.

dinámicas: el espacio-tiempo. El espacio-tiempo es un objeto tetradimensional compuesto por eventos, o puntos espacio-temporales⁶⁵. En el espacio-tiempo se pueden definir distancias espaciales y temporales, pero éstas son relaciones entre regiones espacio-temporales en el caso de la distancia temporal y entre puntos espacio-temporales en el caso de la distancia espacial. Tiempo y espacio son aspectos del espacio-tiempo y tienen como elementos puntos espacio-temporales bajo ciertas relaciones específicas: los instantes temporales serían conjuntos maximales de puntos espacio-temporales simultáneos y los puntos espaciales serían sucesiones de puntos espacio-temporales con una distancia espacial nula entre ellos.

Hemos visto ejemplos de cómo representar matemáticamente el espacio-tiempo en términos de una ontología de puntos espacio-temporales y conjuntos en el capítulo II de esta investigación. Ahora, como se señaló en ese capítulo, el espacio-tiempo galileano no tiene suficiente estructura para dar soporte a una noción invariante de distancia espacial en diferentes tiempos, mientras que el espacio-tiempo minkowski no tiene suficiente estructura para dar soporte a una noción invariante de simultaneidad, sin embargo ambas nociones tienen sentido desde algún marco de referencia. En términos más fundamentales podemos pensar en los puntos espaciales como aquellos objetos que son elementos de líneas *time-like* totales i.e. líneas disjuntas que intersectan a toda superficie de Cauchy en el espacio-tiempo una única vez. Análogamente podemos pensar en los instantes temporales como las superficies de Cauchy⁶⁶.

Los espacios minkowski no admiten una foliación en hipersuperficies de Cauchy planas tales que éstas puedan ser identificadas como momentos absolutos i.e. regiones de puntos espaciales simultáneos. Entre otras cosas esto requiere que el separatismo en relación al espacio minkowski sea formulado con una ideología fundamental que incorpore, además de puntos e instantes, marcos de referencia de tal manera que puedan existir hechos de la forma: x instancia P en el punto p , en el tiempo t , desde el marco de referencia r . De otra manera es imposible separar a los instantes temporales de los puntos espaciales (Calosi, Costa y Gilmore, 2016). Como hemos visto en conexión con la propuesta de Balashov (2010) **FLAT**, esto es, que x es una parte temporal de y y entre otras cosas si x es un parte maximal de y en una hipersuperficie de Cauchy plana en el marco de referencia de reposo de x , la admisión de marcos de referencia debe ser rechazada en una metafísica fundamental del espacio-tiempo. Más abajo volveremos sobre este punto de manera más detallada.

2. Supersustantivismo

“He argued that if one believe wholeheartedly in the basic idea of a field theory, matter should enter not as an interloper but as an honest part of the field itself. Indeed, one might say that he wanted to build matter out of nothing but the convolutions of space-time.” - Banesh Hoffman on Einstein as quoted in Isaacson’s “Einstein: His Life and Universe”

⁶⁵ Los instantes temporales y puntos espaciales, de existir, derivan su existencia de esas otras entidades más básicas. Me inclino empero por negar su existencia. Contra Schaffer (2009) y siguiendo la línea de Sider (2011) considero que la cuantificación es fundamental y que por ende debemos rechazar una meta-metafísica neo-aristotélica en donde la existencia es barata una vez que tenemos a las entidades fundamentales.

⁶⁶ Los espacio-tiempos minkowski admiten una foliación en superficies de Cauchy, cada una de las cuales divide las regiones del espacio-tiempo en aquellas que tienen una separación *space-like* y aquellas que están en el pasado o futuro absoluto de esa superficie.

En el capítulo I hice referencia a dos tesis filosóficas acerca de la naturaleza del espacio-tiempo, **la tesis relacionista** y **la tesis sustantivista**. Habíamos dicho que la tesis relacionista es que sólo objetos materiales y sus relaciones espacio-temporales existen, mientras que el sustantivismo es la tesis de que tanto objetos materiales como el espacio-tiempo existen. Es preciso en este punto introducir algunas distinciones adicionales. Como se mencionó también en el capítulo I, el argumento principal en favor de la tesis sustantivista es que ciertos fenómenos dinámicos no pueden explicarse en términos de movimiento relativo e.g. la cubeta de Newton, los globos de Newton (Maudlin, 2012). En otras palabras, tenemos razones para admitir fenómenos dinámicos como la aceleración absoluta aun cuando podemos dar cuenta de las velocidades en términos puramente relativos.

La tesis supersustantivista busca ir un paso más allá. Habíamos mencionado en el capítulo I que el supersustantivismo es la tesis de que sólo el espacio-tiempo existe y el discurso acerca de ocupantes espacio-temporales puede fundamentarse en términos del espacio-tiempo y sus propiedades. Una manera de formular de manera más precisa esta tesis es en términos de superveniencia: para cualesquiera mundos, w_1 y w_2 , si son iguales respecto a sus propiedades espacio-temporales entonces son iguales respecto a sus propiedades físicas simpliciter. Empero en su *The Bare Necessities* (2011) Shamik Dasgupta argumenta que es erróneo interpretar los problemas del sustantivismo en términos modales. La razón es que uno bien podría sostener una variedad de posiciones en la metafísica de la modalidad (anti-haecetismo; Spinozismo) consistentemente con pensar que la estructura los objetos materiales y sus relaciones espacio-temporales o la estructura del espacio-tiempo per se, son ya sea suficientes o insuficientes para dar cuenta de varios fenómenos dinámicos. Considérese a un Spinozista, que cree que toda verdad es necesaria y que tuviera interés en saber por qué el agua se evapora a cierta temperatura. No estaría satisfecho con la explicación de que eso es necesariamente el caso. Querría saber qué en la estructura del agua explica esta propiedad. La pregunta en el caso de las tesis relacionistas y sustantivistas es, para los hechos dinámicos Y , ¿qué fundamenta Y ? Sea X : la geometría del espacio-tiempo. De acuerdo a los sustantivistas, X fundamenta Y . Es en virtud de las características de X que decimos que X fundamenta Y , son estas características las que arrojan luz sobre Y . Pero entonces, independientemente de cuál sea nuestra metafísica de la modalidad, la pregunta acerca de qué fundamenta Y tiene perfecto sentido y debería poder responderse en términos de la estructura de X . En línea con esta posición Lehmkuhl (2015) formula el supersustantivismo de la siguiente manera:

“El espacio-tiempo es un tipo de sustancia y una sustancia es un objeto básico (o fundamental) que no se deriva de nada más.”

Faltaría agregar que, de alguna manera aún por especificar, el espacio-tiempo fundamenta todos los fenómenos físicos.

Es posible dar también definiciones del sustantivismo y el relacionismo en términos de esta ideología:

Sustantivismo: El espacio-tiempo y los objetos materiales son tipos de sustancias i.e. objetos fundamentales que no se derivan de nada más.

Relacionismo: Los objetos materiales son un tipo de sustancia i.e. objetos fundamentales que no se derivan de nada más.

Faltaría agregar que, de alguna manera aún por especificar, el espacio-tiempo y los objetos materiales o los objetos materiales junto con sus relaciones espacio-temporales fundamentan todos los fenómenos físicos.

En la literatura sobre supersustantivismo se han esgrimido una serie de argumentos en favor de la tesis. Algunos notables son mencionados críticamente en Lehmkuhl (2015) y avanzados con simpatía por Field (1989), Schaffer (2009) y Skow (2005). Los argumentos principales son los siguientes:

El argumento de la relatividad general (Schaffer, 2009): Los modelos en relatividad general son triples $\langle M, g, T \rangle$ donde M es una variedad continua diferenciable tetradimensional, g es el tensor del campo métrico y T el tensor tensión-energía, donde g y T están definidos en todo punto en M . Schaffer enfatiza que la distribución de la materia está dada por el tensor tensión-energía y que lo más natural es interpretarlo como un campo, el cual a su vez tiene una interpretación natural en términos de propiedad del espacio-tiempo.⁶⁷

El argumento desde la teoría de campos (Field, 1989) (Schaffer, 2009): El argumento de Field es más general y pretende ser la interpretación más natural de cualquier teoría de campos, nos dice (p. 181): *“Como lo veo, una teoría de campo es simplemente una teoría que asigna propiedades causales a puntos del espacio-tiempo u otras regiones espacio-temporales directamente (en oposición a asignarlas indirectamente mediante materia que ocupa esos puntos o regiones.) Por ejemplo, en la teoría de campo electromagnética asignamos a cada punto del espacio-tiempo una intensidad electromagnética, independientemente de si ese punto está ocupado por materia.”* En el caso de Schaffer (2009), el argumento es más específico, la teoría cuántica de campos, nos dice, es más naturalmente interpretada de manera supersustantivista. Cita con aprobación a Weinberg (p. 142) : *“Una teoría cuántica de campos es una teoría en la que los ingredientes fundamentales son campos; las partículas son pequeñas concentraciones de energía en el campo.”* En línea con el diagnóstico de Halvorson y Clifton en su *No place for particles in relativistic quantum theories?* Schaffer (p. 143) acepta que si bien el discurso de partículas tiene sentido en una teoría cuántica de campos relativista éste debe entenderse en términos de interacciones y propiedades de campos en el espacio-tiempo en tanto la teoría no permite una ontología de partículas⁶⁸.

El argumento de la materialización (Schaffer, 2009): Éste es un argumento abductivo que pretende explicar el siguiente supuesto hecho metafísico: No es posible que un objeto material

⁶⁷ Lehmkuhl (2015), p. 12 observa que hay una discusión ortogonal, si bien relacionada, respecto a si el espacio-tiempo debe identificarse con M o con M y g , en tanto g es responsable de algunas de las propiedades paradigmáticas del espacio-tiempo e.g. sus propiedades geométricas. En las estructuras espacio-temporales que se han discutido en esta tesis no surge esta pregunta en la medida en que estas estructuras incorporan una métrica de entrada.

⁶⁸ Sobre este punto véase también de Art Hobson (2012) *There are no Particles, There are only Fields* en el *American Journal of Physics*.

exista sin ocupar una región espacio-temporal. Si esto es así, existen dos alternativas explicativas:

i) Postular una conexión necesaria bruta entre objetos materiales y las regiones espacio-temporales de tal forma que cada objeto material necesariamente ocupe alguna región espacio-temporal.

ii) Identificar a los objetos materiales con las regiones espacio-temporales que ocupan, que es a todas luces una posición supersustantivista.

Dado que es preferible evitar conexiones modales brutas si es posible *ceteris paribus* entonces el argumento favorece la posición supersustantivista.

El argumento de exhaustividad (Schaffer, 2009): Éste es un argumento abductivo que pretende explicar el siguiente supuesto hecho metafísico: Cualquier región espacio-temporal está ocupada por a lo sumo un objeto. Este principio presupone lo que Parsons (2007) llama el axioma de funcionalidad i.e. para cualesquiera regiones espacio-temporales R , R^* y para cualquier objeto material x , si x ocupa exactamente R y x ocupa exactamente R^* , entonces $R = R^*$. Schaffer (p. 141) señala que sólo unos universales pueden estar multi-ubicados, por lo que esto es válido para objetos materiales. De nuevo, las alternativas son postular una conexión necesaria bruta o aceptar que todo objeto material es idéntico a una región espacio-temporal. Las heurísticas de elección racional entonces favorecen *ceteris paribus* la identificación, pero esto implica el supersustantivismo.

El argumento cartesiano (Skow, 2005): Skow (p. 72) reconstruye el siguiente argumento que puede discernirse en *Les Principes la Philosophie* de Descartes:

1. Estar extendido espacialmente es la única propiedad esencial de los objetos materiales.
2. Necesariamente, cualquier cosa extendida es un objeto material.
3. Estar extendido espacialmente es la única propiedad esencial de las regiones espaciales.
4. Distintos tipos de cosas no pueden compartir todas sus propiedades esenciales.
5. Por lo tanto, x es un objeto material si y sólo si es una región espacial.

Es fácil ver que este argumento puede extenderse al espacio-tiempo. La conclusión del argumento es un tanto fuerte en tanto implicaría que toda región espacio-temporal es un objeto material, si bien Schaffer (2009) acepta esta conclusión que él llama posición identitaria irrestricta.

El argumento newtoniano (Skow, 2005): Inspirado en un experimento mental que Newton propone en *De Gravitatione*, Skow (p. 76) propone que si bien no es necesario que las regiones espacio-temporales sean objetos materiales, las regiones espacio-temporales pueden jugar el rol de los objetos materiales. Newton imagina un mundo posible en donde, por designio de Dios, regiones espaciales vacías adquieren el poder de repeler o atraer otros objetos materiales. Pueden, por ejemplo, bloquear la luz, lo que haría que esas regiones fueran invisibles o impedir el paso, como si hubiera un cuerpo sólido en esa región. De acuerdo a Skow, Newton considera que en un mundo posible en donde las regiones espaciales se comportan de esta manera, con

características análogas a la materia en nuestro mundo, sería un mundo supersustantival. Skow imagina que el objetivo de Newton era argumentar que las regiones espaciales (o espacio-temporales si extendemos la posición) pueden satisfacer todos los roles de los objetos materiales. Inspirado en esta línea argumental Skow (p. 80) sostiene que nada en las partículas, el movimiento o los campos impide su extensión en el contexto de nuestras mejores teorías físicas. Sobre varios de estos puntos volveremos más abajo.

¿Qué podemos decir en este punto sobre estos argumentos? Respecto a **relatividad general y teoría de campos** Lehmkuhl (2015, p. 11) señala en línea con la crítica de Teller (1996) que si bien uno puede interpretar los campos como propiedades del espacio-tiempo, al identificar la materia con la energía en teorías relativistas, uno bien podría intentar la maniobra alternativa de identificar el espacio-tiempo con ubicaciones relativas que se le pueden asignar a “pedazos de campos”. Respecto a **materialización** si bien es plausible en el contexto de teorías que no incorporan gravedad cuántica, algunas de estas teorías toman al espacio-tiempo como derivado y a las propiedades materiales como fundamentales (Smolin, 2001). En cuanto a **exhaustividad** hemos visto en el capítulo IV que no es conceptualmente necesaria. Es posible construir modelos para objetos persistentes, por ejemplo objetos endurantes (3D), en donde estos persisten teniendo, en el caso del enduramiento de ubicación, una ubicación exacta en cualquier superficie de Cauchy que intersecta su sendero, por lo que se requiere más trabajo para aceptar que todo objeto material ocupa una y sólo una ubicación. El argumento **cartesiano** por otro lado tiene dos debilidades, es demasiado fuerte por un lado, en tanto concluye que toda región espacio-temporal es un objeto material, cuando bien podríamos aceptar que esto es falso de las regiones espacio-temporales vacías y por otro lado, emplea la noción de esencia, la cual si bien tiene un uso en metafísica⁶⁹ es suficientemente oscura como para desear evitar su uso en nuestros mejores argumentos, de ser esto posible. Finalmente, respecto al argumento **newtoniano**, es una versión prometedora de un argumento que parte de consideraciones de simplicidad para apoyar la tesis supersustantivista, si bien es capaz de ser fortalecido no sólo en sus fundamentos metodológicos sino también en sus recursos explicativos respecto a cómo interpretar a las partículas, el movimiento y los campos, como veremos más abajo.

3. Algunas Lecciones de la Meta-metafísica de la Física

“A theory is more impressive the greater the simplicity of its premises, the more different things it relates and the more expanded its area of applicability.” Albert Einstein as quoted in Issacson’s “Einstein: His Life and Universe”.

En la literatura contemporánea en metafísica de la física existen varios ejemplos de estrategias adoptadas para eliminar ontología e ideología redundante que podrían encontrar aplicaciones análogas en el contexto de las discusiones sobre **unitismo** y **supersustantivismo**. Una de estas

⁶⁹ Fine (1994) ha argumentado plausiblemente que la esencia no se reduce a nociones modales e.g. Sócrates pertenece necesariamente a su conjunto unitario, pero no es una propiedad esencial de Sócrates pertenecer a su conjunto unitario. Torza (2015) ha extendido esta crítica a versiones de modalismo sofisticado que buscan salvar la intuición empleando lenguajes modales sofisticados.

estrategias se debe a Shamik Dasgupta (2009, 2011, 2015).

La posición general que Dasgupta presenta en su ensayo *Individuals* (2009) es que la metafísica haría bien en deshacerse del supuesto ontológico de que hay individuos. Un individuo, informalmente hablando, es cualquier cosa que sea sujeto de atributos simpliciter: en esta visión los individuos no pueden ser propiedades de otras cosas, pero si tienen propiedades. Desde un punto de vista formal los individuos son los referentes de las constantes y términos de función en un dominio para una semántica formal de una teoría acerca del mundo. En la metafísica tradicional también se les ha llamado particulares y se les ha contrastado con universales o tropos.

Desde el punto de vista de Dasgupta, la metafísica estaría en terreno más sólido si abandona el supuesto de que existen individuos, pues estos son redundantes en el tipo de teorías que busca generar el metafísico para dar cuenta de varios hechos. Sostiene que debemos abandonar el individualismo, entendido como el compromiso con individuos, en favor del generalismo, entendido como un compromiso sólo con propiedades y relaciones. La argumentación de Dasgupta procede en realidad en tres pasos:

1. Una extrapolación a partir de metodologías en física acerca de qué tipo de metodologías se deben emplear en ciencia.
2. Un argumento de que los individuos son redundantes, desde ese punto de vista metodológico, para teorías metafísicas acerca de lo que hay.
3. Una paráfrasis en términos de un aparato formal del lenguaje de individuos a un lenguaje de propiedades.

El paso 1) es quizá el más relevante para nuestros fines, por lo que lo detallaré al final. Resumiré los pasos 2) y 3) notando que la idea central es que cuando usualmente describimos el tipo de entidades que hay en metafísica, solemos dividir las en al menos dos tipos: individuo y entidades más abstractas e.g. propiedades, relaciones. Dasgupta sostiene que esa división no está bien motivada pues el trabajo filosófico que hace el supuesto de individuos lo pueden hacer perfectamente bien las propiedades y relaciones. Empleando un formalismo inventado por Quine, Dasgupta procede a mostrar cómo es posible encontrar una paráfrasis del lenguaje formal de los individuos e.g. la lógica de primer orden a una lógica que no los presuponga.

Respecto al paso 1), la estrategia general consiste en contrastar dos descripciones del espacio-tiempo que se hicieron en la física clásica pre-relativista. El contraste es entre el espacio-tiempo tal como fue introducido por Newton y la modificación a esa estructura introducida por sus sucesores. Lo que es observable, replicable y predecible a nivel experimental que las leyes de la dinámica son invariantes galileanas i.e. que se preservan en cualquier transformación del tipo: rotaciones, traslaciones e inversiones. Pero para dar cuenta de la invariancia de las leyes de Newton en cualquier marco inercial de referencia y acomodar los datos experimentales las posiciones absolutas son enteramente redundantes. El espacio-tiempo Galileano, que se deshace de esa estructura matemática redundante es, entonces, suficiente para recuperar lo requerido para la mecánica de Newton.

Considérense por ejemplo las objeciones de Leibniz al espacio-tiempo Newtoniano. Si imaginamos un mundo poblado por objetos materiales, y rotamos todos estos objetos de la misma manera, nada observable cambia. Similarmente en los casos donde trasladamos todos los objetos materiales la misma distancia y en el caso donde aumentamos el tamaño de todos los objetos materiales en la misma proporción, ignorando la gravedad y otras fuerzas claro. Dejando de lado la identidad de indiscernibles, que Leibniz emplea en estos casos para reducir al absurdo el sustantivismo, alguien podría sentirse inclinado a pensar que en estos casos el supuesto sustantivista es incorrecto, en la medida en que postula estructura redundante. Sin embargo, como bien señala Nerlich (1994), esas posibilidades para los objetos no son categóricas. Es la estructura del espacio-tiempo euclideo lo que garantiza que las rotaciones, traslaciones e inversiones se comporten de esa manera y por ende que esa sea una genuina posibilidad para ese tipo de estructura espacio-temporal. ¿Qué quiere decir que X contiene estructura redundante respecto a lo que se requiere para dar cuenta de Y? El espacio-tiempo newtoniano tiene estructura métrica, afina y topológica que permite distinguir trayectorias rectas de curvas para un objeto en movimiento, eso es suficiente para dar cuenta de los efectos observables de la aceleración. Sin embargo, la métrica del espacio tiempo newtoniano es tal que para cualesquiera dos puntos p y q en distintos tiempos, desde cualquier marco de referencia, hay una distancia entre ellos. Si la distancia es 0, entonces el objeto está en reposo absoluto. Pero no hay ningún fenómeno dinámico que requiera postular el reposo absoluto para ser explicado. Si X es el espacio-tiempo newtoniano y Y los fenómenos dinámicos, X fundamenta Y, pero X tiene estructura redundante respecto a lo que se requiere para fundamentar Y.

Lo que Dasgupta observa es que este movimiento es estándar en física, al grado que entra en sus principios metodológicos para descubrir nuevas leyes: los principios de simetría. La idea central es que sólo aquello que sobrevive bajo transformaciones relevantes que recuperan lo empíricamente observable es lo objetivo, el resto es estructura redundante.

Shamik Dasgupta, reflexionando sobre el progreso que ha logrado la física al eliminar estructura redundante, plantea el siguiente principio, llamémosle **(D)**:

(D) *“Considera dos teorías acerca de la estructura del mundo material, y asume que descubres que la primera implica que el mundo contiene una redundancia estructural mientras la otra no. Todo lo demás constant es racional elegir la segunda sobre la primera.”*

Jill North en su *The Structure of a Quantum World* (p. 4), al investigar qué estructura física es fundamental en relación a la mecánica cuántica formula su versión el criterio ontológico de Quine: asume que existe aquella estructura suficiente para caracterizar las leyes dinámicas del sistema relevante, capturada en el siguiente principio **(N)**.

(N) *“¿Cómo inferimos la estructura espacio-temporal del mundo de acuerdo a la física fundamental? Nos fijamos en las leyes dinámicas e inferimos la estructura requerida para dar soporte a las leyes. Soporte en el sentido de que las leyes presuponen la estructura; no pueden ser formuladas sin asumir esta estructura. Esto es, nos fijamos en la estructura espacio-temporal necesaria para formular la teoría e inferimos la correspondiente geometría física para el espacio-tiempo del mundo. En particular nos fijamos en las leyes dinámicas formuladas de una*

manera geométrica independiente de las coordenadas (puesto que las formulaciones dependientes de coordenadas pueden requerir estructura que no se necesite realmente) y consideramos la estructura del espacio-tiempo requerida para formular las leyes de esta manera. Inferimos entonces que esa estructura existe en un mundo gobernado por esas leyes. Si las leyes no pueden ser formuladas sin referirse a alguna estructura entonces, plausiblemente, esa estructura debe existir en un mundo gobernado por esas leyes.”

La idea central es simple: asume la menor estructura posible que pueda salvar las apariencias y toma eso como guía a la naturaleza del mundo físico. Llamemos a esta idea destilada **el principio (DN)**. La lección que quisiera derivar de esta discusión es esta: el naturalismo, como filosofía robusta de la ciencia, buscará preservar en su metafísica y sus matemáticas atenuantes sólo aquella estructura necesaria para recuperar las leyes (teoremas) relevantes en el dominio de interés relevante.

4. Del Unitisimo, al Supersustantivismo a la Persistencia 4D via (DN)

En los libros de texto estándar de física elemental (Lindsay, 1939; Shankar, 2014) se suele iniciar al estudiante de la física comenzando por la mecánica clásica. La manera usual de proceder es introducir algún problema sencillo sobre el movimiento en donde la posición espacial está dada en función del tiempo. Un ejemplo paradigmático de análisis filosófico de los elementos introducidos en esos casos está dado por Russell en su *The Principles of Mathematics* (1903). Ahí él desenreda los varios elementos ideológicos y ontológicos involucrados al plantear estas teorías (listados a continuación) y propone la siguiente metafísica del espacio-tiempo a la luz de los mismos. Nos dice (PoM, 438):

“Entre los términos que parecen existir hay, podemos decir, cuatro grandes tipos: (1) instantes, (2) puntos, (3) términos que ocupan tanto puntos como instantes. Parece ser un hecho adicional que no hay términos que ocupen puntos pero no instantes.”

- i) **Eternalismo**⁷⁰: La tesis de que todos los tiempos, pasados, presentes y futuros existen.
- ii) **Endurantismo**:⁷¹ La tesis de que los objetos persisten estando del todo ubicados en distintos tiempos y teniendo propiedades en tiempos.
- iii) **Sustantivismo acerca del espacio**⁷²: La tesis de que los puntos espaciales existen independientemente de la materia.

⁷⁰ “The so-called predicates of a term are mostly derived from relations to other terms; change is due, ultimately, to the fact that many terms have relations to some parts of time which they do not have to others. But every term is eternal, timeless and immutable; the relations it may have to parts of time are equally immutable. It is merely the fact that different terms are related to different times that makes the difference between what exists at one time and what exists at another.” PoM (443). Véase también *The Russellian Theory of Time* por Nathan Oaklander en su (2004).

⁷¹ “The most fundamental characteristic of matter lies in the nature of its connection with space and time. Two pieces of matter cannot occupy the same place at the same moment, and the same piece cannot occupy two places at the same moment, though it may occupy two moments at the same place. That is, whatever, at a given moment, has extension, is not an indivisible piece of matter: division of space always implies division of any matter occupying the space, but division of time has no corresponding implication.” PoM (440)

⁷² Véase PoM. Capítulo 58 para la defensa russelliana del sustantivismo.

- iv) **Sustantivismo acerca del tiempo:** La tesis de que los instantes temporales existen independientemente de la materia.
- v) **Sustantivismo dualista en relación a la materia y el espacio-tiempo:** La tesis de que la materia es algo que existe independientemente del espacio y el tiempo.
- vi) **Separatismo acerca del espacio-tiempo:** La tesis de que el espacio y el tiempo son distintos tipos de objetos: lo que Gilmore, Calosi y Costa llaman separatismo (2016).⁷³

El principio **(DN)** nos dice que busquemos la formulación estructural más parsimoniosa necesaria para dar soporte a la dinámica, que se también independiente de cualquier sistema de coordenadas. Podemos aplicarlo en cada caso para disminuir nuestros compromisos teóricos.

4.1 En Contra del Separatismo

Comencemos por la tesis **separatista**. Inclusive en el caso del espacio-tiempo galileano hay consideraciones de parsimonia que favorecen al unitismo por encima del separatismo. Como hemos mencionado en esta tesis, empezando por el capítulo II, es posible construir los instantes como clases de equivalencia: las clases maximales de puntos p , q tal que p es simultáneo con q . Alguien podría sugerir que el uso de la relación “simultaneo” en la construcción presupone el separatismo, empero este movimiento sería análogo a argumentar que definir los números cardinales como clases de clases de equivalencia bajo la relación de similaridad i.e. biyectividad (como en *Principia Mathematica*), presupone a los números en el análisis. Esto es incorrecto, sin duda tanto en el caso numérico como el temporal un entendimiento preteórico acerca de nociones como numerosidad o temporalidad es esencial al construir modelos más precisos, pero esta ayuda es meramente epistémica. Similaridad puede definirse empleando nociones puramente lógicas y simultaneidad puede sustituirse en el contexto del espacio-tiempo galileano por distancia espacial: un instante es una clase maximal de puntos p , q tal que existe una distancia espacial entre p y q , independientemente del marco de referencia.

En el espacio minkowski el unitismo es inclusive más sencillo de obtener a la luz del principio **DN**: no hay estructura suficiente en el espacio minkowski que permita definir una noción de simultaneidad invariante en cualquier marco de referencia. No hay una manera, independientemente de un sistema de coordenadas, de dividir al mundo en dos clases de entidades, tiempos y espacios. Es verdad que nada en la estructura del espacio minkowski impide introducir estructura redundante i.e. tiempos e identificarlos con hipersuperficies *space-like* arbitrarias, sin embargo el resultado de esta maniobra sería una teoría metafísica que tendría estructura redundante y que distinguiría entre aquellas hipersuperficies *space-like* que son tiempos de aquellas que no a través de sistemas de coordenadas, los cuales no son fundamentales. El resultado iría contra el principio **(DN)** que hemos adoptado a la luz de la discusión en la sección anterior. Tenemos entonces buenas razones para adoptar el unitismo: el espacio y el tiempo no son más que aspectos de un objeto más fundamental, el espacio-tiempo.

4.2 Del Unitismo al 4D

La adopción del unitismo nos permite replantearnos el argumento por analogía entre el espacio

⁷³Esta elucidación de la posición Russelliana en filosofía de la física en PoM aparece también en mi artículo con Emiliano Boccardi *Contradictions in Motion* el cual saldrá publicado HumanaMente pronto.

y el tiempo (Sider, 2001) introducido en el capítulo I. La esencia del argumento es que el parecido entre el tiempo y el espacio en términos de extensión, divisibilidad, ubicación y demás sugiere que así como los objetos tienen partes espaciales, también deben tener partes temporales, lo cual es suficiente para establecer la tesis (4D) en su versión mereológica. Pero he argumentado que el tiempo y el espacio no son más que aspectos del espacio-tiempo. En el espacio-tiempo galileano la extensión temporal no es otra cosa que la ocupación de varias regiones *space-like* disyuntas, continuas. Mientras que la extensión espacial no es más que la ocupación de alguna subregión propia de una región acronal. Ningún objeto puede ocupar una posición espacial sin ocupar una posición temporal y viceversa. Sostener en este contexto que un objeto puede tener partes espaciales sin tener partes temporales es una maniobra cuya única motivación es salvar la intuición endurantista, pero es enteramente redundante en relación con las leyes dinámicas, la instanciación de propiedades, etc y es por ende contrario al principio (DN).

En el contexto del espacio minkowski la presión para aceptar partes temporales a la luz de unitismo y el principio (DN) es aún más fuerte. Como he señalado, en el espacio minkowski no es posible distinguir instantes temporales, en el sentido de hipersuperficies *space-like* donde todo evento es simultáneo de manera invariante, de regiones espaciales sin el uso de marcos de referencia, los cuales no son fundamentales. En estos espacios no hay ninguna noción de parte temporal que pueda recuperarse a partir de su estructura fundamental. Es posible hablar de partes espacio-temporales, las cuales son más “espaciales” o “temporales” dependiendo del marco de referencia desde donde se les observe. Aceptar que hay partes espaciales en este contexto necesariamente implica aceptar partes temporales, no son más que descripciones de las mismas partes desde distintos marcos de referencia. El unitismo por sí sólo no es suficiente para llegar al perdurantismo, sin embargo el unitismo junto con el principio (DN) y la estructura mínima que éste recomienda adscribirle al espacio-tiempo nos lleva a decir que si los objetos en un espacio minkowski tienen partes espaciales, entonces tienen partes temporales, lo cual es suficiente para el perdurantismo mereológico.

4.3 Persistencia (4D) sin Partes Fundamentales

Pero es posible fortalecer el caso aún más. Si nos fijamos en la estructura topológica del espacio-tiempo es sobresaliente que la relación de subregión se comporta exactamente como la relación de parte en la axiomatización de la mereología clásica que hemos venido manejando. Este es un hecho que Daniel Nolan también nota en su *Balls and All* (2014, p. 28)⁷⁴. La relación de subregión es una relación reflexiva, transitiva, antisimétrica que además satisface suplementación fuerte, esto es, que si y no es parte de x , entonces existe un z que es parte de y pero no se traslapa con x : $\neg Pyx \rightarrow \exists z(Pzy \ \& \ \neg Ozx)$. Es posible notar también que “subregión” satisface fusiones finitas e infinitas (la fusión de cualesquiera subregiones es una subregión) y que, como en Lewis (1984), el mundo es una fusión maximal de objetos espacio-temporalmente conectados i.e. las subregiones y sus ocupantes materiales, por lo que existe un objeto total del cual todo objeto es subregión.

⁷⁴Si bien Nolan (2014) usa la relación de subregión para hacer trabajo similar a la noción de parte en su propuesta, en la medida en que acepta todo tipo de posibilidades metafísicas exóticas esto le impide seguir un principio como (DN). Es interesante notar que muchos metafísicos preferían aceptar estructura redundante respecto a nuestras mejores teorías que renunciar a sus intuiciones modales. Desde luego no comparto esta posición.

En virtud del hecho de que tenemos dos ideologías que hacen el mismo trabajo pero una de ellas es claramente más fundamental i.e. la ideología espacio-temporal de nuestras mejores teorías, el principio (DN) requiere extirpar la ideología menos fundamental que hace trabajo redundante. Esto colapsa el perdurantismo mereológico en el perdurantismo de ubicación: **un objeto persiste en el espacio-tiempo si y sólo si está débilmente ubicado en cada subregión *space-like* de su sendero y ocupa exactamente su sendero.**

En el contexto del espacio-tiempo tanto galileano, como minkowski, la estructura matemática subyacente garantiza que sin importar las condiciones sobre subregiones, existe una fusión de esas subregiones⁷⁵. De esto no podemos inferir que cualquier fusión de objetos materiales es un objeto material, pues seguimos en un contexto en donde no hemos rechazado el dualismo sustantival. Empero el universalismo sobre subregiones garantiza que cualquier objeto material persistente está débilmente ubicado en cada subregión de su sendero, lo cual es suficiente para dar cuenta del cambio y la instanciación de propiedades de manera perdurantista.

En este contexto podemos señalar que los axiomas de la mereología extensional clásica tienen como modelo no pretendido el dominio de puntos espacio-temporales. Esto no es ninguna sorpresa, en tanto la relación de subregión se comporta también como la relación de subconjunto. Sobre este punto Varzi (2014, p. 11) señala:

“La relación de parte axiomatizada en la mereología extensional general tiene esencialmente las mismas propiedades que la relación de subconjunto en la teoría de conjuntos estándar, salvo la existencia de una entidad nula que corresponde al conjunto vacío. Efectivamente, la relación de parte es virtualmente isomorfa a la relación de inclusión restringida al conjunto de todos los conjuntos no vacíos de un conjunto dado, es decir, es un álgebra booleana completa sin el elemento cero.”

4.4 Del Unitismo al Supersustantivismo

La adopción del unitismo a la luz del principio (DN) nos libera para argumentar desde una posición más amigable hacia la tesis supersustantivista. Esto es así por al menos dos razones, una conceptual y una vinculada a la estructura de nuestras mejores teorías científicas.

⁷⁵ La estructura formal del espacio-tiempo hace mucho del trabajo en este contexto y el principio (DN) nos encamina a aceptarla. Sin embargo, si algún metafísico *a priori* resistiera adscribirle toda esa estructura al espacio-tiempo también podríamos esgrimir el argumento de la vaguedad en su contra. Podemos observar que también es posible recuperar así el axioma de fusión universal. Recordemos que la pregunta de la composición especial en relación a objetos materiales es: ¿Qué condiciones C deben satisfacer cualesquiera objetos materiales para componer otro objeto? (van Inwagen, 1990) Pero a la luz del argumento de la vaguedad presentado en el capítulo I, cualquier restricción plausible sobre composición al ser vaga, dejando de lado la posibilidad de ninguna restricción (nihilismo mereológico) que es claramente implausible en el contexto de subregiones espacio-temporales, deja indeterminado cuántos objetos hay en el mundo, pero esto no puede ser el caso porque no hay nada en la ideología necesaria para formular la pregunta de cuántos objetos hay en el mundo (cuantificación, identidad y un predicado “es concreto”) que sea susceptible de ser vago. Esto es suficiente para fusiones universales en el espacio, pero en virtud del unitismo, no hay regiones puramente espaciales, hay regiones espacio-temporales. Si esto es así, el universalismo diacrónico se sigue y éste implica la tesis de localidad temporal (Sider, 2001) definida en el capítulo III de esta investigación, la cual es suficiente para el perdurantismo.

El argumento conceptual es que en el separatismo cada punto o región del espacio⁷⁶ persiste en el tiempo en el sentido del endurantismo de ubicación i.e. cada punto o región del espacio está múltiplemente ubicada en cada instante (Russell, 1903, 1927; Gilmore, Costa y Calosi, 2016). Las regiones del espacio-tiempo sustantivista en la versión unitista, además de ser fundamentalmente regiones espacio-temporales, persisten de forma perdurantista (Schaffer, 2009) i.e. está cada una exactamente ubicada en una sola región puesto que se ubica trivialmente en sí misma y se ubica débilmente en cualquier subregión propia de sí misma. Pero entonces el separatismo es incompatible con el supersustantivismo⁷⁷.

El argumento desde nuestras mejores teorías científicas es que, empezando por la formulación de la mecánica clásica en el espacio-tiempo galileano y pasando por la relatividad especial, la relatividad general y la teoría cuántica de campos relativista, todas ellas no sólo son más naturalmente interpretadas en un marco conceptual unitista, sino que además el principio **(DN)** nos llevaría a descartar la postulación de tiempos y espacios como categorías fundamentales en tanto introduce estructura redundante y dependiente de un marco de referencia.

Habíamos visto en la sección 2 que Skow (2005) propone un argumento newtoniano en favor del supersustantivismo, cuya esencia era que si el espacio-tiempo puede hacer el trabajo de nuestras mejores teorías físicas sin necesidad de postular objetos materiales entonces debemos adoptar el supersustantivismo. Esta es una versión el argumento de la parsimonia, menos detallada en su metodología que alguna versión que emplearía el principio **(DN)**, pero cuyo espíritu es a fin de cuentas el mismo. Hay al menos dos problemas que esta posición debe ser capaz de responder:

1. ¿Cómo integrar los campos a esta concepción del espacio-tiempo?
2. ¿Cómo explicar el movimiento de partículas u otros objetos materiales con estos recursos?

Sobre el punto 1, los argumentos de Schaffer (2009) y Field (1987) discutidos en la sección 2 muestran en qué sentido uno podría interpretar los campos directamente como propiedades del espacio-tiempo sin necesidad de intermediarios. En esa sección había indicado en línea con la crítica de Lehmkuhl (2015) que alguien bien podría tomar la noción de “pedazo de campo” como fundamental y predicar ubicaciones de éstas. Este argumento, sin embargo, no es un argumento en favor del sustantivismo dualista por encima del sustantivismo, sino un argumento en favor de un tipo de monismo de sustancia (campos) por encima de otro monismo de sustancia (espacio-tiempo)⁷⁸, por lo que no afecta las explicaciones de Schaffer y Field. Es posible y más parsimonioso, en línea con **(DN)**, interpretar a los campos como propiedades del espacio-tiempo directamente, que como propiedades de objetos materiales intermediarios.

⁷⁶ Dos defensas del sustantivismo respecto a tiempos en contextos separatistas son las de Russell (1900, 1903) y Newton-Smith (1980).

⁷⁷ Es posible que haya espacio conceptual para una versión separatista de super-sustantivismo. Pero esa versión, además de que no es claro cómo podría embonar con versiones relativistas de nuestras mejores teorías en física, no ha sido hasta la fecha formulada. Por lo tanto no diré más sobre este punto en esta investigación.

⁷⁸ Es importante indicar que por “monismo de sustancia” entiendo la tesis de que existe sólo un tipo de sustancia. Ésta tesis es diferente de la tesis del monismo ontológico, la cual sostiene que hay sólo un objeto: el mundo.

En relación al punto 2, Skow (2005, p. 81) argumenta que podemos valernos de una interpretación 4D del movimiento, que no desarrolla con demasiada profundidad. Efectivamente, esta es una interpretación de la teoría russelliana del movimiento (Russell, 1903). Recientemente Calosi y Fano (2014) han defendido esta teoría del movimiento por encima de las alternativas, indicando que es un nuevo contendiente, sin embargo como he defendido en (Macías-Bustos, 2016) y en (Boccardi y Macías-Bustos, 2017), esta teoría del movimiento es una extensión natural de la teoría russelliana en contextos unitistas. Lo que es más, Russell había avanzado ya esta versión de la teoría en *The Analysis of Matter*, también en línea con un principio de parsimonia en el contexto del unitismo. (1927, 1954, p. 246).

“Puede verse que, si un pedazo de materia es una colección de eventos, la distinción entre movimiento y otros cambios continuos no es tan fácil como parecía. Podemos formar series continuas de eventos que no pertenecen todos a un pedazo de materia; por lo tanto el cambio de una a otra no constituirá un movimiento. Un movimiento es una colección de eventos conectados el no con el otro de acuerdo a las leyes de movimiento. Un “movimiento” es una colección de eventos conectados mutuamente de acuerdo a las leyes del movimiento. Esto puede parecer un círculo vicioso, pero de hecho no lo es. Lo que afirmamos es esto: existen colecciones de eventos conectados mutuamente de acuerdo a las leyes de movimiento; una de tales colecciones es lo que llamamos “pedazo de materia” y la transición de un evento a otro es llamada “movimiento”. Esto contiene tanto como es verificable en física, en tanto todo percepto es un evento. No hay ninguna ventaja matemática en afirmar más, puesto que hacerlo requeriría ir más allá de la evidencia. Por lo tanto es prudente, en física, considerar un electrón como un grupo de eventos conectados de cierta manera. Puede que un electrón sea una “cosa”, pero es absolutamente imposible obtener ningún tipo de evidencia en favor en contra de esta posibilidad, que no es científicamente importante, puesto que el grupo de eventos tiene todas las propiedades requeridas.”

La teoría russelliana en-en del movimiento (Russell, 1903; Sider, 2001) sostiene que un objeto X está en movimiento si y sólo si X ocupa diferentes posiciones en un intervalo continuo en tiempos arbitrariamente cercanos; X está en reposo durante un intervalo de tiempo si ocupa la misma posición en tiempos arbitrariamente cercanos. La versión unitista de esta teoría en el contexto de un espacio-tiempo sin marcos de referencia fundamentales sostiene que un objeto X está en movimiento si existen diferentes sub-regiones propias de X que están *time-like* conectadas y vinculadas por las leyes de movimiento. Como la distinción entre reposo y movimiento no es fundamental, no es necesario distinguir esos estados en esta versión de la teoría. Su versión sustantivista vincula diferentes regiones del espacio-tiempo *time-like* conectadas en donde la distribución de propiedades materiales cambia de acuerdo a las leyes del movimiento. Es posible entonces interpretar el movimiento en el contexto del super-sustantivismo unitista en línea con el principio (DN).

Sobre este punto es ilustrativo considerar la solución a la paradoja de la flecha de Zenón. La solución estándar de la paradoja de la flecha (Russell, 1903) acepta la metafísica que se integra armoniosamente con la estructura formal que se postula para el mundo físico. La solución de Russell en *The Analysis of Matter* (1927) reformula su teoría del movimiento en términos más naturales al espacio-tiempo tetradimensional de la teoría de la relatividad. Efectivamente, el universo bloque contiene una flecha como un gusano-espacio temporal que existe *sub specie*

aeternitatis. Todos los objetos materiales en un universo bloque tienen una trayectoria o más bien podría decirse que son la trayectoria 4D: el gusano espacio-temporal. Ese gusano tiene segmentos temporales en cada superficie space-like que intersecta (perdurantismo) que corresponden a la flecha en diferentes instantes; el gusano no se mueve en ese objeto tetradimensional que es el universo bloque, pero decimos del objeto “flecha” i.e. el segmento temporal del gusano, se mueve en tanto todos los segmentos temporales en tiempos arbitrariamente cercanos ocupan diferentes posiciones espaciales. Decimos que la flecha se mueve entre un punto y otro cuando los segmentos temporales de la flecha convergen en el universo bloque a alguna posición en algún tiempo y a otra en otro. Ver el movimiento de la flecha como una suma de estados de reposo es haber fallado en internalizar los conceptos: la estructura abstracta revela que la esencia del movimiento aquí son nociones de orden. Esta metafísica puede sonar exótica, pero no es más que la interpretación más parsimoniosa del formalismo relativista que permite salvar los fenómenos: es explicativa, simple en términos de conceptos primitivos, tiene poder predictivo; es coherente, inteligible y capaz de generar soluciones para otras problemáticas filosóficas en la filosofía del espacio-tiempo⁷⁹.

4.5 Del Supersustantivismo a 4D

Podría pensarse a la luz de la discusión de la sección anterior que la persistencia 4D se sigue automáticamente del supersustantivismo. Después de todo, si las regiones del espacio-tiempo persisten perdurando y todo objeto material es una región del espacio-tiempo esto querría decir que los objetos materiales persisten perdurando. Empero, Cody Gilmore (2014) ha argumentado que el endurantista tiene aún un haz bajo la manga.

En su (2009) Schaffer distingue entre al menos tres versiones de supersustantivismo:

1. **Supersustantivismo de Identidad Irrestricada:** Toda región del espacio-tiempo es un objeto material.
2. **Supersustantivismo de Identidad Restricada:** Sólo algunas regiones del espacio-tiempo son objetos materiales.
3. **Supersustantivismo de Constitución Material:** Los objetos materiales están constituidos por regiones del espacio-tiempo.

Las versiones 1 y 2 de supersustantivismo, al ser teorías de identidad, implican la persistencia 4D, sin embargo la versión 3 es consistente con el endurantismo 3D. Esta versión, sugerida por primera vez por Hawthorne (2006), sostiene que los objetos materiales están hechos de los mismos ingredientes que las regiones espacio-temporales que los constituyen, pero que la relación entre ellos no es de identidad sino de coincidencia mereológica.

El caso análogo es aquel aceptado por teorías que aceptan objetos mereológicos coincidentes e.g. la estatua y la arcilla pueden coincidir a lo largo de la totalidad de sus senderos o pueden coincidir parcialmente. Esta tesis es, por ejemplo, incompatible con la versión de perdurantismo de Sider en su *Fourdimensionalism*, en la cual dos objetos coinciden si y sólo si comparten partes temporales. En su *Threedimensionalism* John Hawthorne (2006) argumenta que entre el

⁷⁹ Este párrafo, menos algunas modificaciones, aparece en mi artículo *Movimiento e Inconsistencia: Una Defensa Russelliana del Movimiento* (2016).

endurantismo y el perdurantismo, como formulados de manera estándar, hay una serie de posiciones intermedias consistentes que buscan recuperar intuiciones de ambas posiciones, preservando algunas fortalezas. La estatua y la arcilla tienen perfiles modales diferentes, por lo que una posición como 3 podría acomodar este hecho⁸⁰.

En la versión de Gilmore (2014, p. 7) la posición involucra regiones espacio-temporales perdurantes *r* y objetos materiales *o* que está temporalmente extendida y co-ubicada con *r* pero que no tiene partes temporales. Para que esta estrategia sea consistente con la co-ubicación el endurantista supersustantivista debe renunciar al axioma de suplementación fuerte mencionado en la sección 4.3, puesto que este axioma en conjunción con los axiomas básicos de la mereología implica extensionalidad i.e. ningunos objetos distintos pueden tener las mismas partes (Varzi, 2014).

El principio **(DN)** sugiere de inmediato tres problemas con la propuesta de Gilmore aun concediendo que es conceptualmente coherente:

En primer lugar, nos obliga de nuevo a reintroducir una relación primitiva de parte, en lugar de tener una única relación fundamental que estructure la relación parte-todo en el dominio de objetos materiales, como habíamos argumentado que puede hacer la relación de subregión. En su propuesta necesitamos ideología adicional para estructurar dos diferentes relaciones parte-todo sobre un único tipo de objeto material, el espacio-tiempo. Si los beneficios excedieran los costos el intercambio tendría sentido, sin embargo explicar los distintos perfiles modales entre las regiones espacio-temporales y los objetos materiales no requiere esta maniobra, puede ser perfectamente explicado mediante la relación de contraparte modal⁸¹ (Sider, 2001) asumida en el capítulo I sin introducir esta ideología adicional.

Si bien Gilmore (p. 6) sugiere que esta teoría es compatible con una interpretación supersustantivista de los campos sobre el espacio-tiempo en línea con observaciones de Schaffer (2009), no es claro cómo esta teoría explicaría el movimiento de objetos materiales, el cual hemos visto puede ser adecuadamente explicado en términos perdurantistas extendiendo la teoría Russelliana del movimiento a un espacio-tiempo unitista tetradimensional. No es posible decir simplemente que los objetos endurantes en esta versión supersustantivista se mueven si están exactamente ubicados en diferentes regiones *space-like* que intersectan sus senderos, puesto que la propuesta de Gilmore acepta que los objetos materiales están exactamente ubicados en sus senderos, es decir, son objetos perdurantes de ubicación y endurantes sólo mereológicamente.

Pero este último punto hace referencia a un costo adicional. La propuesta de Gilmore reintroduce, a nivel fundamental, las posiciones 3D-mereológico, 3D-ubicación, 4D-mereológico y 4D-ubicación que habíamos colapsado con el principio **(DN)** en sólo dos tipos de posiciones, las de ubicación. Sin embargo más allá de su utilidad en defender intuiciones modales que parece

⁸⁰ El perdurantista, empero, siempre puede explicar los perfiles modales diferentes en términos de una teoría de contraparte que rastrea similitud en diferentes contextos, sin necesidad de renunciar a la identidad. Véase Sider (2001) y Skow (2005).

⁸¹ Introducir la teoría de contraparte modal no requiere postular mundos posibles concretos a la Lewis (1986) o una relación especial de identidad transmundo. Es una teoría perfectamente axiomatizable en un lenguaje de primer orden (Lewis, 1983) presupuesto en prácticamente todas nuestras matemáticas.

redundantes respecto al poder explicativo de nuestras mejores teorías, estas diferencias no están suficientemente motivadas y por ende son redundantes respecto a (DN).

Por las anteriores consideraciones es razonable concluir que la posición supersustantivista tipo 3 debe ser rechazada en favor de sus rivales del tipo 1 o 2. Pero estas versiones implican la persistencia 4D.

5. Un Estudio de Caso: El Argumento Explicativo de Balashov

Balashov (1999, 2009, 2010) ha introducido en la literatura un argumento que ha dado mucho de qué hablar (Gibson y Pooley, 2006; Gilmore, 2008) y que considero puede ser defendido armoniosamente desde la posición que hemos articulado en este capítulo.

El argumento está inspirado en *Flatland* de Edwin Abbott (1884). Imaginemos un mundo de dos dimensiones que es atravesado por una esfera tridimensional. ¿Cómo explicarían los científicos de ese mundo la dinámica de ese objeto: en algún tiempo, se ve primero como un punto bidimensional, ha medida que avanza el tiempo su tamaño se va ensanchando hasta que finalmente encoge de nuevo y desaparece. Los científicos de Flatland podrían explicar al objeto como un único objeto 2D, multiubicado en distintos tiempos, que tiene diferentes tamaños en distintos tiempos. Estarían, sin embargo equivocados. Sus perspectivas bidimensionales los han engañado en suponer que es un objeto 2D, pero si tuvieran a la mano una concepción de una física tridimensional sería más económico explicar las propiedades del objeto geoméricamente: como un objeto 3D cuyos cortes 2D son los observables en ese mundo.

Una posible reconstrucción del argumento es la siguiente, basada en Gilmore (2008):

- 1) Si un objeto persistente es espacialmente tridimensional pero habita un espacio-tiempo relativista, entonces, para cualquier punto espacio-temporal p en su sendero espacio-temporal habrá muchas segmentaciones acronales en su sendero que intersecten p .
- 2) Estas segmentaciones tridimensionales variarán en forma dependiendo del ángulo en el que intersecten el sendero.
- 3) Si tomamos todas las segmentaciones acronales en el sendero del objeto, encontraremos que a pesar de sus diferencias en tamaño y forma se combinan para formar un simple y continuo volumen 4D invariante desde cualquier marco de referencia.
- 4) Pero el endurantismo no puede explicar adecuadamente este hecho.
- 5) El perdurantismo puede explicar este hecho, señalando, que las diferentes formas 3D se combinan en una suma que es un volumen continuo y simple 4D porque cada una de éstas no es más que un segmento transversal del objeto 4D, i.e., la forma invariante del objeto 4D está en la base de las diferentes formas 3D desde distintos marcos de referencia.
- 6) Si dos teorías pueden dar cuenta de diversos fenómenos pero una de ellas tiene mayor poder explicativo, entonces, esa es preferible.

Conclusión: El perdurantismo es preferible.

Como señalan Sider (2001), Gibson y Pooley (2006) el endurantista puede valerse de las leyes dinámicas y las relaciones de gen-identidad para explicar las formas de los objetos 3D sin apelar a la forma invariante 4D del sendero espacio-temporal. Puede también argumentar que la forma del sendero 4D y las propiedades mereológicas en los segmentos acronales del sendero para explicar la diversidad de formas 3D. Balashov (2010) argumenta en respuesta que este tipo de explicaciones no suelen ser aceptables en otros dominios epistémicos, i.e., uno busca entender por qué ciertos objetos materiales y las partículas que los componen se comportan de ciertas maneras en ciertas condiciones: ¿por qué ciertas reacciones químicas son posibles? ¿Por qué el objeto cilíndrico no cabe en la apertura cuadrangular? Una explicación en términos de partículas y relaciones de gen-identidad, si bien puede salvar el fenómeno, carece de poder explicativo en estas instancias mientras que las explicaciones geométricas suelen poseer bastante naturalidad y simplicidad. En el caso del endurantista que apela al sendero 4D, en la medida en que se vale de esta región espacio-temporal invariante parece estar en desventaja respecto al perdurantista.

La naturalidad y simplicidad que acompañan estas explicaciones pueden ser meros espejismos epistémicos, nociones que son fáciles de entender para seres como nosotros no en virtud de anclarse de juntas metafísicas en la realidad sino como un simple efecto secundario de nuestra cultura o andamiaje cognitivo. Sin embargo, pareciera que en general la simplicidad ideológica y el poder explicativo suelen casi invariablemente ir de la mano de teorías realmente sustanciales en física, biología, matemáticas, etc. Que estas virtudes teóricas pueden también acompañar otros fenómenos de espejismo epistémico no malbarata sus credenciales como buenas guías en el teorizar. Lo más probable es que estén indicando una junta en la realidad en ausencia de evidencia de lo contrario.

Ahora bien, en relación con la posición que hemos adoptado en este capítulo, en un espacio-tiempo supersustantivista con regiones espacio-temporales perdurantes el movimiento de las partículas no es otra cosa que una conexión *time-like* entre regiones espacio-temporales *space-like*, vinculadas de acuerdo a leyes dinámicas. Introducir las formas que adoptan las partículas en diferentes regiones *space-like* para explicar la forma del volumen 4D nos devuelve a una explicación menos fundamental que aquella que ya tenemos a la mano en términos de la geometría del espacio-tiempo. Efectivamente, la explicación en términos de partículas no sólo no armoniza bien con el principio (DN), rompe también con un esquema explicativo detallado que he argumentado es capaz de salvar los distintos fenómenos, al explicar lo fundamental en términos de lo derivado. Requiere una suerte de conexión necesaria no basada en la geometría entre las partículas endurantes y la suavidad universal de sus volúmenes 4D, que es innecesaria en el marco conceptual que he venido elaborando.

CONCLUSIÓN

En este trabajo de investigación he buscado defender **la tesis de que los objetos materiales persisten en el espacio-tiempo de manera perdurantista (4D), estando débilmente ubicados en cada subregión *space-like* de sus senderos**. Para argumentar a favor de esa tesis fue necesario hacer mucho trabajo filosófico. A continuación doy un resumen de los resultados alcanzados en cada uno de los capítulos, cada uno de los cuales juega un papel crucial en la formulación y defensa de esa tesis.

En el capítulo I introduje varios presupuestos de metafísica y filosofía de la ciencia; el problema de la persistencia y los diferentes modelos que pretenden resolverlo. Específicamente, contextualicé mi discusión en el marco del realista selectivo en filosofía de la ciencia, ya sea el realista científico o el realista estructural que consideran que el mundo tiene ya sea la ontología o la estructura (o ambas) que le adjudican nuestras mejores teorías científicas. En línea con esas reflexiones, introduje también presupuestos sobre ideología y fundamentación siguiendo en esto a Sider (2011). De acuerdo a esta posición, nuestro discurso acerca de la realidad es más o menos fundamental. El discurso es más fundamental si su ideología corresponde a las juntas de la realidad, esto es, si el mundo tiene la estructura cuantificacional, de propiedades y relaciones que corresponden a la ideología de algún discurso. El mejor candidato a discurso fundamental es el discurso científico: las teorías y modelos científicos. En el caso del espacio-tiempo, las diversas estructuras espacio-temporales que nuestras mejores teorías dinámicas le adscriben al mundo. El supuesto de que sólo la ideología fundamental indica juntas en la estructura de la realidad guía muchos de los desarrollos posteriores. Otros supuestos son el eternalismo y el sustantivismo.

En el capítulo II examiné a detalle las diversas estructuras espacio-temporales a la luz de las cuales se investigó el problema de la persistencia. La estructura del espacio-tiempo newtoniano, la estructura del espacio-tiempo galileano y la estructura del espacio-tiempo *minkowski*. Para poder examinar esas estructuras introduje algunas nociones de teoría de conjuntos, un lenguaje universal para el estudio de estructuras matemáticas. Con esto a la mano planteé que para dar soporte a las leyes dinámicas se requiere que el espacio-tiempo tenga estructura topológica, estructura afin y estructura métrica. Describí como el espacio-tiempo galileano se deshace de estructura redundante i.e. aquella que es físicamente indetectable, como la que se requiere para hablar de posiciones absolutas. Describí también como el espacio-tiempo *minkowski* posee una estructura de cono de luz en cada punto tal que divide desde ese punto a las regiones en aquellas que están conectadas con el punto de manera *time-like*, *space-like* y *light-like*. Para cualesquiera dos puntos, si tienen alguna de esas conexiones, las tienen en cualquier marco de referencia. Introduje la noción de **superficie de Cauchy** como una hipersuperficie *space-like* maximal que es el candidato más plausible para la noción de momento temporal en el espacio-tiempo *minkowski*. Concluí que formular las nociones claves del debate sobre persistencia a través del tiempo en el contexto de estas estructuras espacio-temporales nos obliga a llevar a cabo una reconstrucción conceptual detallada. Sólo teniendo esta última a la mano es posible de nuevo preguntarse si alguna de las posiciones tradicionales sobrevive y de ser así, si sale favorecida.

En el capítulo III introduje herramientas de mereología y teoría de la ubicación, con el objetivo de capturar de manera precisa el contenido formal de los conceptos de “parte” y “ubicación”. El objetivo siendo arrojar luz sobre la constitución de los objetos materiales y el espacio-tiempo que ocupan. Señalé que dada la multiplicidad de posibles teorías meteorológicas, todas *prima facie* consistentes, así como las diferentes maneras de conceptualizar la relación de ocupación era una

posibilidad conceptual la violación de la tesis de la armonía mereológica **MH**, de que los objetos materiales tienen exactamente las mismas propiedades mereológicas que las regiones espacio-temporales que ocupan. Argumenté sin embargo que no tenemos buenas razones para considerar estas posibilidades conceptuales como posibilidades metafísicas, por lo que un análisis filosófico correcto de la persistencia bien podía presuponer la tesis derrotable de la armonía mereológica.

En el capítulo IV finalmente exploro maneras de reformular los modelos sobre persistencia a través del tiempo en el contexto de nuestras mejores teorías físicas sobre el espacio-tiempo, empleando las herramientas de la mereología clásica. El problema es el de especificar qué quiere decir que un objeto exista en un tiempo; que tenga una parte en un tiempo; que esté del todo presente en un tiempo y demás para espacios newtonianos, galileanos y minkowski. Distinguí dos variedades conceptuales de persistencia en línea con el trabajo de Gilmore, la mereológica y la de ubicación, estas van de la mano solamente si **MH** es verdadera, pero no habíamos visto antes necesidad de abandonar la tesis. Después de explorar varias propuestas y observar algunas de sus dificultades encuentro que las propuestas de Yuri Balashov, que funcionan bien en espacios newtonianos y galileanos, son problemáticas en espacios minkowski en la medida en que su formulación privilegia los marcos de referencia de los objetos materiales cuyas condiciones de persistencia busca formular, pero estos son más naturalmente interpretados como artefactos convencionales que no son parte de la geometría del espacio-tiempo minkowski. Por esa razón, terminé defendiendo la formulación de Claudio Calosi y Vincenzo Fano, la cual preserva las ventajas de otras formulaciones sin las desventajas del marco metodológico de Balashov.

En el capítulo V defendí que hay dos estrategias argumentativas hacia la persistencia 4D, en su versión perdurantista, que parten de disputas acerca de la naturaleza del espacio-tiempo: unitismo vs. separatismo y sustantivismo vs. supersustantivismo. Después de desarrollar las posiciones y revisar algunos de los argumentos tradicionales he introducido consideraciones metodológicas que han emergido en el contexto de la meta-metafísica de la física⁸² como principios sólidos que deben guiar una metafísica naturalista. A la luz de estos principios examiné los compromisos de las posiciones en disputa, llegando al unitismo por un lado y al supersustantivismo por el otro. En ese contexto defendí que hay una argumentación sólida que va desde el unitismo a la persistencia 4D en un caso y del supersustantivismo a la persistencia 4D en el otro. Finalmente examiné un argumento controversial de Yuri Balashov como estudio de caso para mostrar como mi esquema conceptual lo integra armoniosamente.

⁸² Si bien tienen antecesores distinguidos, por ejemplo en Russell (1907, 1914, 1915, 1918, 1927 y 1954).

BIBLIOGRAFÍA

1. Abbott, E. A. (2006, 1st ed. 1884). *Flatland: A romance of many dimensions*. OUP Oxford.
2. Arntzenius, F., 2000, Are There Really Instantaneous Velocities?, *The Monist* 83:187–208.
3. Albert, D. Z. (1994). *Quantum Mechanics and Experience*. Harvard University Press.
4. Balashov, Y. (2000). Enduring and perduring objects in Minkowski space-time. *Philosophical Studies*, 99(2), 129-166.
5. Balashov, Y. (2008). Persistence and multilocation in spacetime. *Philosophy and Foundations of Physics*, 4, 59-81.
6. Balashov, Y. (2010). *Persistence and Spacetime*. Oxford University Press.
7. Balashov, Y. (2000). Persistence and space-time: Philosophical lessons of the pole and barn. *The Monist*, 83(3), 321-340.
8. Balashov, Y. (1999). Relativistic objects. *Noûs*, 33(4), 644-662.
9. Baker, D. J. (2016). Does String Theory Posit Extended Simples?. *Philosopher's Imprint*, 16(18).
10. Beltrán Mari, A. (2006). Galileo y Urbano VIII. La trama del equívoco.
11. Bigelow, J., and Pargetter, R., 1990, *Science and Necessity*, Cambridge: Cambridge University Press.
12. Bigelow, J., 1991, Worlds Enough for Time, *Noûs* 25: 1-19.
13. Black, M. (1952). The identity of indiscernibles. *Mind*, 61(242), 153-164.
14. Boccardi, E; Forthcoming 2017, *Time as Motion*, *Metaphysica*.
15. Boccardi, E; Macías-Bustos, M. Forthcoming 2017, *Contradictions in Motion*. Humana.Mente.
16. Calosi, C., & Fano, V. (2014). *A New Taxonomy of (Relativistic) Persisting Objects*. *Topoi*, DOI, 10.
17. Calosi, C and Fano, V; 2014, Arrows, Balls and The Metaphysics of Motion, *Axiomathes* 24: 499.
18. Calosi, C., & Graziani, P. (2014). Mereology and the Sciences. *Parts and wholes in the contemporary scientific context*. Springer.
19. Calosi, C, Costa, D, and Gilmore, C; 2016 Relativity and Three Fourdimensionalisms, *Philosophy Compass* 11 (2):102-120
20. Cameron, R. P. (2010). The grounds of necessity. *Philosophy Compass*, 5(4), 348-358.
21. Carroll, J., 2002, Instantaneous Motion, *Philosophical Studies* 110: 49-67.
22. Dasgupta, S. (2009). Individuals: An essay in revisionary metaphysics. *Philosophical Studies*, 145(1), 35-67.
23. Dasgupta, S. (2015). Substantivalism vs relationalism about space in classical physics. *Philosophy Compass*, 10(9), 601-624.
24. Dasgupta, S. (2011). The bare necessities. *Philosophical Perspectives*, 25(1), 115-160.
25. Divers, J. (2006). *Possible worlds*. Routledge.
26. Earman, J. (1989). *World enough and spacetime: Absolute versus relational theories of space and time*. MIT press.
27. Fine, K. (1994). Essence and Modality. *Philosophical Perspectives* 8:1-16
28. Fine, K. (2001). Philosopher's Imprints. *The Question of Realism*, 1(1), 1-30.
29. Field, H. (1984, January). Can we dispense with space-time?. In *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association* (Vol. 1984, No. 2, pp. 33-90).

Philosophy of Science Association.

30. Field, H. (1989) *Realism, Mathematics, and Modality*. Basil Blackwell: New York.
31. French, S. (2014). *The structure of the world: Metaphysics and representation*. Oxford University Press.
32. Friedman, M. (2014). *Foundations of space-time theories: Relativistic physics and philosophy of science*. Princeton University Press.
33. Frigg, R., & Votsis, I. (2011). Everything you always wanted to know about structural realism but were afraid to ask. *European journal for philosophy of science*, 1(2), 227-276.
34. Gallier, J. (2011). Basics of affine geometry. *Geometric methods and applications*, 7-63.
35. Gibson, I., & Pooley, O. (2006). Relativistic persistence. *Philosophical perspectives*, 20(1), 157-198.
36. Gilmore, C. (2014). Building enduring objects out of spacetime. In *Mereology and the Sciences* (pp. 5-34). Springer International Publishing.
37. Gilmore, Cody, "Location and Mereology", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2014 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <https://plato.stanford.edu/archives/fall2014/entries/location-mereology/>.
38. Gilmore, C. (2008). Persistence and location in relativistic spacetime. *Philosophy Compass*, 3(6), 1224-1254.
39. Gilmore, C. (2007). Time travel, coinciding objects, and persistence. *Oxford studies in metaphysics*, 3, 177-198.
40. Gilmore, C. (2006). Where in the relativistic world are we?. *Philosophical perspectives*, 20(1), 199-236.
41. Greene, B. (1999). *The elegant universe: Superstrings, hidden dimensions, and the quest for the ultimate theory*. Vintage.
42. Hager, P; 1987, *Bertrand Russell and Zeno's Arrow Paradox*, Russell: The Journal of Bertrand Russell Studies 7 (1):3
43. Hawthorne, J. (2006). *Metaphysical essays*. Oxford University Press.
44. Hawthorne, J. (2008). *Three-dimensionalism vs. four-dimensionalism*. In Theodore Sider, **John Hawthorne** & Dean W. Zimmerman (eds.) *Contemporary Debates in Metaphysics*. Blackwell Pub. 263--282 (2008).
45. Hobson, A. (2013). There are no particles, there are only fields. *American Journal of Physics*, 81(3), 211-223.
46. Hughes, R. I. G, 1989, *The Structure and Interpretation of Quantum Mechanics*, Harvard University Press.
47. Issacson, W. (2008). *Einstein: His Life and Universe*. Simon and Schuster.
48. Kilborn, W; 2007, *Contact and Continuity in Zimmerman*, D (ed.), *Oxford Studies in Metaphysics Volume 3*, Oxford University Press.
49. Ladyman, J., Ross, D., Spurrett, D., & Collier, J. G. (2007). *Every thing must go: Metaphysics naturalized*. Oxford University Press on Demand.
50. Laudan, L. (1981). A confutation of convergent realism. *Philosophy of science*, 48(1), 19-49.
51. Landau, L y Lifshitz, E; 1982, *Curso Abreviado de Física Teórica, Mecánica y Electrodinámica*, Editorial Mir.
52. Landini, G; 2011, *Russell*, Routledge.
53. Lange, M., 2005, *How Can Instantaneous Velocities Fulfill Their Causal Role*

- Philosophical Review 114 (4):433-468 (2005)
54. Leibniz, G. W. F., & Clarke, S. (1956). *The Leibniz-Clarke Correspondence: Together With Extracts from Newton's Principia and Opticks*. Manchester University Press.
 55. Leftow, B., 2014, Instants, Events, and God, in *Debates in the Metaphysics of Time*, By Nathan Oaklander, Bloomsbury.
 56. Lewis, D. K. (1968). Counterpart theory and quantified modal logic. *the Journal of Philosophy*, 65(5), 113-126.
 57. Lewis, D. K. (1986). *On the Plurality of Worlds*. Oxford.
 58. Lewis, D. K. (1976). The paradoxes of time travel. *American Philosophical Quarterly*, 13(2), 145-152.
 59. Lewis, D. K. (1987). *Philosophical Papers: Volume II*. Oxford university press.
 60. Lehmkuhl, D. (2016). The Metaphysics of Super-Substantivalism. *Noûs*.
 61. Lockwood, M. (2005). *The labyrinth of time: introducing the universe*. Oxford University Press.
 62. Macías-Bustos, M; 2016, Movimiento e Inconsistencia: Una Defensa de la Teoría Russelliana del Movimiento, Rutas Didácticas y de Investigación en Lógica, Argumentación y Pensamiento Crítico, Academia Mexicana de Lógica.
 63. Maudlin, T; 2012, *Philosophy of Physics: Space and Time*, Princeton University Press.
 64. Maudlin, T. (2011). *Quantum non-locality and relativity: Metaphysical intimations of modern physics*. John Wiley & Sons.
 65. Maudlin, T; 2007, *The Metaphysics Within Physics*, Oxford University Press.
 66. Meheus, J. (ed); 2002, *Inconsistency in Science*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
 67. Mendelson, B. (1990). *Introduction to topology*. Courier Corporation.
 68. Mundy, B. (1983). Relational theories of Euclidean space and Minkowski spacetime. *Philosophy of Science*, 50(2), 205-226.
 69. Nerlich, G; 1994, *The Shape of Space*, Cambridge University Press.
 70. Newlands, Samuel, "Spinoza's Modal Metaphysics", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2013 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <https://plato.stanford.edu/archives/win2013/entries/spinoza-modal/>.
 71. Nolan, D. (2014). Balls and all in Kleinschmidt, S. (Ed.). (2014). *Mereology and location*. OUP Oxford.
 72. North, J. (2013). The structure of a quantum world. *The wave function: Essays on the metaphysics of quantum mechanics*, 184-202.
 73. North, J. (2009). The "structure" of physics: A case study. *The Journal of Philosophy*, 106(2), 57-88.
 74. Oaklander, N; 2004, *The Ontology of Time*, Prometheus Books.
 75. Okon, E. (2014). El problema de la medición en mecánica cuántica. *Revista mexicana de física E*, 60(2), 130-140.
 76. Parsons, J. (2007). Theories of location. *Oxford studies in metaphysics*, 3, 201-232.
 77. Putnam, H. (1975) *Mathematics, Matter and Method: Philosophical Papers*, volume 1, London: Cambridge University Press.
 78. Putnam, H. (1967). Time and physical geometry. *The Journal of Philosophy*, 64(8), 240-247.
 79. Priest, G; 1987, *In Contradiction: A Study of the Tranconsistent*. Clarendon Press. Oxford.
 80. Rayo, A., & Uzquiano, G. (2006). *Absolute generality*. Oxford University Press.

81. Robinson, A. , 1966, *Non-standard analysis*. North-Holland Publishing Co., Amsterdam.
82. Russell, B; 1948, *Human Knowledge: Its Scope and Limits*, Simon & Schuster, New York.
83. Russell, B; 2006, 1st ed. 1917, *Mysticism and Logic*, Routledge.
84. Russell, B; 1996, 1st ed. 1914, *Our Knowledge of the External World*, Routledge.
85. 28. Russell, B., 1938, *Principles of Mathematics*, W.W. Norton & Company, inc, New York.
86. Russell, B; 1954, 1st ed. 1927, *The Analysis of Matter*, Dover.
87. Russell, B., 2001 [1929], *The Problem of Infinity Considered Historically*, reprinted in Salmon, W. C., 2001, *Zeno's Paradoxes*, 2nd Edition, Indianapolis: Hackett Publishing Co. Inc.
88. Russell, B; 1981 [1929], *Mathematics and the Metaphysicians*, in *Mysticism and Logic*, B. Russell (ed.). Barnes and Noble Books: Totawa, NJ, 59-74.
89. Saucedo Ceballos, R. (2011). *Parthood and Location*. In *Oxford Studies in Metaphysics* 6. Oxford University Press.
90. Schaffer, J. (2003). Is there a fundamental level?. *Noûs*, 37(3), 498-517.
91. Schaffer, J. On What Grounds What in David Manley, David J. Chalmers & Ryan Wasserman (eds.), *Metametaphysics: New Essays on the Foundations of Ontology*. Oxford University Press. pp. 347-383 (2009)
92. Schaffer, J. (2009). Spacetime the one substance. *Philosophical Studies*, 145(1), 131-148.
93. Schaffer, J. (2013, June). I—Jonathan Schaffer: The Action of the Whole. In *Aristotelian Society Supplementary Volume* (Vol. 87, No. 1, pp. 67-87). The Oxford University Press.
94. Sider, T. (1997) Fourdimensionalism. *Philosophical Review* 106 (2):197-231
95. Sider, T. (2001). *Fourdimensionalism: An Ontology of Persistence and Time*. Clarendon Press, Oxford.
96. Sider, T. (2000). The stage view and temporary intrinsics. *Analysis*, 60(1), 84-88.
97. Sider, T. (2011). *Writing the Book of the World*, Oxford University Press.
98. Simons, P. M. (1987). *Parts: A study in ontology*.
99. Smolin, L. (2007). *The Trouble With Physics: The Rise of String Theory. The Fall of a Science, and What Comes Next* (Mariner, Boston, 2007).
100. Smolin, L. (2002). *Three roads to quantum gravity*. Basic books.
101. Sklar, L. (1977). *Space, time, and spacetime* (Vol. 164). Univ of California Press.
102. Skow, B. (2005). *Once upon a spacetime*. PhD Dissertation: MIT.
103. Suppes, P. (1960). *Axiomatic set theory*. Courier Corporation.
104. Tooley , M; 1988 , In Defense of the Existence of States of Motion, *Philosophical Topics* 16 (1):225-254.
105. Tooley, M., 1997, *Time, Tense, and Causation*, Oxford University Press.
106. Torza, A. (2015). Speaking of Essence. *The Philosophical Quarterly*, 65(261), 754-771.
107. Vaidya, Anand, "The Epistemology of Modality", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 2017 Edition), Edward N. Zalta (ed.), forthcoming URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/sum2017/entries/modality-epistemology/>>.
108. Van Inwagen, O; 1990, *Material Beings*, Cornell University Press.
109. Varzi, A. *Formal Theories of Parthood*. In Claudio Calosi and Pierluigi Graziani (eds.), *Mereology and the Sciences*, Berlin: Springer, 2014, pp. 359–370
110. Varzi, Achille, "Mereology", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter

- 2016 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <https://plato.stanford.edu/archives/win2016/entries/mereology/>.
111. Vickers, P; 2013, *Understanding Inconsistent Science*, Oxford University Press.
 112. Vickers, Peter (2016). *Understanding the selective realist defence against the PMI. Synthese*
 113. Votsis, I. (2003). Is structure not enough?. *Philosophy of Science*, 70(5), 879-890.
 114. Weatherson, B; 2015, *Humean Supervenience*, in *A Companion to David Lewis* (eds B. Loewer and J. Schaffer), John Wiley & Sons, Ltd, Oxford, UK
 115. Wallace, D., & Timpson, C. G. (2010). Quantum mechanics on spacetime I: Spacetime state realism. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 61(4), 697-727.
 116. Woit, P. (2007). *Not Even Wrong: The Failure of String Theory and the Search for Unity in Physical Law for Unity in Physical Law*. Basic Books.
 117. Williamson, T. (2013). *Modal logic as metaphysics*. Oxford University Press.
 118. Zahar, E. (2007). *Why science needs metaphysics: A plea for structural realism*. Open Court Publishing Company.