



Pontificia Universidad Católica Argentina
“Santa María de los Buenos Aires”
Facultad de Filosofía y Letras
Doctorado en Filosofía

JERARQUÍA ONTOLÓGICA Y LA CONTINGENCIA DE LA DIMENSIONALIDAD DEL ESPACIO EN LA OBRA PRECRÍTICA DE KANT

Tesis doctoral presentada por: Gaston E. Giribet

Dirigida por: Dr. Oscar Esquisabel

Fecha de entrega del borrador final: jueves 26 de mayo de 2022

Buenos Aires, Argentina

Resumen: En este trabajo de tesis estudiamos la estructura del espacio en la filosofía de Kant del período precrítico, un período de su filosofía que, a nuestro parecer, no ha recibido la atención apropiada hasta no hace mucho tiempo. La primera tesis que defendemos en este trabajo es que la pregunta metafísica sobre la contingencia de la dimensionalidad del espacio organiza toda la filosofía kantiana del período precrítico. Cuestiones como la relación mente-substancia, la subordinación de los atributos del espacio a las leyes de las fuerzas de la materia, la forma kantiana de la hipótesis de muchos mundos, y muchos otros elementos de la filosofía de Kant del período precrítico pueden pensarse como ramificaciones de la cuestión de la dimensionalidad del espacio. Como una segunda tesis, sostenemos que la filosofía del período precrítico no solo anticipa, sino que también habilita muchos elementos de su filosofía ulterior. Mostrar esto nos exige examinar detalladamente la forma en la que el espacio entra en su filosofía del período crítico, tanto en la estética trascendental como en la analítica trascendental. Comparamos la filosofía natural kantiana del período crítico con la física que Kant expondría en el período previo a ese, identificando continuidades y diferencias. Analizamos su teoría de la materia en ambos períodos, sobre todo en relación a su monadología física; también estudiamos en detalle la cosmología kantiana precrítica y la comparamos con los problemas planteados en las antinomias del idealismo trascendental. Mostramos que, si bien en el período crítico Kant dejará de lado la pregunta sobre la contingencia de la tridimensionalidad del espacio, seguirá siendo la tridimensionalidad del espacio - mas no ya su razón- un elemento que organiza su filosofía madura. Esto último puede considerarse una tercera tesis de nuestro trabajo. Por último, mostramos cómo muchas de las ideas de Kant de comienzos del período precrítico están en sintonía con las teorías físicas actuales sobre el espacio-tiempo, entendiéndolo por esto no solo la física del siglo XX, sobre la que mucho se ha escrito ya, sino también, y en particular, los avances de la física teórica de las últimas tres décadas. Esto incluye el principio holográfico, la idea de un espacio-tiempo multidimensional, el principio antrópico y la hipótesis del multiverso como respuesta a la pregunta por la contingencia de las leyes naturales. Esto nos ha permitido descubrir una imagen de una metafísica kantiana sorprendentemente actual.

Agradecimientos: Es un placer agradecer a Oscar Esquisabel por la dirección de esta tesis doctoral. Su paciente lectura del manuscrito y sus correcciones, siempre quirúrgicas, amables y generosas, fueron esenciales para poder terminar este trabajo. Le agradezco la amabilidad que tuvo en estos años al mostrarse siempre dispuesto a discutir conmigo sobre temas de física y filosofía, ya en nuestros encuentros en cafés de Buenos Aires o La Plata, ya en nuestros encuentros virtuales. Nuestras conversaciones se extendieron mucho más allá de Leibniz y Kant, y me acercaron a autores que yo desconocía o conocía solo superficialmente. Aprendí mucho de él.

Agradezco también a Mario Caimi por una extensa y muy provechosa conversación acerca de aspectos filológicos de la obra de Kant, detalles de traducción, y por compartir sus opiniones sobre la importancia y vigencia de las preguntas metafísicas en la filosofía crítica de Kant. Les agradezco también a Hernán Pringe por una conversación que me ayudó a esclarecer ciertos puntos de los *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* de Kant, a Cecilia Aguirre y Mariano Galvagno por sutilezas en las traducciones de los *Schriften zur Naturphilosophie*, y a Jorge Zanelli por haber sido quien me hizo saber por primera vez de las afirmaciones metafísicas de Kant acerca de la posibilidad de existencia de mundos multidimensionales.

Quiero, también, expresar mi profundo agradecimiento a la Universidad Católica Argentina, institución que tuvo la generosidad de abrir sus puertas para que yo pudiera comenzar mi doctorado en filosofía. Les agradezco a las autoridades, profesores y trabajadores de la UCA con quienes he tenido la suerte de tratar; entre ellos, Luis Rabanaque, Claudio Marengi y, muy especialmente, Soledad Barrios, a quien le agradezco su paciente y excelente asistencia.

Por último, agradezco a todos mis compañeros y todas mis compañeras de los cursos y seminarios de filosofía en FFyL-UCA, FFyL-UBA, FCEyN-UBA y BHI-Harvard, y también a los otros espacios en los que tuve la suerte de conversar acerca de las ideas que se incluyen en esta tesis, como el INEO-CIF-CONICET y el Centro de Estudios Hermenéuticos de la UNSAM.

Finalmente, quiero agradecer en especial a mis colegas Gabriel Catren y Mauricio Leston por incansables discusiones acerca de los aspectos filosóficos de nuestros temas de investigación a lo largo de más de veinte años.

ÍNDICE

I. Introducción	10
<i>Introducción</i>	10
<i>Organización del trabajo</i>	13
<i>Sobre el manejo de las fuentes</i>	14
Primera Parte	17
<i>Esquema de la Primera Parte</i>	17
II. Kant y la estimación de las fuerzas vivas	19
<i>La primera obra de Kant: el comienzo del período precrítico</i>	19
<i>Del contenido metafísico en la discusión sobre la dinámica</i>	21
<i>Consideraciones intempestivas sobre la mecánica</i>	23
<i>La crítica de la dinámica de Leibniz y Wolff</i>	25
<i>Consideraciones sobre la obra precrítica</i>	29
<i>La habilitación de una estética trascendental futura</i>	32
<i>Recepción contemporánea de la obra precrítica</i>	34
<i>Debate acerca de la influencia de los <i>Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica</i></i>	36
<i>Reconsideración del libro de 1747 sobre la vis viva</i>	38
<i>Condiciones en las que el libro de la vis viva fue escrito</i>	39
<i>Conceptos metafísicos de la fuerza de los cuerpos</i>	41
III. Kant y la dimensionalidad del espacio	50
<i>La conectividad del mundo y la dimensionalidad del espacio</i>	50
<i>La dimensionalidad del espacio como atributo derivado y contingente</i>	52
<i>La ley de la inversa del cuadrado de la distancia</i>	55

<i>La ley de la inversa del cuadrado antes y después de Kant (digressio)</i>	60
<i>El cuerpo bidimensional (digressio)</i>	66
<i>La superveniencia del espacio y su condición de posibilidad</i>	68
<i>Leibniz y la tridimensionalidad</i>	72
<i>Cinco disposiciones intelectuales ante la pregunta por la tridimensionalidad</i>	74
<i>La geometría más elevada</i>	76
<i>Desarrollo de la geometría n-dimensional (digressio)</i>	81
<i>La influencia de la geometría n-dimensional en las expresiones culturales (digressio)</i>	84
<i>Desarrollo de las geometrías no-euclidiana y n-dimensional en matemática (digressio)</i>	88
<i>Vigencia y originalidad de la noción de dimensionalidad en el ensayo kantiano</i>	89
IV. Sobre la existencia de muchos mundos	92
<i>La plausibilidad de la existencia de muchos mundos y la dimensionalidad</i>	92
<i>Continuidad de la hipótesis de muchos mundos</i>	94
<i>Refutación al argumento de Deleuze sobre la dimensionalidad en Kant</i>	95
<i>Comentario sobre la conexión de espacios de diferente dimensionalidad</i>	97
V. El problema kantiano de las direcciones en el espacio	99
<i>El problema de las contrapartes incongruentes</i>	99
<i>El espacio absoluto como abstracción</i>	102
<i>En espacio absoluto en el período crítico</i>	104
<i>Las contrapartes incongruentes en el período precrítico</i>	105
<i>La refutación de Wittgenstein sobre las contrapartes incongruentes</i>	107
<i>Hacia finales del período precrítico</i>	112
<i>Recapitulando</i>	113
<i>Resumen de la Primera Parte</i>	115
Segunda Parte	117
<i>Esquema de la Segunda Parte</i>	117

VI. Cosmología kantiana: leyes de las fuerzas como universales	118
<i>Desde una metafísica cosmológica</i>	118
<i>Hacia una cosmología metafísica</i>	121
<i>Historia natural universal y teoría de los cielos</i>	121
<i>Una teoría de los cielos en el siglo XVIII</i>	123
<i>La constitución sistemática del universo</i>	125
<i>Contenido de la Historia natural universal de Kant</i>	127
<i>Los Principia: paráfrasis y extrapolación</i>	130
<i>Un retorno al problema de la materia</i>	134
<i>Contingencia de la cantidad de mundos</i>	135
<i>La pregunta por el fin y la cuestión del espacio infinito</i>	138
<i>Sobre la cuestión de los mundos y lo invisible</i>	140
<i>Ética cosmológica (digressio)</i>	145
<i>Metafísica cosmológica (digressio)</i>	146
VII. Monadología física y el problema de la materia	147
<i>El problema de la indivisibilidad del espacio y la sustancialidad de los cuerpos</i>	147
<i>La impenetrabilidad de la materia</i>	149
<i>Resumen de la Segunda Parte</i>	153
Tercera Parte	153
<i>Esquema de la Tercera Parte</i>	153
VIII. La obra del período crítico	156
<i>El período precrítico y el período crítico de la filosofía kantiana</i>	156
<i>Esquema de nuestra exposición</i>	157
<i>Observaciones sobre las fuentes</i>	159

XIX. Metafísica en épocas del encuentro con el empirismo	161
<i>La pregunta acerca de la influencia de Hume</i>	161
<i>Hume en los Prolegómenos y en la Crítica</i>	162
XX. Jerarquía ontológica en la filosofía trascendental	163
<i>Aparente inversión de la jerarquía ontológica</i>	163
<i>El rol mediador del entendimiento en la jerarquía ontológica</i>	164
<i>Interpretaciones de la inversión ontológica en los Prolegómenos</i>	165
<i>Resumen de nuestro argumento: orden trascendental y orden ontológico</i>	169
XXI. La dimensionalidad del espacio en la Crítica de la razón pura	170
<i>Sobre la crítica de la razón pura</i>	170
<i>El descubrimiento de la sensibilidad y el poder del entendimiento</i>	171
<i>La estética trascendental</i>	172
<i>Exposiciones metafísica y trascendental del concepto de espacio</i>	175
<i>La dimensionalidad del espacio en la estética trascendental</i>	178
<i>La afección de lo externo sobre nuestra alma</i>	180
<i>Las fuerzas y la sensibilidad</i>	183
<i>Las continuidades y una lectura dialéctica del abandono de la metafísica</i>	185
<i>La dimensionalidad del espacio en la analítica trascendental</i>	186
<i>Sobre la presencia de Leibniz en la analítica trascendental</i>	188
<i>La dimensionalidad del tiempo (digressio)</i>	188
<i>La estructura del espacio en la dialéctica trascendental</i>	189
XXII. La dimensionalidad y el problema de la materia	194
<i>El problema de la movilidad y el problema de la materia en el período crítico</i>	194
<i>Estructura de los Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza</i>	196
<i>Dos naturalezas</i>	197

<i>El camino hacia una ciencia de la naturaleza</i>	199
<i>La necesidad de una metafísica</i>	201
<i>El movimiento de la materia</i>	203
<i>Una definición trascendental de la materia</i>	206
<i>La materia como fenómeno</i>	210
<i>El error en la monadología</i>	214
<i>La fuerza como condición de existencia de la materia</i>	215
<i>La fuerza y el infinito</i>	217
<i>Las formas de las fuerzas</i>	219
<i>La dimensionalidad del espacio en los Principios metafísicos de la ciencia natural</i>	221
<i>El principio general de la dinámica de la naturaleza</i>	223
<i>Las fuerzas fundamentales</i>	225
<i>Resumen de la Tercera Parte</i>	227
Cuarta Parte	228
<i>Esquema de la Cuarta Parte</i>	228
XXIII. Una lectura desde la física contemporánea	229
<i>Hacia una lectura contemporánea de la física kantiana</i>	229
<i>Una cosmología kantiana</i>	231
<i>La fuerza y la naturaleza dinámica del espacio-tiempo</i>	233
<i>La evidencia de un origen (digressio)</i>	238
<i>Las contrapartes incongruentes y la pregunta de la quiralidad en la física (digressio)</i>	240
<i>La pregunta por la posibilidad física de las distintas dimensionalidades del espacio</i>	242
<i>La pregunta por la necesidad de la dimensionalidad del espacio en la física actual</i>	248
<i>La dimensionalidad del espacio, los muchos mundos y el principio antrópico</i>	251
<i>Comentario sobre las actitudes epistemológicas: entre lo contingente y lo necesario</i>	255
<i>El principio holográfico y la idea del espacio como noción emergente</i>	258
<i>Resumen de la Cuarta Parte</i>	262

Conclusiones	263
<i>Tópico y método</i>	263
<i>Continuidades a lo largo del período precrítico</i>	263
<i>Continuidades entre el período precrítico y el crítico</i>	266
<i>Una lectura contemporánea de la física kantiana</i>	269
Bibliografía	271
<i>Fuentes primarias y sus traducciones</i>	271
<i>Fuentes primarias en compilaciones, antologías y epistolarios</i>	273
<i>Fuentes primarias consultadas en línea</i>	273
<i>Bibliografía secundaria</i>	273

I. INTRODUCCIÓN

Dijo alguna vez Gilles Deleuze que, aunque siempre se nos podrá decir que existen teorías en las que el espacio tiene n dimensiones, tal idea no tiene nada que ver con el sistema kantiano de conceptos y de problemas (2008, p. 39). El trabajo que presentamos aquí puede tomarse, en primer lugar, como una detallada refutación de este juicio. Pero refutación tal solo adquiere valor en cuanto la subestimación de Deleuze del problema de la multidimensionalidad, problema central en la obra de juventud de Kant, no hace sino expresar una muy extendida subestimación de elementos metafísicos en la obra del período precrítico y una consecuente desatención a evidencias de continuidades a lo largo de todo el pensamiento de Kant.

La contingencia de la tridimensionalidad del espacio funciona en la primera obra de Kant como un principio coordinativo y es lo que le posibilita establecer una jerarquía ontológica entre substancia, fuerza y espacio. Es precisamente la dimensionalidad lo que mejor ilustra la inversión realizada por Kant al establecer el carácter fundamental de las propiedades funcionales de las leyes naturales y subordinar a estas los atributos del espacio. Es la pregunta por la dimensionalidad lo que habilita su afirmación sobre la arbitrariedad de las leyes de la naturaleza y la facultad de Dios para haber elegido otras. Y es la arbitrariedad de las leyes lo que, a juicio de Kant, posibilita la multiplicidad de mundos.

Para el Kant precrítico, la dimensionalidad y los otros atributos del espacio no son elementos constitutivos primordiales; no son fundamentales. Para Kant, al menos hacia comienzos del período precrítico, lo fundamental es la fuerza. Y aunque sostiene que hay algo íntimamente relacionado con ella, y esto es la substancia, eso no le quita a la fuerza el carácter de fundamental, en cuanto la substancia es lo que determina la forma funcional en la que la fuerza actúa espacialmente. La extensión y el espacio se vuelven elementos *emergentes*, derivados de las formas funcionales de las fuerzas fundamentales de la naturaleza; fuerzas que, con un trazo cuya firmeza merma con la distancia, delinean un mundo de una arbitraria tridimensionalidad en el que la ubicación de los cuerpos aparece como un concierto de puntos de fuga. Nos dice Kant:

Soy de la opinión de que las substancias en el mundo existente [*Substanzen in der existierenden Welt*], del cual formamos parte, tienen fuerzas esenciales [*Kräfte von der Urt*] de tal naturaleza que propagan sus efectos en unión entre sí de acuerdo con la relación inversa al cuadrado de las distancias; en segundo lugar, que el todo a lo

que esto da lugar tiene, en virtud de esta ley, la propiedad de ser tridimensional [*der dreifachen Dimension*] (Kant, 1749, §10; cf. Watkins, 2015, pp. 27-28).

I.e. la tridimensionalidad del espacio viene dada *en virtud de* las formas funcionales específicas de las leyes que gobiernan las fuerzas entre las substancias.

El estudio de esta cosmología kantiana basada en las fuerzas es importante para entender, no solo su filosofía natural del período precrítico, sino también algunos núcleos de sentido en su obra madura. Kant, aunque cambiando de enfoque en varios momentos, mantendría la idea de una íntima conexión entre substancia, fuerza y espacio a lo largo de toda su filosofía natural, desde su primer libro hasta sus especulaciones científicas en la llamada época crítica. En efecto, es posible identificar continuidades que van desde su prematuro *Ideas de la verdadera estimación de las fuerzas vivas*, terminado en 1747, hasta su *Principios metafísicos de la filosofía natural*, publicado en 1786, un año antes de la aparición de la segunda versión de la *Crítica de la razón pura*. Y, aunque a comienzos del período crítico se veía en la obra kantiana una aparente inversión de la jerarquía ontológica entre fuerza y espacio, cabriola dialéctica que se hace explícita en los *Prolegómenos*¹ (1783), demostraremos que tal inversión se trata de un artefacto que se produce cuando se restringe el análisis al de su filosofía trascendental. En otras palabras, argumentaremos que interpretar el reemplazo de la preeminencia ontológica de la fuerza por la del espacio, algo que se observa en el paso del período precrítico al período crítico, como una contradicción en la ontología kantiana se trata de un error, un error que nace de confundir el orden ontológico de su metafísica con el orden trascendental de su gnoseología. En el período crítico Kant afirmará que, “[d]ado que se requiere del espacio para todas las fuerzas de la materia, y dado que este contiene también las condiciones de las leyes de propagación de aquellas [fuerzas], se presupone [el espacio] necesariamente antes que toda materia”, (Kant, 1968 [1786], p. 99; cf. Kant, 2017 [1786], p. 47).

En el período precrítico, por su parte, el carácter basal de las fuerzas y la primacía de la substancia, dado su rol de legislar sobre la forma en la que la fuerza actúa, adquieren en la cosmología kantiana un peso tan importante cuanto evidente. La inversión del orden ontológico espacio-fuerza por fuerza-espacio es una de las discontinuidades que pueden encontrarse entre el período precrítico y el período crítico. Pero también hay continuidades; por ejemplo, se vuelve evidente la continuidad de ciertas convicciones metafísicas y compromisos ontológicos

¹ Es decir, los *Prolegómenos a toda metafísica futura que haya de poder presentarse como una ciencia* (cf. Kant, 2015 [1783]), la exotérica kantiana de su propia filosofía crítica, o bien, su propedéutica epistemológica para toda ciencia que viniese a ser.

expresados ya en aquel primer trabajo² de 1747 y vueltos a aparecer una y otra vez durante décadas, al menos hasta el final del período precrítico (1770). Ejemplos de esto último son la convicción de la posibilidad de existencia de muchos mundos y la convicción de la arbitrariedad de la dimensionalidad del espacio en el que nos es dado ser.

Más importante que la tarea reivindicativa de señalar elementos de valor en la obra kantiana de comienzos de su período precrítico y establecer a partir de ello continuidades con su obra posterior es la tarea de destacar la *necesidad* de los primeros trabajos de Kant. Estos trabajos se vuelven imprescindibles en cuanto habilitan –y no solo anticipan– la forma que el espacio tomará luego en la estética trascendental. En breve: era menester liberar al espacio del mundo de las cosas en sí para que, más tarde, pudiera ese salir de este.

Es en este sentido que, aunque esta tesis se enfoca en el estudio de los atributos del espacio en la obra kantiana del período precrítico, para que el análisis pueda ser considerado completo se hace ineludible abordar también el estudio de la cuestión del espacio en el período crítico. Esto último comprende, no solo el tratamiento del problema del espacio en la construcción de la filosofía trascendental, sino también la aplicación del método trascendental a otros problemas filosóficos que se relacionan estrechamente con el espacio. El período crítico es, por un lado, aquel en el que Kant emprende la tarea de formular su filosofía trascendental como sistema, y es, por otro lado, el período en el que se aboca a la tarea de aplicar su método trascendental a diversos problemas filosóficos. Kant, deliberadamente, deja algunos de esos problemas al margen de la *Crítica de la razón pura* (1781/1787), donde solo los trata parcialmente. Algunos de esos problemas son el de la movilidad, el de la materia como fenómeno, y el de la divisibilidad indefinida de la materia. Si bien Kant discute estas cuestiones en la *Crítica de la razón pura*, y en especial en la parte destinada a las antinomias, no es sino hasta la aparición de *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* (1786) que tales cuestiones se desarrollan de manera completa. Analizaremos, pues, este último libro en detalle.

En relación con el período de la filosofía crítica y a las continuidades que encontramos a lo largo de toda la obra kantiana, cabe hacer otra aclaración: en la metafísica kantiana de comienzos del período precrítico el espacio aparece como exigencia de algo más fundamental: la fuerza. Entonces, viene el espacio a derivar de la fuerza, por lo que ese no existiría sin esta. Ahora bien, la idea del espacio como un elemento emergente en la obra de Kant puede resultar

² Nos referiremos en más de una oportunidad al libro *Ideas de la verdadera valoración de las fuerzas vivas* como “el libro de 1747” debido a que, aunque este fue publicado en 1749, fue dos años antes de su aparición que Kant había hecho los últimos *addenda* a su contenido. Más abajo revisaremos la cronología de la publicación y las circunstancias en las que el libro fue escrito.

sorprendente e incluso desconcertante, sobre todo cuando se piensa que en la filosofía trascendental el espacio y el tiempo son las formas puras de la sensibilidad y vienen dadas *a priori*. ¿Cómo puede el espacio ser un *a priori* y, a su vez, estar dado *a partir* de algo más? En esta tesis trataremos con esta aparente contradicción, que, adelantamos, no es tal. Discutiremos en detalle cómo la filosofía trascendental, en cuanto sistema que se ocupa de los conceptos *a priori* de los objetos, no está en tensión con una jerarquía ontológica en la que el espacio viene exigido por fuerzas que son gobernadas por leyes sobre la que substancia legisla.

Organización del trabajo

Este trabajo está organizado de la siguiente manera: consiste de cuatro partes, cada una de las cuales se separa en secciones; a su vez, cada sección contiene subsecciones. Entre las distintas subsecciones existe una jerarquía: mientras algunas de ellas resultan cruciales para la línea argumental que se viene desarrollando, otras deben entenderse como una *digressio* y pueden dejarse de lado en una primera lectura. Para identificar las subsecciones de digresión se anotará la palabra “*digressio*” entre paréntesis junto al subtítulo de las mismas.

Las primeras dos partes (Primera Parte y Segunda Parte) de la tesis se dedican al estudio del espacio y de la jerarquía ontológica en la obra precrítica de Kant: en la Primera Parte estudiaremos las obras de filosofía natural de comienzos del período precrítico haciendo hincapié en el contenido metafísico y los compromisos ontológicos que rezuman incluso ya en su primer texto, *Ideas de la verdadera valoración de las fuerzas vivas* (1749). Partiendo de la jerarquía ontológica entre substancia, fuerza y espacio, establecida por Kant a partir de ese primer trabajo, discutiremos temas que se derivan de ello, como la contingencia de las leyes naturales, la superveniencia del espacio, la plausibilidad de existencia de muchos mundos, y la relación entre mente y materia. En la Segunda Parte estudiaremos la cosmogonía kantiana de mediados del período precrítico, circa 1755-1756. Analizaremos su teoría cosmológica, compendiada en su magnífico *Historia natural universal y teoría de los cielos* (1755), en la que el ensayo sobre universalidad de las leyes que rigen las fuerzas naturales comparte páginas con profundas preguntas teológico-metafísicas. Analizaremos también en la Segunda Parte de esta tesis la primera exposición sistemática de la teoría kantiana de la materia, que aparece en su *Monadología física* (1756). Dedicaremos esfuerzo a la tarea de señalar continuidades en la obra de Kant a lo largo del período precrítico, así también como resonancias con su filosofía ulterior. La Tercera Parte de la tesis se dedica al estudio del espacio en el período crítico. Nos detendremos a señalar las continuidades que existen entre la imagen del espacio en la física y

la metafísica kantiana del período precrítico y aquella imagen que surgiría a partir de la construcción de la filosofía trascendental. Mostraremos en qué medida la filosofía trascendental es deudora de aquella metafísica primera. Esta tarea, de carácter reivindicativo, es largamente adeudada³. Esto se debe principalmente a sesgos de atención introducidos por lecturas parciales de la obra de Kant, lecturas que han llevado a dejar de lado aquellos textos sobre metafísica de las ciencias naturales. La Cuarta Parte de la tesis, que bien puede ser considerada su epílogo, ofrece una lectura de los problemas de la metafísica de la naturaleza que se plantean en la obra kantiana desde la perspectiva de la física contemporánea, refiriéndonos con esto último, no solo la física del siglo XX, sobre la que ya mucho se dijo en relación con la filosofía kantiana, sino también, y en especial, a las teorías de la física de las últimas tres décadas. Señalaremos cómo la idea kantiana del espacio como un elemento emergente en la descripción de la naturaleza reaparecer en la física teórica de los siglos XX y XXI. Un capítulo de Conclusiones cierra este trabajo.

Acerca de las fuentes

Los textos de Kant cuyo análisis sistemático vertebró esta tesis son los siguientes: *Ideas de la verdadera valoración de las fuerzas vivas* (1747), *Historia natural universal e historia de los cielos* (1755), *Monadología física* (1756), *La razón primera de la diferencia entre las direcciones del espacio* (1768), *Disertación inaugural* (1770), *Crítica de la razón pura* (1781/1787), *Prolegómenos para toda metafísica futura que haya de poder presentarse como ciencia* (1783) y *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* (1786). La conversación entre el primero y el último de estos textos es el elemento que mantendrá la tensión en el texto.

Sobre las fuentes, cabe hacer las siguientes aclaraciones: la Primera Parte estará basada en la ópera prima de Kant, titulada *Ideas de la verdadera valoración de las fuerzas vivas* [*Gedanken*

³ Le agradezco a Mario Caimi por una conversación acerca de las posibles razones que podrían haber llevado a la subestimación de la obra de comienzos del período precrítico y a los componentes metafísicos de la filosofía kantiana. Cabe especular que el positivismo reinante en el momento en el que neokantianos célebres escribieron sus obras sobre la filosofía de Kant llevó a leer la filosofía crítica como un estadio de superación del período metafísico, de igual manera a como August Comte veía la superación del estadio metafísico en su *Discours sur l'esprit positif* (1984 [1844]). Esta lectura ha sido “fatal” para la lectura de la metafísica kantiana, señala Caimi, en tanto retrasó la atención sobre la importancia de la metafísica práctico-dogmática – y no solo práctica– en la obra de Kant. Otros filósofos, y desde otras coordenadas filosóficas, también expusieron la obra kantiana como centrada en las condiciones de posibilidad del conocimiento, sin atender al importante lugar que, incluso en la *Crítica*, Kant reserva para las preguntas metafísicas. Por ejemplo, en sus lecciones de *Filosofía y sociología*, Theodor Adorno afirma que “la filosofía, según Kant, tiene en su parte principal la tarea de explicar la posibilidad del conocimiento y determinar los límites del conocimiento humano, no lugar de enunciar inmediatamente algo sobre la esencia de las cosas mismas” (cf. 2015 [1960], p. 25).

von der wahren Schätzung der lebendigen Kräfte]. Esta obra aparece en la compilación de las obras de Kant sobre ciencias naturales que Erik Watkins coordinara y que Cambridge University Press publicaría circa 2015, de la que nos servimos. Además, recurrimos a la edición original de ese texto, publicada por Martin Eberhard Dorn⁴ en 1749 en Königsberg. Cotejamos cada uno de los fragmentos citados con la versión original y aclaramos terminologías cada vez que lo encontramos necesario. En la Segunda Parte de la tesis, en el caso del libro de *Historia natural universal y teoría de los cielos* [*Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels*] de 1755, nos apoyamos en las traducciones al inglés y al castellano, realizadas por Reinhardt y Merton, respectivamente. Otros libros del período precrítico que fueron importantes para la Primera y la Segunda Parte de la tesis son *Monadologiam Physicam* (1756) y *Dissertatio de mundi sensibilis atque intelligibilis forma et principiis* (1770), los que leímos tanto en traducciones como en los originales en latín. Para la Tercera Parte de la tesis nos valimos de diferentes ediciones de la *Crítica de la razón pura* [*Kritik der reinen Vernunft*], usualmente referida *KrV*. Consultamos las ediciones en castellano y en alemán; a saber: la edición en alemán de Meiner (*KrV*, Kant 1998); la edición en castellano de Losada (*KrV*, Kant, 2003); la edición de Hyspamerica (*KrV*, Kant, 1984); la de Gredos (*KrV*, Kant, 2010); y, en especial, la edición en castellano de Colihue (*KrV*, Kant, 2014), traducida por Mario Caimi⁵. Además, realizamos un análisis comparativo de las versiones A (1781) y B (1787) de la *Crítica de la razón pura*, en especial debido a que, como veremos, hay consideraciones acerca del espacio en la *estética trascendental* que difieren entre ambas versiones.

Acerca de la forma de citar los trabajos, elegimos la forma estándar que se emplea en los trabajos dedicados a la obra de Kant: por ejemplo, citaremos la *Crítica de la razón pura* por su acrónimo del título en alemán, seguido de la letra que indica la versión, v.g. (*KrV*, A10) o (*KrV*, B33). Cuando sea necesario, indicaremos también la cita a una edición en particular empleando las normas usuales de la *American Psychological Association* (APA). También en el caso de *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* (1786), que en alemán se titula *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*, emplearemos para citarlo el acrónimo *MAN*. Indicaremos también la nomenclatura *Ak.*, por la *Kantsgesammelte Schriften, Preussischen Akademie*, citando a continuación el número de volumen en números romanos, y luego los números de página y línea en números arábigos. Otra abreviatura empleada será *OP*, por *Opus Postumum*. (También en el caso de obras ya célebres de otros autores, cuya

⁴ Martin Eberhard Dorn (1710-1752) fue un impresor y editor nacido en Königsberg, hijo del escritor Levin Dorn.

⁵ Existe una versión más reciente de la traducción de Mario Caimi, revisada por él mismo. Le agradezco a él por hacerme saber de esto.

nomenclatura se encuentre homologada en los estudios filosóficos, emplearemos acrónimos; por ejemplo, *TLF* para el *Tractatus Logico-Philosophicus* de Wittgenstein).

Las ediciones de *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* que consultamos son las siguientes: la edición en alemán de von Pfeffer (Kant, 1900); la edición en alemán de Meiner (Kant, 1997); la edición alemana de Suhrkamp (Kant, 1768); la edición en castellano de Tecnos (Kant, 1991); y la edición en castellano de Alianza, que presenta la traducción de Carlos Másmela (Kant, 1989). Comparamos estas traducciones con muchísimo detalle. Al comienzo de la Tercera Parte ahondaremos en los detalles de las ediciones, de la comparación entre ellas, y de las sutilezas en la traducción. En el caso de otras obras de Kant utilizadas en la Tercera Parte, nos valimos también de ediciones bilingües. Por ejemplo, tuvimos ante nosotros la excelente edición de los *Prolegómenos a toda metafísica futura que haya de poder presentarse como ciencia*, publicada por Ágora de Ideas, Istmo, que incluye la traducción de Mario Caimi al castellano junto a la versión original (Kant, 2015 [1783]).

De magnitud, lo que se extiende en una dimensión es una línea, lo que se extiende en dos es un plano y lo que se extiende en tres dimensiones es un cuerpo. No hay otra magnitud más allá de estas, porque las tres dimensiones son todas y las tres son en todos los sentidos.

Aristóteles
De Caelo, I.1.

Primera Parte

Esquema de la Primera Parte

Esta Primera Parte de la tesis se compone de cuatro secciones (de la II a la V), cada una de las cuales está separada en subsecciones. Entre estas últimas hay una jerarquía a la que es conveniente atender a efectos de hacer la lectura del texto más fluida, en especial en lo que refiere a los momentos de mayor densidad teórica: mientras algunas subsecciones son cruciales para la línea argumental de la sección a la que pertenecen, otras subsecciones deben entenderse como una *digressio* acerca de un tema específico, que o bien acompaña al texto de manera complementaria, o bien se detiene en un aspecto técnico muy puntual. Por lo tanto, las secciones así identificadas (como *digressio*) pueden omitirse en una primera lectura.

En la primera sección (II) de esta Primera Parte de la tesis nos enfocaremos, principalmente, en la primera obra de Kant, *Ideas para la verdadera valoración de las fuerzas vivas* (1749). Esto no sólo responde a un orden cronológico de exposición, sino también a una razón argumental, en cuanto es precisamente en ese primer trabajo donde Kant expresa, no por única vez, pero sí de manera más clara, la importancia que la dimensionalidad del espacio cobra para su metafísica y su filosofía natural. En particular, en ese primer trabajo Kant entrelaza la pregunta por la contingencia de la dimensionalidad del espacio con otros problemas que serán centrales en su filosofía del período precrítico (y posterior); a saber: el problema de la interacción (afección mutua) entre mente y materia, la hipótesis de muchos mundos, la discusión acerca de la contingencia o necesidad de las leyes de la naturaleza, y el rol central que desempeñan las fuerzas de la materia y su influencia sobre nuestra mente al momento de *dar lugar* al espacio y sus atributos. Nos detendremos a analizar las condiciones en las que su

primera obra fue escrita, el contexto histórico-intelectual en el que se emplazaba la discusión sobre mecánica y metafísica en torno a 1747, y la recepción y atención que su *opera prima* recibió. Luego analizaremos la continuidad que puede verse entre gran parte del contenido metafísico de ese primer libro de Kant (circa 1747) y sus obras del final del período precrítico (circa 1770).

En la segunda sección (III) de esta Primera Parte nos enfocaremos aún más en las afirmaciones que hace Kant en su primer libro acerca de la tridimensionalidad del espacio, la posibilidad de un espacio con un número distinto de dimensiones, y la formulación de la hipótesis de coexistencia de espacios de diferente dimensionalidad como respuesta a la pregunta por la contingencia de la tridimensionalidad. Un aspecto importantísimo del análisis que Kant hace de la dimensionalidad del espacio es la subordinación de los atributos del espacio – la dimensionalidad entre ellos – a las formas funcionales de las fuerzas con las que las distintas substancias (y la mente) interactúan entre sí. Argüiremos en secciones posteriores que puede leerse en esto un anticipo de lo que más tarde serán las bases de su filosofía trascendental, aunque aún estará lejos el Kant precrítico de la madurez filosófica que su filosofía crítica demandará.

Es en la tercera (IV) sección de esta Primera Parte donde haremos un análisis pormenorizado de la hipótesis kantiana de los muchos mundos. Discutiremos las diferencias entre esa hipótesis y la digresión leibniziana sobre “el mejor de los mundos posibles”, y mostraremos la asombrosa continuidad que la idea de muchos mundos tuvo a lo largo de toda la obra precrítica de Kant, que cubre más de veinte años de su producción intelectual.

En la última sección (V) de esta Primera Parte trataremos otro tema estrechamente vinculado a la dimensionalidad del espacio; a saber, el problema kantiano de las contrapartes incongruentes; también llamado el problema de la dirección en el espacio. Explicaremos de qué trata ese problema, cómo lo presenta Kant como argumento ontológico sobre la existencia del espacio en torno a 1769, y la relación precisa entre este problema y el de la dimensionalidad del espacio. En particular, explicaremos en detalle la solución que Wittgenstein propone sobre este problema en el *Tractatus lógico-philosophicus* y lo compararemos con el análisis efectuado por otros filósofos.

II. KANT Y LA ESTIMACIÓN DE LA VIS VIVA

La primera obra de Kant: el comienzo del período precrítico

Nuestro análisis de la obra precrítica de Kant o, más precisamente, de la Primera Parte de la denominada “etapa precrítica” de su pensamiento, comienza con el que, hasta donde sabemos, es el primer texto del prodigio de Königsberg: *Gedanken von der wahren Schätzung der lebendigen Kräfte*, escrito presumiblemente entre 1744 y 1746, y finalmente publicado en 1749. Kant termina el libro y lo presenta al censor de la Universidad de Königsberg en el verano de 1746, y firma la versión final el día de su vigésimo tercer cumpleaños, el 22 de abril de 1747. Cerca de esa fecha abandonaba sus estudios en la universidad. En el verano de 1748, apremiado por la situación económica de su familia tras la muerte de su padre, poco más de dos años antes, Kant dejaba su ciudad natal para desempeñarse como tutor no muy lejos de allí. Durante su época de tutorías, de la que pocos datos precisos y relevantes se conocen, Kant no abandonaría sus investigaciones y escritos.

Estos datos biográficos, como veremos, se alejan de lo meramente anecdótico en tanto se relacionan estrechamente con las especulaciones acerca de las condiciones en las que su primer libro fue escrito. Asimismo, vienen a poner en relieve lo prematuro de ese primer texto de Kant; texto independiente en el que, sin ocultar tener consciencia de ello, Kant exhibe las grandes pretensiones de un joven estudiante que se dispone a refutar a lo más granado de la academia de la Europa continental; Wolff y Leibniz, entre ellos. Escribe en el prefacio:

Puede parecer que podría haber tratado a esos hombres a quienes me atrevo a refutar con más deferencia de la que realmente he hecho. Debería haber expresado el juicio que he emitido sobre sus conclusiones en un tono mucho más suave. No debería haberlos llamado errores, falsedades o ilusiones (§IX. pp. 17-18).

También:

Por lo tanto, deseo utilizar este prefacio como una oportunidad para declarar públicamente la deferencia y una alta estima en la que siempre tendré a los grandes maestros de nuestro conocimiento a quienes ahora tengo el honor de llamar mis oponentes, y a quienes la libertad de mis juicios inadecuados no puede dañar en lo más mínimo (p. 18).

El título del libro, *Gedanken von der wahren Schätzung der lebendigen Kräfte*, que en castellano traduciremos como⁶ *Ideas de la verdadera estimación de las fuerzas vivas*, va acompañado de un subtítulo, extenso y elocuente, que suele también aparecer en las ediciones en inglés⁷: *Valoración del testimonio de Herr von Leibniz y otros mecánicos que se han desempeñado en disputas, además de algunas consideraciones previas que se refieren al poder del cuerpo en general*⁸. En varias ediciones en inglés el título se traduce como *Thoughts on the true estimation of living forces* (cf. Watkins, 2015); aunque hay académicos que prefieren referirse a esa primera obra simplemente como “*Living forces*” (cf. Schönfeld *et al.*, 2019; Schönfeld *et al.*, 2020). Esto último se debe a que el tema central de ese trabajo inaugural es precisamente la crítica a la concepción de Leibniz y Wolff de la mecánica basada en la noción de “fuerzas vivas” [*vis viva*].

La formulación de la mecánica clásica basada en la idea de la “fuerza viva” había sido introducida por Leibniz hacia⁹ 1686 y estaba llamada a iniciar un debate entre leibnizianos y cartesianos que se extendería, al menos, hasta la década de 1740. Por lo tanto, es adecuado decir que *Ideas de la verdadera estimación de las fuerzas vivas* es la intromisión del joven Kant en un cuodlibeto que involucraba, sino a toda, a gran parte de la comunidad académica dedicada a la filosofía natural en la Europa continental, y especialmente en Alemania.

El centro del debate que tenía lugar por aquellos años, debate al que Kant pretendía aportar con su primer libro, se resume en la controversia acerca de la correcta identificación de las cantidades conservadas en la mecánica clásica. Mientras los partidarios de la mecánica cartesiana promulgaban como ley que rige el movimiento de los cuerpos aquella que afirma la conservación de la “cantidad de movimiento” – *i.e.* lo que en términos modernos nosotros

⁶ Esta es la manera en la que aparece citada en las traducciones de otras obras al castellano. La obra de Kant de 1747 aparece mencionada, por ejemplo, en la edición en castellano del libro de Ernst Cassirer, donde también se la llama *Ideas sobre la verdadera apreciación de las fuerzas vivas* (Cassirer, 1948; cf. Cassirer 1918). Existen otras formas de traducir el título, como *Pensamientos para la verdadera evaluación de las fuerzas vivas* (cf. Rojas, 1988, pp. 171-173). Es esta última forma la que aparece en la traducción al castellano realizada por Juan Arana (1988). (Le agradezco a Mario Caimi por hacerme saber de la traducción de Arana). Existe, al menos, otra traducción del primer libro de Kant al castellano, realizada por Eduardo Ovejero y Maury (1921).

⁷ En (Watkins, 2015), por ejemplo, el título completo que aparece es “*Thoughts on the true estimation of living forces and assessment of the demonstration that Leibniz and other scholars of mechanics have made use of in this controversial subject, together with some prefatory considerations pertaining to the force of bodies in general*”, traducción de Jeffrey Edwards y Martin Schönfeld.

⁸ No nos valimos de traducciones al castellano del libro *Gedanken von der wahren Schätzung der lebendigen Kräfte*. La traducción de los pasajes que presentaremos en este trabajo es propia y parte no solo de la edición en inglés en (Watkins, 2015) sino también del original (Kant, 1749) publicado en 1749 por Martin Eberhard Dorn.

⁹ En realidad, la idea aparece ya en una serie de escritos inéditos escritos por Leibniz circa 1678, titulados *De corporu concursu* (cf. Fichant, 1999). Le agradezco a Oscar Esquisabel por hacerme saber de esos escritos.

llamaríamos “el módulo del momento lineal”– Leibniz y sus seguidores afirmaban que la cantidad conservada en los sistemas dinámicos no era esa sino la “fuerza viva” (*vis viva*) –que no es sino lo que hoy llamaríamos “el doble de la energía cinética”¹⁰–. Por ejemplo, en su *Discurso de metafísica* Leibniz presenta su “máxima subalterna de la ley natural, donde se muestra que Dios conserva siempre regularmente la misma fuerza, pero no la misma cantidad de movimiento, contra los cartesianos y otros varios” (Leibniz, 1995 [1686], §17, p. 77). Hoy, a más de trescientos años del inicio de ese debate, sabemos que, tal como lo demostrara Jean-Baptiste le Rond d’Alembert¹¹, ambas cantidades se conservan en la mecánica. Nos es por ello difícil imaginar cómo una falsa dicotomía de naturaleza tal suscitaba aguerridas discusiones en los claustros científicos de aquellos días. Pero es importante saber que entre 1686 y 1743, año en el que d’Alembert dio una solución definitiva al problema, el debate entre la conservación de la cantidad de movimiento cartesiana y la fuerza viva leibniziana dividía escuelas y representaba uno de los mayores problemas abiertos de la filosofía natural.

Del contenido metafísico en la discusión sobre la dinámica

A efectos de ponderar correctamente el peso del problema, quizá deberíamos decir que el cisma que se abrió entre físicos durante la primera mitad del siglo XVIII no se debía exclusivamente a las implicancias que esto podía llegar a tener para los cálculos concretos de ciertos problemas de la mecánica racional, sino también, y en especial, se debía al contenido metafísico que derivaba de la discusión. Para Descartes, la conservación de la cantidad de movimiento venía a expresar la invariabilidad de Dios, ese Dios creador minucioso que hubo echado a andar el mundo con acribia, dejando su huella en las reglas de su funcionamiento. El mundo, este gran mecanismo que se levanta a nuestro alrededor y nos envuelve, funciona de manera severa y precisa, conservando la cantidad neta de movimiento, siempre, desde siempre y para siempre¹².

¹⁰ La cantidad de movimiento cartesiana está dada por el producto de la masa m y el módulo de la velocidad v ; esto es $m|v|$. Por otro lado, la fuerza viva referida por Leibniz estaría dada por mv^2 .

¹¹ Jean-Baptiste le Rond d’Alembert (1717-1783) fue un matemático, físico, filósofo y músico francés. Hasta 1759 fue, junto con Denis Diderot, editor de la *Encyclopédie*.

¹² En relación con esto, podría resultarnos notable que Descartes no haya considerado en su definición de la cantidad de movimiento la velocidad sino el módulo de esta. Claro está que su argumento en favor de que la conservación de la cantidad de movimiento expresa la inmutabilidad de Dios habría sido más fuerte si la velocidad hubiese entrado en su definición con su carácter vectorial o, al menos, con su signo. De esa manera, la ley de conservación de la cantidad de movimiento habría tenido incluso el poder de explicar que el movimiento comenzara a partir del reposo sin que eso entrara en contradicción. Eso habría representado, podemos especular, una ventaja en comparación con la conservación de la fuerza viva propuesta por Leibniz. No obstante, es importante resaltar que hacia mediados del siglo XVII la formulación de la mecánica era rudimentaria, y que una

Así, la conservación de la cantidad de movimiento no sería sino la impronta de la inmutabilidad de lo divino expresada de manera inexorable en cada encuentro de los cuerpos.

Por su parte, el desarrollo de la mecánica de Leibniz no carecía de contenido metafísico que articulase sus proposiciones. Afirmaba Leibniz que “[l]a distinción de la fuerza y la cantidad de movimiento es importante, entre otras cosas, para juzgar que hay que recurrir a consideraciones metafísicas ajenas a la extensión para explicar los fenómenos de los cuerpos” (Leibniz, 1995 [1686], §18, p. 80). No era sin fuerza que Leibniz arremetía contra el concepto de acción a distancia, idea que para él venía a restaurar elementos de una magia desterrada desde la superación de la física escolástica. En *Antibarbarus physicus* Leibniz ataca directamente la idea de acción a distancia en la teoría de Newton. A los ojos de muchos, las ideas de Leibniz aparecían como inmanentistas, y eran rechazadas porque parecían venir a renovar la idea aristotélica-medieval de substancia (cf. Cassirer, 2018). Tales eran las acusaciones de Newton y Clarke dirigidas a la monadología leibniziana.

Algunos han interpretado el contenido del libro de Kant sobre las fuerzas vivas como un rechazo a la doctrina leibniziana de la armonía preestablecida, según la cual las substancias no interactúan (cf. Schönfeld *et al.*, 2019). Esta visión, que hoy interpretaríamos como una teoría no-local y teleológica de la mecánica, ciertamente no parece estar en sintonía con la manera en la que Kant entiende la interacción entre la materia. Es por eso que se ha afirmado que el contenido de *Ideas de la verdadera valoración de las fuerzas vivas* puede tomarse como un rechazo de la afirmación de la *Monadología* de Leibniz acerca de que las substancias no tienen “ventanas” que habiliten las acciones mutuas a distancia (*ibid.*). La afirmación de Kant de que las substancias, los cuerpos, e incluso la mente, cambian su estado por medio de una acción mutua entra en contradicción con las ideas de Leibniz. Kant se encontraba cautivado por la cuestión de los poderes de la naturaleza, y era en esos términos que pretendía entender la mecánica. Es así que debemos entender su motivación por abocarse a resolver el problema de las fuerzas vivas; es así, también, como debemos entender la consideración que tuvo con la doctrina cartesiana.

Para Descartes, la fuerza no es una esencia; es simplemente una cantidad de movimiento, calculable, medible. Con su interpretación, suele decirse, Descartes redujo la física a la cinemática, a mera foronomía¹³, dado que, aunque *stricto sensu* la cantidad de movimiento se

descripción vectorial de la ciencia física no se encontraba en los estudios más que de una manera implícita y confusa.

¹³ Leibniz afirma que los cartesianos reducen la mecánica a pura geometría. Si uno añade a esto lo que Leibniz dice de la foronomía, *i.e.* que es una teoría descriptiva del movimiento, entonces uno puede concluir que Leibniz interpreta la mecánica de Descartes como puramente foronómica, *i.e.* pura cinemática, a diferencia de la mecánica

trata de una cantidad dinámica en cuanto incluye a la masa del cuerpo y no solo a su velocidad, los aspectos cinemáticos son los que prevalecen en la descripción cartesiana de los encuentros entre cuerpos¹⁴. Leibniz, en cambio, rechazaba tal formulación y presentaba la propia en términos de la fuerza viva.

Así, pues, el debate acerca de la conservación de la cantidad de movimiento y la de la fuerza viva era inescindible del contenido metafísico que funcionaba como elemento coordinativo en cada una de las formulaciones. Recordemos las palabras de Leibniz: “*Si las reglas de la mecánica dependieran solo de la geometría sin la metafísica, los fenómenos serían muy otros*” (Leibniz, 1995 [1686], §21, p. 83).

Consideraciones intempestivas sobre la mecánica

Como decíamos, el debate acerca de las leyes de conservación de las fuerzas vivas se inicia poco antes de 1686, año en el que Leibniz publicó en las *Acta Eruditorum* su *Demostración breve de un error memorable de Descartes y otros acerca de una ley natural*. Leibniz sostiene allí que la ley de conservación de la cantidad de movimiento propuesta por Descartes era errónea y que debía esta ser reemplazada por otra ley, una que afirmaba la conservación de una cantidad diferente: la *vis viva*. Leibniz vuelve sobre esta idea en su *Discurso de metafísica*, donde presenta argumentos que sustentan que la verdadera cantidad conservada debe ser cuadrática en la velocidad y no lineal como Descartes había originalmente considerado. Afirma Leibniz:

Usualmente nuestros filósofos se sirven de la famosa regla de que Dios conserva siempre la misma cantidad de movimiento en el mundo. En efecto, es muy plausible, y en otro tiempo yo la tenía por indubitable. Pero después he reconocido en qué consiste el error (Leibniz, 1995 [1686], §17, p. 77).

Muchos de los argumentos esgrimidos por Leibniz para sostener su ley de conservación de la *vis viva* se asemejan a los que uno considera hoy en día al tratar esos problemas: argumentos que involucran cuerpos cayendo bajo el influjo de la gravedad, experimentos imaginarios de

suya, que es dinámica en cuanto tiene en cuenta las fuerzas que intervienen como causas del movimiento. Le agradezco a Oscar Esquisabel por una importante aclaración acerca de este punto. Una interesante serie de consideraciones de Leibniz acerca de la mecánica cartesiana se encuentra en el intercambio epistolar que Leibniz mantuvo con Denis Papin y Burcher de Volder.

¹⁴ Los cartesianos pensaban la fuerza en un sentido prácticamente cinemático, y relegaban la masa a la descripción de la materia, su peso y su relación con extensión tridimensional de los cuerpos en el espacio, pero no apreciaban completamente la importancia de esa variable física en las colisiones.

impronta galileana (cf. §17, pp. 78-79). Para Leibniz, esos argumentos eran suficientes para evidenciar la inconsistencia entre la mecánica cartesiana y la interacción gravitatoria. Por otro lado, los experimentos realizados por Mariotte¹⁵ y por el mismo Leibniz sustentaban la ley de conservación de la *vis viva*. No transcurrirían muchos años hasta que esos y otros experimentos imaginados fueran adaptados, mejorados y realizados con precisión en laboratorios. Resortes, péndulos, masas colisionando, pendientes y cuerpos rodando sobre estas parecían darle la razón a Leibniz.

El debate, decíamos, se cerró definitivamente con la publicación del *Tratado de dinámica* de d'Alembert en 1743. Durante la década precedente, lo más selecto de la comunidad dedicada a la filosofía natural en Alemania y Francia se había abocado al tema; Leonhard Euler¹⁶, entre ellos. Esto muestra la relevancia que el debate había alcanzado en el continente. En Inglaterra, por el contrario, el tema no había sido considerado central, al menos no de manera unánime. Mientras que algunos físicos ingleses se habían pronunciado a favor de los cartesianos, otros habían soslayado la discusión incluso en los años que siguieron a la muerte de Newton, en 1726-27. Por otro lado, seguidores de Newton trabajando en el continente aceptaban la conservación de la *vis viva*, a pesar de las críticas de Newton y Clarke a la filosofía de Leibniz. Entre los años 1725 y 1746 tuvo lugar en la Academia de Ciencias de St. Petersburgo un debate entre newtonianos y wolffianos que tendría al problema de la *vis viva* como centro.

Es evidente que el joven Kant desconocía¹⁷ el trabajo de d'Alembert de 1743. Es así que circa 1744 comienza a escribir sus *Ideas de la verdadera estimación de las fuerzas vivas* con la pretensión de entrar de lleno en la arena, abordando el que venía siendo un problema central en la mecánica. No obstante, el análisis que Kant hace del problema en cuestión no se agota en lo estrictamente mecanicista. Y tampoco se agota en ello el valor que este análisis puede llegar a adquirir si se lo lee en clave contemporánea. De hecho, no es inexacto decir que el principal

¹⁵ Edme Mariotte (1620-1684) fue un físico y sacerdote francés, conocido por su estudio de los gases. Más adelante su nombre reaparecerá ya que es mencionado por Kant también en sus *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* (1786) al discutir las fuerzas expansivas de su teoría de la materia.

¹⁶ Leonhard Euler (1707-1783) fue un matemático, físico, astrónomo, geógrafo e ingeniero suizo. Quizá el científico más prolífico de la historia, realizó importantísimos descubrimientos en matemática, lógica y mecánica, y fundó ramas enteras de la matemática, como la teoría de grafos y la topología. El cálculo diferencial y análisis complejo se encuentran también entre las muchas áreas en las que fue pionero.

¹⁷ Si bien la controversia era resuelta hacia fines de 1743 por el trabajo de d'Alembert, anticipado este, de alguna manera, por Euler hacia finales de la década de 1730, es notable que hacia 1746, y siendo aún un estudiante, Kant haya estado al tanto de ciertos detalles de un problema tan actual y haya sentido la capacidad de aportar a la discusión. El hecho de que el debate se cerrara hacia 1743, sumado al hecho de que los aspectos técnicos del análisis de Kant eran incorrectos, resultó en que *Ideas sobre la verdadera apreciación de las fuerzas vivas* haya sido desestimado cuando apareció, en 1749. Más adelante ahondaremos en la recepción que el trabajo tuvo al momento de su publicación.

valor del texto de Kant sobre las fuerzas vivas no reside tanto en sus consideraciones sobre la mecánica *per se* cuanto en su contenido metafísico. Por un lado, muchos de los argumentos físicos de Kant en ese texto son a todas luces incorrectos, incluso para el conocimiento científico de la época. Kant fallaba en identificar el núcleo de sentido de la discusión de algunos puntos técnicos, y sus consideraciones acerca de la inercia delataban confusiones conceptuales. Por otro lado, el foco del análisis kantiano acerca de la cuestión de las fuerzas vivas radicaba claramente en la enjundia filosófica más que en cuestiones prácticas. Kant dirigía su atención hacia la crítica del contenido filosófico que se derivaba de la consideración de la fuerza viva. Más adelante revisaremos detenidamente los argumentos del libro de Kant, recogeremos el contenido metafísico rezumante en el texto, y resaltaremos el punto central de su crítica a la concepción leibniziano-wolffiana del problema de la *vis viva*. Pero, antes de eso, continuemos discutiendo el contexto en el que su primer libro fue escrito.

La crítica a la dinámica de Leibniz y Wolff

Que el término *vis viva* aparezca en el título del libro, algo que es asimismo acentuado por la mención a Leibniz en el subtítulo, deja en claro cuál es el centro neurálgico de la discusión que Kant plantea allí. Kant emprendía un embate crítico contra Leibniz y Wolff, o, más precisamente, contra la versión wolffiana de la mecánica leibniziana. De acuerdo a Kant, una “verdadera estimación” de las fuerzas vivas era necesaria, y para ello era necesario, primero, aclarar algunas ideas acerca del “poder del cuerpo en general”.

Ahora bien, si esto es así y la crítica a la versión wolffiana de la mecánica de Leibniz¹⁸ es el tema central del libro, es imposible no preguntarnos qué significaba criticar a Wolff en el momento y en el ámbito en los que el joven Kant se encontraba al momento de escribirlo. Comencemos diciendo que Kant había conocido la obra de Wolff, así como la de Newton, de

¹⁸ En esta etapa del pensamiento de Kant la crítica a Wolff y a Leibniz no puede considerarse igual a aquella que aparece en su período más maduro, por ejemplo, en la *Crítica de la razón pura*. Si bien, como veremos, muchos autores debaten acerca del momento preciso en el que Kant comienza su ruptura con el sistema leibniziano-wolffiano, hay consenso en que un reconocible quiebre inflexivo ocurre hacia la década de 1760. Más adelante, en su período crítico, Kant dirigiría su crítica hacia la teoría del conocimiento. Por ejemplo, en las observaciones generales de la estética trascendental podemos leer: “la filosofía leibniziano-wolffiana les ha asignado un punto de vista enteramente erróneo a todas las investigaciones sobre la naturaleza y el origen de nuestros conocimientos, al considerar la diferencia entre sensibilidad y lo intelectual como meramente lógica (...)” (*KrV*, B 61; cf. Kant, 2014 [1787], p. 112). En las obras inéditas de Kant encontramos también críticas directas a Wolff y a Leibniz de otra índole, en las que Kant deja ver su condescendencia con esos pensadores; por ejemplo: “El célebre Wolff posee indiscutibles méritos en la ontología por la claridad y precisión en el análisis de aquella facultad; pero no en la ampliación del conocimiento en esa ciencia, pues la materia estaba agotada” (Kant, 2011 [1804], p. 8); también: “Esta marcha de los dogmáticos (...) que incluye también la época de un Leibniz y de un Wolff, si bien no es la marcha correcta, es sin embargo la más natural” (p. 10).

manos de su profesor Martin Knutzen¹⁹, manos por las que, sin duda, su manuscrito pasaría antes de ser publicado. También cabe decir que, en aquellos tiempos, y a pesar de ser receptor de enorme reconocimiento, Wolff era considerado por gran parte de la comunidad académica como un filósofo radical. Esto podría sugerir que un cuestionamiento a Wolff en un contexto tal no sería sino bien recibido, al menos por parte del claustro. Y, en efecto, ese habría sido el caso si la crítica de Kant a Wolff se hubiese dirigido hacia los componentes racionalistas de la filosofía de este último. Pero el cuestionamiento de Kant no iba precisamente en esa dirección, sino en la opuesta. Su crítica no se dirigía hacia el racionalismo dogmático de Wolff; por el contrario, la crítica de Kant en su libro sobre las fuerzas vivas puede bien considerarse un exhorto a la radicalización de los componentes metafísicos del linaje leibniziano.

Ideas de la verdadera valoración de las fuerzas vivas comienza con unos apologéticos prefacios en los que el joven elogia a sus antecesores; celeberrimos hombres de ciencia a los que, anticipa, se dispone a refutar. Escribe:

Creo que he logrado tener una opinión tan buena del juicio del mundo al que presento estas páginas, que la libertad que me tomo de contradecir a grandes hombres no se interpretará como un crimen (...). Si presumo rechazar el pensamiento de Herr von Leibniz, Wolff, Herrmann, Bernoulli, Bülfinger y otros y dar prioridad al mío, entonces no desearía tener jueces peores que ellos, porque sé que su juicio debería rechazar mis opiniones, mas no condenar mi intención. No se puede dar a estos hombres más elogios espléndidos que criticar sin miedo ante ellos todas las opiniones, sin excluir las propias (Kant, 1749, §§ I-II, p. 3; Watkins, 2015, §§ I-II, p. 14).

Se presenta, pues, como un joven ignoto que desafía, armado con su honestidad intelectual y sin que en ello deba leerse más que signos de una profunda admiración por sus contrincantes, a lo más selecto de la academia europea a un duelo dialéctico. Escribe también:

Hay otra objeción que se planteará en mi contra y que parece que debo adelantarme. En ocasiones se me oirá dando la impresión de alguien que está muy seguro de la veracidad de sus conclusiones y que no teme que lo contradigan o que sus inferencias puedan engañarlo. No soy tan vanidoso como para imaginarme a mí mismo en esta posición (Kant, 1749, §VIII; Watkins, 2015, §VIII, p. 17).

¹⁹ Martin Knutzen (1713- 1751) fue un filósofo alemán, estudioso de la filosofía de Christian Wolff. Fue profesor de Immanuel Kant, a quien introdujo al estudio de la mecánica clásica.

Así, y tal como discutiremos más abajo al revisar en detalle el contenido del libro, Kant empieza a desplegar sus argumentos y arremete, en un primer movimiento crítico, contra la idea wolffiana de “fuerza moviente” [*vis motrix*]:

El inventor le dio a esta fuerza el nombre general de “fuerza activa”. (...) El cuerpo, se dice, tiene fuerza de movimiento (...) Sin embargo, sostengo que si uno atribuye una fuerza motriz esencial [*vim motricem*] al cuerpo para tener una respuesta pronta a la pregunta sobre la causa del movimiento, entonces se está empleando en cierta medida el artificio que explotaron los escolásticos cuando, al investigar los motivos del calor o del frío, recurrieron a *vi calorifica* o *fragificante* (§§ 2-3, pp. 22-23).

La de Wolff era una versión no-inmanentista de la dinámica leibniziana; versión que, por otra parte, era compartida por muchos post-leibnizianos en el mundo germánico. Kant rechazaba esa variante y proponía una profundización de los elementos metafísicos. Eso, según él, prometía dar acceso al extracto original de las ideas bosquejadas por Leibniz.

La crítica de Kant a la fuerza motriz wolffiana partía de su convicción de que la identificación entre fuerza y movimiento encuentra sus limitaciones. La fuerza debe entenderse, en opinión de Kant y de acuerdo a lo que él interpretaba de la doctrina de Leibniz, no como mero movimiento sino más bien en términos ontológicos (*cf.* Schönfeld *et al.*, 2019). Según Kant, la fuerza viva brota, tal como lo hace el agua de una fuente natural; la fuerza irradia de forma tal que un cuerpo ejerce acción sobre los otros. Es por esto que la *vis viva* puede entenderse como una *vis activa*:

Uno debería decir que, en la medida en que el cuerpo actúa, se esfuerza por alcanzar el estado en el que no actúa. Por lo tanto, se debe llamar a la fuerza de un cuerpo como *vim activam* (Kant, 1749, §3, p. 5; Watkins, 2015, p. 23).

La fuerza activa aparece a los ojos de Kant como elemento físico fundamental²⁰, en el sentido que todo parece derivarse de ella, incluso la extensión, la dimensionalidad y otros atributos del espacio. La *vis activa* actúa en la interacción de la materia; es ella lo que produce el cambio de estado que un cuerpo sufre al interactuar con otro y desviar su movimiento, o adquirirlo. Para Kant, la fuerza activa teje el mundo. La *vis activa* interviene en la interacción entre las

²⁰ Vale aclarar nuevamente que, para Kant, hay algo anterior a la fuerza. Esto es la substancia, que determina la forma en la que la fuerza actúa. Aun así, la fuerza es el elemento que da forma al mundo. Por otro lado, es importante mencionar que Kant no desarrolla en profundidad ninguna teoría de la materia en su obra de 1747; al menos, no con el detenimiento con el que lo intentaría hacia la década de 1780, en sus *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza*.

substancias y también en la interacción entre la mente y las substancias – *e.g.* entre los cuerpos que nos rodean y nuestra mente– en cuanto el estado de la mente puede ser alterado por la materia y viceversa. Esta idea, que anticipa y habilita otras que vendrían en la etapa crítica, ya aparece en relieve en su libro de 1747. Las fuerzas aparecen allí como elementos constitutivos del mundo, del espacio y también de las ideas. Las fuerzas son pensadas como esa irradiación de acción a partir de lo que todo deriva. Kant no piensa las fuerzas *en* el espacio, sino el espacio como producto de las fuerzas. Concibe ese fluir incesante de la *vis activa* como funciones locales, pero no como funciones definidas en los puntos de un espacio preexistente, sino como funciones que dan origen al espacio mismo: “Es fácil mostrar que no habría espacio ni extensión si las substancias no tuvieran fuerza para actuar externamente a sí mismas”, afirma (§9, p. 26). Decíamos ya: las fuerzas entre los cuerpos son los trazos que delinearían el mundo, y las ubicaciones de los cuerpos son sus puntos de fuga²¹. Según esta ontología, el espacio es un elemento emergente: los cuerpos interactúan mediante fuerzas y esa interacción corresponde a un cambio en el estado de cada cuerpo. Luego, es esa interacción entre cuerpos lo que define y determina el ordenamiento de las ubicaciones de estos en el espacio, los puntos en los que los cuerpos se hallan, y esas ubicaciones definen, finalmente, el espacio²².

En su libro *Kant and the exact sciences*, Michael Friedman resume el punto central de *Ideas sobre la verdadera estimación de las fuerzas vivas* de la siguiente manera:

Comenzando con *Ideas sobre la verdadera estimación de las fuerzas vivas*, Kant intenta revisar la monadología leibniziano-wolffiana a la luz de la física newtoniana. La realidad consiste en substancias simples no espaciales, intemporales y sin extensión; el espacio, el tiempo y el movimiento son fenómenos derivados de este reino monádico subyacente. Pero Kant rompe decisivamente con la concepción leibniziano-wolffiana de fuerza activa y de interacción. La noción primordial de fuerza activa no es la de un principio interno por el cual una substancia determina la

²¹ Una pregunta que puede surgir en este punto es acerca del volumen ocupado por los cuerpos; es decir, la cuestión de la extensión de la materia. En otros términos: el problema de los cuerpos en el espacio no se agota en la posición de estos y el movimiento de los mismos, sino también atañe al espacio *ocupado* por las substancias. Kant analizará este problema en detalle en su posterior *Monadología física* (1756) y, aún más tarde, en *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* (1786).

²² Podría argumentarse que el hecho de que a comienzos del período precrítico Kant pensara al espacio como dado a partir de las fuerzas entre las substancias no se trata sino de una adopción de la noción leibniziana de espacio relacional. No obstante, hay diferencias importantes entre la noción de espacio del Kant precrítico y la de Leibniz; en particular, hay una gran diferencia en lo que hace a la dimensionalidad del espacio. Mientras para Kant la tridimensionalidad del espacio era contingente, para Leibniz la pregunta sobre su necesidad o contingencia no tiene asidero, tal como lo explica en su *Teodicea*.

evolución de sus propios estados, es más bien la de una acción ejercida por una substancia sobre otra substancia por la cual la primera cambia el estado interno de la segunda. Kant ha importado así la segunda ley del movimiento de Newton al corazón mismo de la monadología. (...) [Para Kant], dado que la noción primordial y general de la fuerza activa es aquella por la cual una substancia cambia el estado interno de una segunda substancia, no hay dificultad en concebir una acción de la materia sobre el alma o del alma sobre la materia (Friedman, 1992, p. 5).

Dice también Friedman que “[d]esde el punto de vista de la versión de Kant del ‘relacionalismo’ (...), nuestro conocimiento de las propiedades esenciales del espacio debería ser completamente derivadas de nuestro conocimiento empírico de las leyes de la dinámica”; enfatiza la palabra “empírico” (p. 27). De acuerdo a Friedman, Kant reemplaza la “la concepción de Leibniz de la idealidad del espacio con su propia concepción del carácter fundamentalmente dinámico del espacio” (*ibid.*).

Esta cosmología, que por momentos toma tintes monadológicos y relacionistas sin llegar a ser ninguna de las dos cosas de manera definitiva, habilita un análisis riquísimo: el carácter fundamental de las leyes que rigen las fuerzas naturales, el carácter superveniente del espacio y de sus atributos, la no-unicidad del mundo, la perfección del mundo en relación con su conectividad, la posibilidad de interacción recíproca y correlativa entre el estado de la mente y el de la materia, son todos tópicos que se derivan de la metafísica contenida en ese primer libro de Kant. Cada uno de estos temas merece un análisis dedicado, al que nos abocaremos en las próximas subsecciones.

Consideraciones sobre la obra precrítica

El contenido del primer libro de Kant es, como tratábamos de argumentar, de una riqueza que es difícil de sobreestimar. Por un lado, *Ideas de la verdadera estimación de las fuerzas vivas* expone con claridad meridiana las convicciones metafísicas y compromisos ontológicos del joven Kant. Eso, a su vez, posibilita un análisis sesudo de la continuidad del pensamiento kantiano, trazada esta desde los comienzos del período precrítico hasta sus trabajos de 1770. Por otro lado, y aun cuando mucho de la física de aquel primer trabajo de Kant es incorrecta, una gran parte del contenido de *Ideas de la verdadera estimación de las fuerzas vivas* es de una actualidad que apabulla. Para convencerse de esto alcanza con apreciar el arqueado de cejas en los rostros de los físicos teóricos actuales cuando se les hace saber de algunas afirmaciones de Kant hacia 1747. Muchas de las ideas expuestas en su libro sobre las fuerzas vivas anticipan lo

que sería la forma de pensar las fuerzas y la interacción entre la materia a partir del siglo XX, algo sobre lo que volveremos al final de esta tesis.

Es precisamente debido al gran valor de la primera obra de Kant que desconcierta el hecho infausto de que, durante mucho tiempo, se la haya subestimado²³. Incluso en la comunidad de estudiosos que contribuyen a la tarea proba de revalorizar las obras del período precrítico, una tarea por demás adeudada por kantianos y post-kantianos hasta finales del siglo XX, es posible encontrar expertos que siguen sin apreciar adecuadamente las *Ideas de la verdadera estimación de las fuerzas vivas*.

Desde una perspectiva estrictamente filosófica, una de las razones por las que sostenemos que el libro de Kant sobre las fuerzas vivas es de un valor admirable es que puede verse en él no solo una anticipación de elementos de la estética trascendental, sino también un documento que registra los pasos previos que habilitan el paso hacia la *Crítica*. Reiterando nuestras propias palabras, el tiempo y el espacio debían ser liberados del mundo antes de poder irse de él, y es precisamente en esa primera obra donde ese movimiento de liberación comienza, aunque aún de manera tímida, contradictoria y germinal. El libro es, asimismo, un testimonio de compromisos ontológicos y convicciones metafísicas del joven filósofo de Königsberg.

Aun así, como decíamos, ese primer trabajo de Kant ha sido desdeñado por muchos. Se ha insinuado a menudo que el mismo Kant pretendió ocultar las huellas de aquellos primeros pasos (cf. Carpenter, 2000). Es quizá con ánimo de respetar esa pretensión que en muchos estudios sobre Kant el libro de 1747 es, si no omitido, ciertamente desestimado²⁴. Por ejemplo, en el célebre libro de Cassirer sobre Kant (Cassirer, 1918) se hace hincapié en el carácter de *juvenilia* de su primer trabajo. Cassirer no oculta su intención cuando afirma que el de las fuerzas vivas se trata “decididamente del libro de un estudiante”. Según Cassirer, la primera obra de Kant muestra a un joven aún no afianzado en ese rasgo distante de lo emocional que le conocemos al Kant maduro, rasgo que caracteriza como “fundamental de su carácter” (cf. Cassirer, 2018 [1918], p. 19). En esa obra de juventud, sostiene Cassirer, se encuentran “una serie de consideraciones puramente personales” que dejan ver el sesgo al momento de “determinar el punto de vista individual desde el que pretende enjuiciar el problema”. Cassirer va más allá al sostener que la mirada intelectual libre y el juicio maduro sobre la totalidad de los problemas

²³ Al comentar la traducción del primer libro de Kant llevada a cabo por Juan Arana, Ana Rojas observa que se trata de “la obra kantiana que menos interés ha suscitado” (1988, p. 171), y sostiene que no merece el “olvido y marginación” que ha sufrido (p. 173).

²⁴ Mario Caimi ha expresado que el libro sobre las fuerzas vivas no es muy frecuentado por los comentaristas de la filosofía kantiana.

científicos que podemos encontrar en *Historia general de la naturaleza y teoría del cielo*, obra de Kant que fue escrita entre los años 1753 y 1755, se encontraban ausentes en *Ideas sobre la verdadera apreciación de las fuerzas vivas* (cf. p. 50). Estas consideraciones de Cassirer, no obstante, parecen no tener en cuenta el hecho de que las concepciones metafísicas fundamentales ya presentes en *Ideas sobre la verdadera apreciación de las fuerzas vivas* – e.g. el problema de los muchos mundos– no habían cambiado radicalmente al menos hasta 1770, punto sobre lo que volveremos más adelante. Se hace evidente que aquello que Cassirer veía como “emocional” en el texto de 1747 respondía a los fuertes compromisos ontológicos que Kant, sin mayores reparos, declaraba allí. El gesto hierático que Cassirer parece exigirle al joven Kant sería el abandono de sus excesos metafísicos.

El análisis comparativo que Cassirer hace entre la primera obra de Kant y aquellas de su período crítico parece pasar por alto importantes rasgos de continuidad. Cassirer sostiene que “Kant, en [esa] obra suya inicial, dista todavía mucho del punto de vista ‘crítico’ en que habrá de situarse su teoría posterior” (p. 41), y, con su vicio de biógrafo, afirma que “el verdadero interés de la [obra sobre las fuerzas vivas] no reside tanto en el contenido de [esta] como en el tono en el que está escrita” (p. 43). Agrega: “Su contenido, ateniéndose a la ciencia pura de la naturaleza, es, sin ningún género de duda, bastante pobre”.

Aun cuando es necesario coincidir en que el estudio de la física que Kant hace en su primer libro evidencia confusiones en relación con aspectos básicos de la mecánica, sostener que dicho libro tiene un valor pobre en lo que hace a la ciencia pura es, desde una lectura actual, erróneo. Pero incluso sin insistir en el hecho de que algunas ideas del libro sobre las fuerzas vivas anticipan formas de entender las interacciones entre la materia que son propias de la física de los siglos XX y XXI – e.g. la idea de la dimensionalidad del espacio como atributo derivado, o la idea del espacio *per se* como elemento emergente–, es posible refutar la apreciación de Cassirer haciendo notar que muchas de las ideas ya presentes en *Ideas sobre la verdadera apreciación de las fuerzas vivas* entran en comunicación directa con la filosofía natural que Kant expondría, por ejemplo, en *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza*, obra de 1786 y, por lo tanto, contemporánea a la *Crítica*. Un ejemplo de los ecos que su primer trabajo encontraría en su muy posterior *Principios metafísicos* es la discusión sobre las formas funcionales de las fuerzas en relación con la composición de la materia (cf. Kant, 1991 [1786], pp. 77-79). Por dar otro ejemplo, digamos que también en los *Prolegómenos* la cuestión de la fuerza aparece mencionada de una manera que se asemeja a aquella en la que es tratada en su primer libro (cf. Kant, 1999 [1783], §38).

En relación con esto último, también merece ser dicho que incluso en algunos trabajos recientes que sí cumplen con hacer una adecuada valoración de la importancia del contenido del trabajo de Kant sobre las fuerzas vivas, no se insiste en establecer vínculos con su filosofía ulterior. Por ejemplo, De Bianchi y Wells, quienes hacen un excelente análisis de cómo Kant expone en su primer libro la dimensionalidad del espacio en relación con la noción de fuerza activa, se limitan a marcar las diferencias con el período crítico, mas no las continuidades (cf. De Bianchi *et al.*, 2015). En particular, no discuten la dimensionalidad y la forma funcional de las fuerzas en relación con el problema de la materia en los *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* (cf. Kant, 1991 [1786], pp. 79-81). Claro está que en esta última obra Kant presenta una física diferente a la que comenzaba a bosquejar en su texto de juventud; el abordaje del problema de la impenetrabilidad de la materia, al que nos referiremos más adelante en este trabajo, es prueba de ello. Aun así, es imposible no verse invitado a destacar las relaciones entre ambos períodos. Es por ello que sorprende que tales conexiones hayan sido pasadas por alto por De Bianchi y Wells en su exposición del argumento kantiano para la explicación de la dimensionalidad del espacio, exposición que parece agotarse en el período precrítico (cf. Baker, 1935; Beiser 1992). Que en el período crítico Kant deje de lado la pregunta por la necesidad o contingencia de la tridimensionalidad del espacio no implica que la tridimensionalidad del espacio no siga siendo fundamental para organizar su filosofía natural del período crítico. Para enfatizar este punto y ser más precisos, digamos que no es inexacto afirmar que, siguiendo los argumentos de Kant *stricto sensu*, hay pasajes de *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* que elaboran acerca de la íntima relación entre la tridimensionalidad y la extensión de la materia, algo que Kant introducía ya en su *Monadología física* (Kant, 1756) al contemplar la posibilidad de una fuerza que actúe según la ley de la inversa del cubo y de manera ultralocal²⁵ (cf. Kant, 1991 [1786], pp. 77-81). Retornaremos sobre este punto más adelante.

La habilitación de una estética trascendental futura

Las desatenciones de la que es objeto el contenido metafísico del libro sobre las fuerzas vivas son, sin que eso sorprenda demasiado, más frecuente en los estudios que hacen foco en la teoría del conocimiento en el período crítico y no tanto en los aspectos de su filosofía natural. Un ejemplo remarcable es el de Kuno Fischer. En el tercer capítulo de *Vida de Kant e historia de los orígenes de la filosofía crítica*, Fischer (1984) propone una disección de la obra kantiana

²⁵ Ultralocal en el sentido de que actúa a distancias infinitesimalmente pequeñas.

en períodos, clasificación que, no está mal decirlo, ha sido tomada por otros acaso más por la comodidad de separar en decenios que por responder esta a un verdadero criterio académico. Los sesgos de la mirada de estudiosos neokantianos clásicos a menudo difieren de los criterios modernos de periodización (cf. Torretti, 1980). Fischer separa los períodos de la obra kantiana de la siguiente manera: el primer período²⁶ está constituido por las décadas 1740-1760, etapa que clasifica como dirigida por el sistema leibniziano-wolffiano. El segundo período coincide con el decenio siguiente, 1760-1770, que estaría influenciado por la filosofía inglesa y en especial por la de Hume. El tercer período, que comienza en 1770, es, según Fischer, aquel en el que Kant “eleva su verdadero punto de vista y pasa sobre los dogmáticos, metafísicos y filósofos de la experiencia.” (pp. 71-72). El empleo del adjetivo “verdadero” para referir a un pensamiento que “pasa sobre los dogmáticos” resulta sintomático y delata el desconocimiento de continuidades entre la obra precrítica y la de la década de 1780. A su vez, dentro del período precrítico Fischer distingue entre tres grados. En el primero de estos, sostiene, “se halla Kant bajo el influjo de la filosofía escolástica alemana; en el segundo, bajo el de la filosofía inglesa, y en el tercero, bajo el de la escéptica”. Ese primer grado del período precrítico, de acuerdo a la cronología establecida por Fischer, se extiende entre *Ideas de la verdadera apreciación de las fuerzas vivas* y *La razón primera razón de la diferencia entre direcciones en el espacio*, y es una etapa en la que, considera Fischer, el pensamiento de Kant habría permanecido distante del punto crítico. Esta última afirmación es, si no del todo incorrecta, ciertamente objetable. Fischer sostiene que, para superar ese primer grado del período precrítico, le faltaba a Kant hacer ese primer descubrimiento de la filosofía crítica que lo llevaría a “tener un concepto absolutamente nuevo de la naturaleza del espacio”; a saber, comprender y demostrar que “el espacio no es un ser que existe fuera de nosotros, sino una forma o manera de ser de nuestras representaciones” (p. 74). Si bien es cierto que la concepción del espacio que Kant exponía hacia 1747 dista de aquella que encontramos expuesta en las meditaciones acabadas de la estética trascendental, es imposible desconocer la necesidad de establecer, como paso preliminar, la idea del espacio como noción derivada, tarea propedéutica que Kant realiza ya en su primer libro. Insistimos con ello: era menester liberar al espacio del mundo de las cosas en sí. Pero Fischer no parece reconocer continuidad alguna en el pensamiento de Kant. Afirma:

Por más que Kant, en el curso de su primer período, combatiera la metafísica dogmática, separándose cada vez más de ella, sin embargo, en lo que al espacio toca, pensó dogmáticamente. Creyó en la existencia objetiva del mismo, así en su primer

²⁶ Ver también (Fischer, en *Kant*, 2014, p. 131).

escrito, sobre las fuerzas vivas, como en el último, solo dos años anteriores del período crítico. Estos dos escritos están completamente conformes en considerar al espacio como algo dado objetivo (p. 75).

Esta apreciación de la forma en la que Kant pensó el espacio en su trabajo de 1747 insinúa que la misma se ajustaba, sin mayor diferencia que merezca atención, a la idea clásica del espacio objetivo, ya sustantivalista, ya relacionalista. – Fischer también tiene en cuenta aquí las afirmaciones de Kant (1768) acerca del espacio absoluto—. Mas no detenerse en el hecho de que ya en su primer libro Kant pensaba a los atributos del espacio, tales como la dimensionalidad, como derivados de algo aún más fundamental, la fuerza, es fallar en reconocer uno de los principales núcleos de sentido en su obra temprana. Por otro lado, al respecto de la afirmación de que en su primer período Kant “combatiera la metafísica dogmática, separándose cada vez más de ella”, es esencial atender a dos puntos si es que uno aspira a una apreciación adecuada del contenido metafísico de la filosofía kantiana: uno es la importancia del rol regulativo que la metafísica adquiere en el pensamiento de Kant y el hecho de que las preguntas metafísicas no pierden vigencia en el período crítico; el otro, la necesidad de una metafísica primera de las formas del espacio como condición de posibilidad de una filosofía trascendental ulterior. En nuestra opinión, el abandono paulatino de ciertos componentes metafísicos en la obra de Kant debe ser considerado, no como un rasgo de evolución o maduración filosófica, sino como el metódico acto de desensamblar el andamiaje que resultó necesario para la construcción de un edificio tan delicado como la filosofía crítica.

Recepción contemporánea de la obra precrítica

Continuando con el análisis de cómo el primer libro de Kant ha sido subestimado incluso en muchos estudios recientes de su obra, podemos decir que, aun cuando en las dos últimas décadas se ha visto surgir una tendencia reivindicativa en la apreciación de la obra de período precrítico, sigue el libro de las fuerzas vivas²⁷ omitiéndose en algunos análisis del pensamiento kantiano sobre el espacio y el tiempo (cf. Janiak, 2016; Hatfield, 2006). Esto sorprende debido a que es precisamente en aquella primera obra en la que Kant describe los atributos del espacio como nociones derivadas. Ya Rudolf Carnap había omitido el primer libro de Kant entre las

²⁷ Estudios recientes han tratado el libro de las fuerzas vivas en detalle, atendiendo sobre todo al análisis comparativo con la mecánica previa al libro Kant (cf. Veneroni, 2015; Veneroni, 2018; Konstantinov *et al.*, 2020; Veneroni, 2021).

referencias de su artículo sobre la dimensionalidad y la causalidad, publicado en 1924 en *Annalen der Philosophie unter philosophischen Kritik* (Carnap, 1924), omisión que es particularmente desconcertante dado el explícito y renovador análisis que Kant hace de la dimensionalidad del espacio en aquella primera obra suya. También estudios recientes, como los de Falkenburg, parecen adherir a la idea de una ruptura acentuada entre la filosofía natural del período precrítico, enfocándose sobre todo en los textos de la década de 1750, y la filosofía crítica (cf. Falkenburg, 2001; 2020). Por supuesto que no es posible leer la entera filosofía de Kant como una historia inconsútil de construcción de un sistema; a lo largo de su obra hay giros, cambios de enfoque y de objeto, hay renunciaciones, hay apostasías íntimas; pero también hay continuidades.

Son varios los casos recientes en los que la falta de una adecuada identificación de continuidades entre la obra del comienzo del período precrítico y la posterior se hace evidente. Por ejemplo, Andrew Carpenter señala que Karl Ameriks reduce el análisis al “retrata[r] al joven Kant como un contorsionista intelectual que se transforma de un racionalista dogmático en un empirista radical y viceversa en tan solo unos años” (cf. Carpenter, 2000; cf. Ameriks, 1982). Advierte también Carpenter que Martin Schönfeld, en su libro *Philosophy of the young Kant: the precritical project*, “subestima la importancia de los escritos de Kant de la década de 1740”.

La tarea de resaltar las subestimaciones de la primera obra de Kant se presenta tan extenuante cuanto necesaria. Para sentirnos apoyados en este camino, podemos citar nuevamente a Carpenter, quien al respecto escribe que “[s]egún el dogma, que se remonta a los propios esfuerzos de Kant por suprimir sus primeros escritos, los textos precríticos son escritos juveniles nada interesantes de un momento en el que Kant estaba enamorado de Leibniz y Wolff” (cf. Carpenter, 2000). Más recientemente, dice Carpenter, algunos académicos se han atrevido a desafiar esa postura ortodoxa. Entre ellos cabe mencionar al mismo Carpenter, y, junto a él, a Alison Laywine, Susan Shell, Martin Schönfeld y Eric Watkins. De todos modos, aun entre ellos parece existir un debate acerca del peso de las diferentes obras del período precrítico. Así, por ejemplo, Carpenter es crítico de la forma en la que Schönfeld describe el valor del libro de Kant sobre las fuerzas vivas. Carpenter reconoce que el libro de Schönfeld (2000) sobre *Philosophy of the young Kant: the precritical project* es un texto profundo acerca de la filosofía precrítica que podría contribuir a que “los trabajos tempranos de Kant escapen prontamente a la oscuridad ignominiosa en la cual han languidecido por tan largo tiempo” (Carpenter, 2000), pero no deja de señalarle a Schönfeld sus descuidos. Stephen Howard, por su parte, fue aún más crítico del libro de Schönfeld, y consideró que, aunque Schönfeld sí

dedica espacio considerable al libro sobre las fuerzas vivas, igual subestima la importancia de este (cf. Howard, 2018). Howard señala que Schönfeld califica el debut de Kant como “embarazoso” (cf. Schönfeld, 2020, p. 47), y lo califica como un “trabajo de estudiante desorganizado y contradictorio” (Schönfeld, 2020, p. 19; cf. Howard, 2018, p. 875).

Por supuesto, la convicción del valor de los primeros trabajos de Kant no les impide a expertos en la obra precrítica, como Carpenter o Schönfeld, detectar la poca sofisticación que esos trabajos exhiben en comparación a los del período crítico. En particular, Schönfeld enfatiza que “el período precrítico comienza y finaliza con caos y confusión” (cf. Schönfeld, 2000; cf. Carpenter, 2000). Carpenter acuerda con Schönfeld en lo “infructuosas y confusas” que resultan las especulaciones acerca de la mecánica en el libro de Kant sobre las fuerzas vivas. No obstante, no relativizan el valor de su contenido filosófico.

*Debate acerca de la influencia de los *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica**

Otro aspecto del libro de Schönfeld que suscitó críticas y abrió debate es la omisión del trabajo sobre las fuerzas vivas al momento de revisar la genealogía del interés de Kant por la teoría de la gravitación de Newton expuesta en los *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*. Es sintomático que Schönfeld pase por alto el detalle de que, salvo por el nombre de Leibniz en el subtítulo, es el de Isaac Newton el primero que Kant menciona en su escrito de 1747. Asimismo, la referencia a la ley de la inversa del cuadrado sugiere la presencia de Newton en esa obra²⁸. Carpenter parece coincidir con nosotros en esto cuando señala que la idea de Schönfeld de que la teoría newtoniana de la gravitación no se volvió significativa para Kant sino hasta después de la publicación de su primer libro es implausible. En relación con esto, cabe citar lo que Friedman escribe en su libro *Kant and the exact sciences* acerca de la presencia de Newton en el primer trabajo de Kant: Friedman resalta que Kant comienza su carrera estudiando con entusiasmo la filosofía natural de Newton y la metafísica de la naturaleza de Leibniz y Wolff, lo que le había sido inculcado por Martin Knutzen, y afirma que “*Ideas sobre la verdadera estimación de las fuerzas vivas* (...) inicia una reconsideración filosófica fundamental de la física newtoniana que luego prosigue a lo largo del llamado período precrítico” (Friedman, 1992, p. xi). Es evidente, sostiene Friedman, que “los *Principia* de

²⁸ La ley de gravitación universal de Newton establece que la fuerza gravitatoria, F , entre dos cuerpos de masas m_1 y m_2 separados a una distancia r está dada por $F = -Gm_1m_2/r^2$, donde G es la constante universal de la gravitación. El signo negativo en la fórmula da cuenta de que la fuerza es atractiva. La “ley de la inversa del cuadrado de la distancia”, que será central en toda la filosofía natural de Kant e incluso servirá como ejemplo en temas de la filosofía trascendental, refiere a la dependencia inversamente proporcional entre F y r^2 .

Newton sirven como modelo para el logro científico durante toda la larga carrera de Kant: desde *Ideas sobre la verdadera estimación de las fuerzas vivas* (...) hasta el inédito *Opus postumum*” (p. 136). En opinión de Friedman, Kant fue un newtoniano toda la vida, habiendo estado cautivado por la ley de la gravitación universal desde la publicación de su primer trabajo. Incluso, Friedman llega a afirmar que la teoría de Newton oficia como regente²⁹ de la obra de Kant en todo el período: “Kant conscientemente busca remodelar la tradición leibniziano-wolffiana para armonizar mejor la metafísica con la filosofía natural newtoniana” (p. xiii). Tal era, según Friedman, la importancia de la física de Newton para la metafísica de Kant.

Sobre este último punto, y volviendo al análisis que hace Carpenter³⁰ del libro de Schönfeld, es importante decir que, aun cuando es cierto que la teoría de la gravitación universal *per se* no fue importante³¹ para la discusión de la mecánica en el trabajo de Kant sobre la *vis viva*, “ese principio desempeñó un papel crucial en la sección metafísica” de ese mismo trabajo. Agrega Carpenter: “La discusión [de Kant] de la actividad causal y del problema entre mente/cuerpo incluyen una intrigante teoría metafísica de la pluralidad³² de los mundos reales” (*cf.* Carpenter, 2000). A juicio de Carpenter, es preciso reconocer el valor de estos componentes metafísicos en el trabajo de Kant sobre la *vis viva*, algo en lo que Schönfeld falla: “descuida las reflexiones metafísicas de la primera parte de esa obra”. Según Carpenter, un error en la explicación que Schönfeld da del desarrollo filosófico de Kant es que “varios de los temas metafísicos importantes que Schönfeld cree que se originaron en los textos de la década de 1750 son prominentes en la primera publicación de Kant” (Carpenter, 2000). Carpenter remarca que, aunque la afirmación de Schönfeld de que el joven Kant rompió con la tradición leibniziano-wolffiana con la que comúnmente se lo asocia, ese quiebre se dio antes de lo que Schönfeld

²⁹ Se ha interpretado también que, en su primer libro, Kant “mostraba que Newton y Leibniz no eran tan contradictorios como se creía [y que] cabían estrategias para considerarlos complementarios. El tono era de reconocimiento del talento de los dos genios, pero también de una sobria crítica” (*cf.* Villacañas, 2010, p. XVIII).

³⁰ Más allá de las críticas que Carpenter dirige al libro de Schönfeld, dirigidas principalmente a la subestimación por parte de este último del texto de Kant sobre las fuerzas vivas, podemos decir que la valorización de Schönfeld sobre la importancia de dicho texto parecería haber cambiado tiempo después (*cf.* Schönfeld y Thompson, 2019). Pero incluso circunscribiendo el análisis al libro de Schönfeld, Carpenter le reconoce a este último haber acertado, por ejemplo, al ponderar correctamente la independencia de pensamiento que Kant ya mostraba en su primer trabajo (*cf.* Carpenter, 2000).

³¹ En realidad, implícitamente la teoría de Newton sí desempeña un rol importante en el análisis que Kant hace de la dimensionalidad del espacio, ya que, como discutiremos más adelante, es la fuerza de gravedad el ejemplo que tiene a mano para hablar de “la ley de la inversa del cuadrado”, que resulta central para su argumento.

³² Volveremos sobre el problema de la pluralidad de mundos y su relación con la dimensionalidad del espacio en las próximas secciones.

indica en su libro. Sostiene Carpenter, y con acierto, que esa ruptura con la tradición leibniziano-wolffiana se da ya en 1747.

Reconsideración del libro de 1747 sobre la vis viva

Decíamos antes que en las últimas décadas se ha visto un considerable empeño por revalorizar la obra precrítica de Kant. Existen en la literatura reciente libros de ensayo, antologías y artículos de investigación que aportan a la tarea de rescatar los trabajos de ciencia natural del joven Kant del ignominioso lugar en el que otrora se los hubo puesto. Hablamos ya del libro de Martin Schönfeld, *Philosophy of the young Kant: the precritical project*, y del ya clásico texto de Michael Friedman, *Kant and the exact sciences*. Otra obra que aporta a esta justa es *Natural Sciences*, la edición de los trabajos de Kant editada por Eric Watkins (2015). Esta antología recoge, *exceptis excipiendis*, los trabajos de Kant sobre mecánica, geología, física, astronomía, cosmología, desde *Ideas de la verdadera valoración de las fuerzas vivas* hasta su trabajo sobre *Geografía física* hacia³³ 1802. Cabe entonces atender a las consideraciones del compilador de los trabajos de *Ciencia natural* acerca del libro de las fuerzas vivas. En el prefacio de la edición leemos que la primera obra de Kant se trata de “un libro importante que aborda temas centrales de la época y estaba destinado a ser una contribución importante a las ciencias naturales” (Watkins, 2015, p. x). Del valor del trabajo, dice: “es un trabajo significativo, componente central del pensamiento temprano de Kant (...) merece más atención de la que de hecho recibió” (p. x). Según Watkins, “[n]o se puede considerar que el [libro sobre la vis viva] de Kant haya logrado lo que esperaba. No resolvió el debate *vis viva*, y muchas de sus afirmaciones más distintivas han sido rechazadas” (p. 7). Aun así, Watkins parece coincidir con nosotros en la importancia que el libro de las fuerzas vivas tiene para entender la filosofía ulterior de Kant, incluyendo en esta afirmación a su filosofía trascendental: “[el texto] proporciona una visión sustantiva de los primeros pensamientos filosóficos de Kant, lo que es interesante en sí mismo y es extremadamente útil para comprender el período crítico posterior y más revolucionario de Kant” (p. 7).

³³ El volumen no contiene los *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* (Kant, 1786), texto que, a pesar de su contenido científico, pertenece a una clase muy especial y se trata de un trabajo de otra índole. De hecho, el contenido metafísico de *Principios* (1786) puede, en alguna medida, solo ser comparado con el de *Ideas de la verdadera valoración de las fuerzas vivas*. Es esto lo que nos lleva a vincular estos dos textos en esta tesis.

Condiciones en las que el libro de la vis viva fue escrito

Habiendo revisado las atenciones y desatenciones al primer texto de Kant, *Ideas de la verdadera valoración de las fuerzas vivas*, pasemos ahora a analizar otro aspecto de este que es tan desconcertante como el hecho de que se haya pasado por alto su importancia durante tanto tiempo. Nos referimos a las razones por las que el libro fue escrito. Muchas son las preguntas que se abren al respecto: algunos han especulado acerca de las razones que habrían llevado a Kant a la elección del tema de su primer libro. Otros han formulado diversas conjeturas acerca de las pretensiones que Kant podría haber tenido para escribir ese libro prácticamente al mismo tiempo de abandonar sus estudios. También suele señalarse como peculiaridad el hecho de que el texto haya sido escrito en alemán y no en latín. La estructura del libro también sorprende.

La mayor parte del texto de su primer trabajo fue escrita en 1746, año de la muerte de su padre. Fue ese mismo año cuando presentó la primera versión del texto al censor de la universidad. El proceso de revisión tardó, y no fue sino hasta el mes de abril del año siguiente que Kant pudo completar el libro y prepararse para enviarlo a publicar. Kant abandona finalmente los estudios el verano de 1748 y comienza entonces su etapa de tutorías, trabajando para familias asentadas en regiones rurales³⁴. Fue un familiar de Kant, apellidado Richter, quien financió la publicación de *Ideas de la verdadera valoración de las fuerzas vivas*. El libro fue finalmente publicado por el editor Martin Eberhard Dorn en 1749. Para ese momento, Kant ya no se encontraba en Königsberg.

El libro sobre las fuerzas vivas es un tratado sobre un tema técnico, desarrollado este en más de doscientas páginas. Suele señalarse que un texto de tal contenido excedía lo que se esperaba para una tesis de un título de grado (cf. Schönfeld *et al.*, 2019). Esto podría llevar a preguntarse acerca de las razones por las que Kant no presentó el texto como trabajo de tesis³⁵ para finalizar su carrera. No obstante, hay un detalle que, aunque quizá responde parcialmente a esta última pregunta, da lugar a otra aún más intrigante: aunque el idioma requerido para un trabajo de tesis era el latín, Kant escribió su extenso texto en alemán. Kant tenía para ese entonces habilidades suficientes para escribir el texto en latín o para emprender la traducción de parte

³⁴ En 1748, Kant se dispuso como preceptor de una familia calvinista en la ciudad aledaña de Judtschen. Más tarde trabajó para otras familias de lugares cercanos.

³⁵ Se menciona en algunos textos que el libro de las fuerzas vivas, en su versión de 1746, funcionó como la tesis de grado de Kant (cf. Caimi, en Kant, 2014, p. xii; cf. Gulya Arsenji (1981), p. 23; cf. Gause Firtz & Lebuhn Jürgen, 1989, p 84). Kuehn ha sugerido que es posible que el libro de las fuerzas vivas haya sido rechazado como disertación y que por ello Kant se haya visto “sentenciado en sus pretensiones de llegar pronto a la universidad” (cf. Villacañas, 2010, p. XVIII).

de este sin mayor dificultad. No obstante, no hay evidencia de que haya tenido esa intención. Se impone así la pregunta de cuál era la motivación que el joven Kant habría tenido para escribir y presentar su texto. Además de no adecuarse a los requerimientos académicos, el idioma alemán no le permitiría al libro alcanzar una difusión amplia en círculos académicos de Europa. Y si bien es cierto que era práctica de muchos científicos, como Wolff, escribir versiones originales de sus trabajos en alemán antes de volcarse a sus traducciones a la lengua docta, insistimos en que no hay indicios de esa intención en Kant. Una posible explicación es que las pretensiones de Kant con su trabajo no fueran las de alcanzar la difusión a escala de Europa continental, sino solo de Alemania. Por un lado, dijimos ya que era principalmente en Alemania donde el debate sobre las leyes de conservación de la *vis viva*, tema central de su libro, había alcanzado mayores dimensiones³⁶. Por otro lado, es muy probable que el esfuerzo de Kant estuviera dirigido principalmente a que su texto llamara la atención de Euler, quien circa 1736 había prestado consideración especial al tópico del que ese trataba, por ejemplo en su *Mechanica sive motus scientia*. Hacia 1747, momento en el que Kant termina su libro, Euler gozaba ya de una enorme reputación en toda Europa y, con cuarenta años, se encontraba en uno de los grandes momentos de su carrera. Estaba pronto a publicar su *Introductio in analysin infinitorum*, aparecido en 1748 y llamado a convertirse uno de sus trabajos más importantes. Euler llevaba ya algunos años en la Academia de Berlín, a donde había arribado en 1741, luego de haber pasado más de una década en St. Petersburgo como miembros de la Academia Imperial de Ciencias de Rusia. El mismo Kant envió una copia de su trabajo sobre las fuerzas vivas a Euler, quien, hasta donde sabemos, no atendió a él. Recordemos que el debate sobre las fuerzas vivas estaba ya cerrado al momento de la publicación del libro de Kant, aunque no tenemos evidencias de que él supiera de ello.

La gran admiración que Kant sentía por Euler bien podría explicar la elección del tema, y la escritura y publicación del texto. Esta admiración, sin embargo, no parecía estar en sintonía con sus posibilidades. Suele mencionarse que Knutzen no incluyó el nombre de Kant en la lista de estudiantes recomendados que le hubo enviado a Euler (*cf.* Schönfeld *et al.*, 2019). Por su parte, otros especialistas aventuran que pudieron haber sido otras las motivaciones de Kant para escribir aquel primer libro. Sugiere Watkins, por ejemplo, que la escritura del texto pudo haberse tratado de una “expresión de independencia intelectual”³⁷, o de muestra de “grandes

³⁶ Aunque no solo en Alemania se debatía el problema hasta pocos años antes. Un ejemplo sobresaliente es el debate en la Academia de Ciencias, en San Petersburgo, al que ya nos referimos.

³⁷ Esta idea de Watkins de la intención de Kant de demostrar cierta “independencia intelectual” contrasta con los comentarios que, por ejemplo, Fischer dedicaba a la primera obra de Kant. Este contrapunto entre Watkins y

ambiciones”. Esto es muy probable. Que las ambiciones de Kant no eran pequeñas es algo que queda demostrado por el hecho de que haya decidido enviarle una copia de su trabajo a Euler.

También se ha sugerido que la publicación de su primer libro pudo haber respondido a un “acto de rebelión” de Kant ante sus profesores, quienes habían subestimado el trabajo. Esto último, no obstante, no explica las razones por las que lo escribió, sino solo las que lo habrían llevado a publicarlo. Lo más probable es que Kant, convencido del valor de su trabajo, haya abrazado hacia 1746 la esperanza de que el libro llegase a atraer la atención de Euler y otros académicos de renombre en Alemania. Las demoras en la publicación, el hecho de que, como ya dijimos, el problema había sido resuelto para entonces, y el tratamiento inadecuado de aspectos técnicos y conceptuales en su libro hicieron que este pasara prácticamente desapercibido. Según Schönfeld y Thompson, lo que condenó al libro de Kant de 1747 a la vista del público fue que

Kant parecía haber apostado por el equipo de caballos equivocado. Abogó por una síntesis de la cinemática cartesiana y la dinámica leibniziana, y lo hizo a expensas de la mecánica newtoniana. Todavía no entendía que el movimiento, como el reposo, es un estado (algo que Galileo había descubierto) y que la fuerza solo es necesaria para cambiar, no para mantener un estado (que es la primera ley del movimiento de Newton) (Schönfeld *et al.*, 2019).

Lo cierto es que el libro sobre las fuerzas vivas fue rápidamente olvidado. Hubo, sí, algunas repercusiones de la publicación de 1749, aunque estas no fueron todas elogiosas, y no se dieron en los círculos en los que el autor lo habría preferido. El libro recibió reseñas y comentarios en la prensa al momento de ser publicado y algunos años después. Estas reseñas fueron publicadas en *Frankfurtische Gelehrte Zeitung* (1749), en *Neuestes aus dem Reich des Witzes* (1751) y en *Nova Acta Eruditorum* (1752). Solo la primera de estas puede considerarse positiva.

Conceptos metafísicos de la fuerza de los cuerpos

La edición en alemán de 1749 cumple con el estilo característico de ese tipo de obras en esa época, un estilo melindroso y redundante. El grueso del trabajo tiene más de 240 páginas³⁸, incluidas las del prefacio y las del cuerpo principal. Al prefacio le siguen tres capítulos. A su

Fischer puede tomarse como epítome de la diferente apreciación que se hace de la obra del período precrítico actualmente en comparación a la de los especialistas kantianos de fines del siglo XIX y comienzos del siglo XX.

³⁸ La edición en inglés que aparece en el libro de Watkins (2015, pp. 11-155) es de poco más de 100 páginas y respeta el contenido original de la versión de 1749. La versión original puede consultarse en línea; al final del trabajo incluimos el enlace.

vez, los capítulos se separan en 163 aforismos, cada uno de los cuales es acompañado de un lema explicativo que funciona como corolario. Un acápite con una cita a Séneca abre el texto: “*Nihil [ergo] magis praestandum est, quam ne pecorum ritu sequamur antecedentium gregem, pergentes, non qu[o] eundum est, sed qu[o] itur*”.

El cuerpo del libro comienza con una crítica a la concepción wolffiana de la fuerza como *fuerza en movimiento*, para luego proponer un retorno a la idea de *fuerza activa* de Leibniz. No obstante, su rechazo de la fuerza en movimiento de Wolff no implica, por supuesto, que Kant no concibiera conexión alguna entre fuerza y movimiento. De hecho, para Kant la fuerza activa puede ser responsable del movimiento. Aun así, Kant veía un vicio de circularidad en la asociación *directa* entre fuerza y movimiento: la noción de fuerza de movimiento no podía aspirar a ser la explicación del movimiento mismo. Por otro lado, la fuerza pensada como fuerza activa permitía, según Kant, explicar muchos otros aspectos del mundo, desde la emergencia de los atributos del espacio³⁹, pasando por las relaciones causales entre los movimientos de los cuerpos, y hasta la interacción entre mente y substancia (*cf.* Watkins, 2015 p. 5). Se trata aquí de una elección por la mejor explicación.

El texto sobre las fuerzas vivas puede volverse por momentos complejo. Esto se debe más a lo farragosa que resulta la argumentación que al carácter técnico del tema tratado. No ayuda a la lectura la ausencia de fórmulas matemáticas. El texto contiene diagramas de cuerpos colisionando, péndulos, y configuraciones similares, propias de las descripciones de mecánica clásica; también incluye una serie de figuras geométricas, con letras y subíndices denotando sus lados y vértices. No obstante, siguiendo un estilo no poco común en libros de filosofía natural de la época, no hay fórmulas, y la gran parte de la formulación matemática relevante es expresada en palabras. Esto último hace que la lectura demande cierta exégesis ya desde los primeros párrafos.

En el párrafo §XI de su prefacio, comienza Kant un resumen del estado del arte de la controversia acerca de las fuerzas vivas. Se refiere a esto como “el estado actual de la controversia sobre las fuerzas vivas”. Dice Kant: “Obstáculos de peso superados, materia desplazada, resortes comprimidos, masas en movimiento, velocidades originadas en movimiento compuesto, todo conspira maravillosamente para producir una apariencia de estimación por el cuadrado” (§XII, p. 20). La mención a “la estimación por el cuadrado” hace clara referencia a la *vis viva*, *i.e.* el doble de la energía cinética, que, a diferencia de la cantidad

³⁹ Hay quien podría recordar aquí la afirmación de Nietzsche, en *La gaya ciencia*, de la que supo reparar Heidegger: “El espacio (...) no existe. Todo es fuerza”, [*cf.* Heidegger, 2000, p. 283].

de movimiento de Descartes, está dada por “el cuadrado” de la velocidad⁴⁰. Notemos las palabras “conspiración” y “apariencia” aquí.

Dice luego: “Los leibnizianos todavía tienen casi todos los experimentos de su lado, que es quizás lo único que tienen sobre los cartesianos” (§XIII, p. 20). Esta última frase, aunque breve, es riquísima en cuanto revela un rasgo fundamental del espíritu racionalista que el joven Kant guardaba bajo su almohada. La consideración de que los datos empíricos derivados de experimentos realizados en laboratorios eran “lo único” que los adherentes a la teoría de Leibniz tenían sobre los cartesianos, como si los datos experimentales se tratasen de un elemento más de juicio a la hora de sustentar argumentalmente una formulación de la mecánica, permite ponderar el peso que se le asignaba entonces a los otros argumentos, principalmente de carácter metafísico. El poder explicativo de una teoría, e incluso la solidaridad de esta con ciertos compromisos ontológicos, podían bastar para hacer frente a la *mera* evidencia empírica⁴¹.

Continúa Kant: “Es (...) difícil decir de qué lado de la controversia sobre las fuerzas vivas ha sido hasta ahora más conspicua la presunción de victoria”. Y agrega: “Tanto el partido de Descartes como el de Herr von Leibniz sintieron por su opinión toda la convicción de la que uno es normalmente capaz en el conocimiento humano”. Luego escribe:

[Una] cierta diferencia peculiar es, sin embargo, evidente entre la forma en que el partido de las fuerzas vivas busca sostenerse y la forma en que se defiende la estimación de Descartes. El segundo apela solo a casos simples en los que la determinación de la verdad y el error es fácil y segura, mientras que el primero hace sus demostraciones lo más complicadas y oscuras posible y se salva, por así decirlo, con la ayuda de la noche de un conflicto en lo cual, a la luz verdadera de la distinción, quizás siempre saldría peor” (Kant, 1749, §XIII; Watkins, 2015, §XIII, p. 20).

⁴⁰ Es importante no confundir la mención que hace Kant aquí a la “estimación por el cuadrado” con la que, pocos párrafos después, hace de la “ley de la inversa del cuadrado”. Mientras la primera refiere al cuadrado de la velocidad que aparece en la definición de la *vis viva* de Leibniz, la segunda refiere al cuadrado de la distancia que aparece en el denominador de la fuerza gravitatoria de Newton.

⁴¹ En relación con el peso que podía adquirir cierta verdad metafísica, vale la pena atender a la siguiente cita: “Kant arguye que la posición [crítica] de los newtonianos acerca de la *vis viva* [era] correcta matemática y mecánicamente, pero que aun así había bases metafísicas que soportaban la *vis viva*” (Friedman, 1992, p.4). Dice también Friedman: “El mismo Kant acepta la atracción newtoniana como una acción inmediata a distancia a lo largo de su carrera y, de hecho, siempre toma la ley de la gravitación universal como su paradigma de una ley física bien establecida. Sin embargo, Kant también sostiene consistentemente que, mientras que la filosofía natural newtoniana es correcta hasta donde llega, no va lo suficientemente lejos: una verdadera ciencia natural requiere una base en la metafísica.” (1992, p. 1).

El significado de esto es claro: Kant aboga en favor de la simplicidad de argumentos de los cartesianos, simpleza que ve como una superioridad metodológica y epistemológica. Así, “la determinación de la verdad y el error es fácil y segura”. Ahora bien, cabe preguntarse si aquello que Kant había considerado un refugio oscuro en el que los leibnizianos se ocultaban no era sino la mera dificultad que él mismo encontraba para seguir de cerca los argumentos de Leibniz en favor de la conservación de la fuerza viva⁴². Recordemos que dichos argumentos involucraban en muchos casos la interacción gravitatoria, lo que habría representado una dificultad para Kant, quien evidenciaba en su libro confusiones acerca de principios tan básicos como el de inercia. A esto se suma la compleja manera en la que Leibniz pensaba las distintas expresiones de la fuerza, manera que, aunque solapadamente, empleaba ideas en las que germinaba ya el cálculo diferencial, inaccesible para Kant. Nociones de la mecánica leibnizianas como la sollicitación, el ímpetu, la fuerza activa, la fuerza viva, la fuerza muerta, devenían un complejo concierto para el joven Kant. Por ejemplo, la relación entre la idea leibniziana de “sollicitación” y lo que hoy denominaríamos energía potencial no se expresaba en aquellos tiempos con la transparencia con la que hoy se exponen tales temas en los libros básicos de mecánica analítica. Seguramente debían resultar poco asequibles para el neófito nociones tales como la de una fuerza muerta que es el incremento infinitesimal de otra fuerza, *i.e.* incrementos que, sumados en la operación que es croquis de lo que hoy llamamos *cálculo integral*, dan origen a la fuerza viva. Todo esto debía parecerle a Kant galimatías, una serie de “demostraciones lo más complicadas y oscuras”, pero no acertaba él al apreciar que esta oscuridad estaba destinada a esconder error alguno.

La inclinación que Kant sentía hacia la mecánica de Descartes queda expresada en el pasaje que citamos arriba, así como en otros. De todas formas, mucho del tratamiento de la cuestión de la dinámica en su libro sobre las fuerzas vivas se basa en las ideas de Leibniz acerca de las fuerzas. Es siguiendo a Leibniz que, por ejemplo, Kant afirma que todo cuerpo tiene una fuerza esencial:

⁴² Insistimos en que el término “fuerza” en la boca de Leibniz debe pensarse en términos modernos como energía. La fuerza viva, por ejemplo, no es sino el doble de la energía cinética. En el caso de Kant, esto no es así; en Kant, el empleo del término “fuerza”, salvo cuando la usa respetando expresiones ya acuñadas por otros antes de él, refiere por lo general a la noción de fuerza propiamente dicha, *i.e.* a la definición que hoy tenemos de dicha cantidad física. Esto puede observarse tanto en su primer libro, cuando habla de la ley que decae con el cuadrado de la distancia (la energía lo hace con la primera potencia de la distancia), como, por ejemplo, en su libro *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza*, donde propone una nueva forma funcional de fuerza de contacto al discutir la estructura de la materia.

Comenzaré por especificar de antemano una serie de conceptos metafísicos de la fuerza de los cuerpos (...) Si uno no mira más allá de lo que enseñan los sentidos, considerará esta fuerza como algo comunicado única y completamente desde el exterior (...) Leibniz, a quien la razón humana le debe tanto, fue el primero en enseñar que una fuerza esencial es inherente a un cuerpo y le pertenece incluso antes de la extensión (§1, p. 22).

Es imposible no reparar aquí en el sintagma “[s]i uno no mira más allá de lo que enseñan los sentidos”. Esto se relaciona con lo que mencionábamos arriba acerca de que la solidaridad que una dada teoría pudiera tener con ciertos compromisos ontológicos y convicciones metafísicas podía adquirir para el joven Kant un peso de verdad equiparable al de la evidencia empírica. Este movimiento de instauración de componentes metafísicos como axiomas de una dada construcción teórica queda claramente expresado cuando Kant decide comenzar su análisis de la dinámica a partir de ciertos “conceptos metafísicos de la fuerza de los cuerpos”.

La fuerza esencial que es inherente a un cuerpo a la que refiere Kant es aquella a la que Leibniz llamó fuerza activa. “El inventor le dio a esta fuerza el nombre general de ‘fuerza activa’”, escribe. Y agrega sobre esto:

El cuerpo, se dice, tiene fuerza de movimiento (...) Sin embargo, sostengo que si uno atribuye una fuerza motriz esencial (*vim motricem*) al cuerpo para tener una respuesta pronta a la pregunta sobre la causa del movimiento, entonces se está empleando en cierta medida el artificio que explotaron los escolásticos cuando, al investigar los motivos del calor o del frío, recurrieron a *vi calorifica* o *frigifacientie* (§2, pp. 22-23).

Es imperioso para Kant deshacer el hechizo en el que nos sumió haber pensado el movimiento en términos de una fuerza motriz esencial: “Es incorrecto describir el movimiento como un tipo de acción y, por lo tanto, atribuirle una fuerza del mismo nombre” (§3, p. 23). Esa fuerza esencial debería pensarse de manera diferente: “uno debería decir que, en la medida en que el cuerpo actúa, se esfuerza por alcanzar el estado en el que no actúa. Por lo tanto, se debe llamar a la fuerza de un cuerpo como *vim activam*”⁴³.

Hay una inversión que opera aquí, al pasar de la idea de una fuerza *en* el movimiento del cuerpo que se mueve a la idea de una fuerza que actúa mientras tiende al estado de no acción: de la fuerza de movimiento a la fuerza activa. Esto le exige a Kant explicar de qué manera se

⁴³ Se ve aquí una diferencia con Leibniz, para quien un cuerpo tiene una fuerza en la medida en la que se mueve y con la rapidez con la que lo hace.

deriva el movimiento a partir de esta última forma de fuerza. Para él, la substancia tiene una fuerza que está determinada a actuar externamente (*cf.* §4, p. 23), entendiendo por ese actuar la capacidad de modificar el estado interno de otra substancia. Ese cambio de estado puede ser el cambio en el movimiento de la otra substancia. La fuerza se transfiere, y se transfiere de manera administrada, no necesariamente de manera total y exclusiva; un cuerpo puede actuar sobre otro y hacerlo, a su vez, sobre un tercero. Esto le permite a Kant entender la acción de un cuerpo sobre otros, sobre la pluralidad de substancias. En particular, esto lo habilita a abordar el problema de la acción de los cuerpos sobre la mente o, en sus términos, sobre el alma⁴⁴ [*Seele*]. Según Kant, si uno considera la fuerza de los cuerpos como fuerza activa, entonces comprende cómo la materia puede determinar que el alma tenga una dada representación:

Es igualmente fácil captar la naturaleza paradójica de la proposición acerca de cómo es posible que la materia, que uno imagina que solo puede causar movimientos, imprima ciertas representaciones e imágenes en el alma. Pues la materia que se ha puesto en movimiento actúa sobre todo lo que está espacialmente conectado con ella y, por tanto, también sobre el alma; es decir, cambia el estado interno del alma en la medida en que este estado se relaciona con lo externo a ella. Ahora bien, todo el estado interno del alma no es otra cosa que la suma [*Zusammenfassung*] de todas sus representaciones y conceptos y, en la medida en que este estado interno se relaciona con lo externo a ella, se conoce con el nombre de *status repræsentativus universi*; así, por medio de la fuerza que tiene en movimiento, la materia cambia el estado del alma a través del cual el alma [*Seele*] representa al mundo. De esta manera, podemos comprender cómo la materia puede imprimir representaciones en el alma (§6, p. 25).

Empecemos por una observación terminológica: el término alemán *Seele* empleado aquí significa “alma” y, de hecho, encuentra su origen etimológico en “las aguas en las que

⁴⁴ El empleo del término *Seele* ha recibido una deriva interesante en la obra de Kant. Si bien el término no fue abandonado en los textos de Kant del período crítico, sí fue siendo abandonado su uso para referir a “alma”. Al comparar el comienzo de la etapa precrítica con el período crítico puede verse una migración de significado de la palabra *Seele* a la palabra *Gemüt*. Esto se debe sencillamente a que, en la etapa crítica, y en especial a partir del silogismo categórico, el concepto de “alma” pasa de ser un concepto del entendimiento a un concepto de la razón, y en el período crítico Kant preferiría reservar *Seele* para hablar de la idea de “alma” sobre la que se discute en la dialéctica trascendental. En el período crítico el término *Gemüt* adquirió el significado que *Seele* tenía hacia comienzos del período precrítico (aunque eso no implica que no hayan aparecido juntos esos dos términos en el período crítico). Hablaremos más adelante sobre la traducción del término *Gemüt* y el debate acerca de su traducción y significado en el contexto de la obra de Kant. Le agradezco a Mario Caimi por una extensa conversación acerca de este punto. [Como nota adicional, mencionemos que en *Kant y el problema de la metafísica*, en la parte dedicada a la fundamentación de la metafísica en su originariedad, Heidegger (2018 [1929], p. 119) discute en qué sentido es posible hablar de *Seele* y de *Gemüt* según su particular interpretación de la filosofía kantiana].

habitaban las almas” según mitologías germánicas. Aun así, el significado es ligeramente distinto al del término “alma” del castellano. Para apreciar correctamente el significado de la palabra *Seele* en este contexto, no debemos desatender al hecho de que *Seele* comparte lexema con el término⁴⁵ *seelisch*, que podemos traducir como “mentalmente”. Con el término *Seele*, Kant pretende referir aquí a nuestra mente: el “alma [que] representa al mundo”. Debido a esto, y sin que ello nos impida atender a sutiles diferencias y matices cuando sea imperioso hacerlo, en ciertos momentos nos encontraremos empleando las palabras “mente” y “alma” como sinónimos.⁴⁶

Volviendo sobre el párrafo citado arriba, en el que Kant advierte una manera en la que podemos comprender cómo la materia puede imprimir representaciones en el alma [*Seele*], notamos lo siguiente: Kant está sugiriendo un mecanismo mediante la cual la substancia afecta la mente estableciendo una correlación entre su estado y aquello que es externo. Abre con esto la posibilidad de una teoría causal del conocimiento: “la materia cambia el estado del alma a través del cual el alma representa al mundo”. La materia en movimiento actúa sobre los otros cuerpos, sobre toda substancia que se encuentre conectada espacialmente con ella, y esto incluye a nuestra mente. El estado interno del alma, de la mente, no es sino la suma de todas las representaciones y conceptos. Como el espacio, las impresiones en la mente serían, también, derivados de algo más fundamental: las fuerzas naturales determinadas por la substancia. Más tarde dirá que nuestra alma recibe impresiones del exterior según cierta ley de fuerzas porque su naturaleza, la de nuestra alma, está constituida en sí misma para verse afectada y para afectar de una determinada manera física (cf. Kant, 1749, §10; Watkins 2015, §10, p. 28).

Para Kant, “toda conexión y relación entre substancias que existen por separado se debe a las acciones recíprocas que sus fuerzas ejercen entre sí” (§7, p. 25). No obstante, esto no implica que la existencia de las substancias requiera de esa conexión o relación. No se trata, pues, de una ontología relacional. Por el contrario, Kant sí concibe la posibilidad de una substancia no

⁴⁵ Incluso en el período crítico, Kant emplearía también términos como *Seelenlehre*, que podríamos traducir como “doctrina del alma” pero que él usa en ocasiones, v.g. en *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza*, y dado el contexto, como “teoría del alma”.

⁴⁶ Tanto es así que incluso en algunas traducciones de la *Crítica de la razón pura* al castellano la palabra *Gemüt*⁴⁶, que admite “mente” o “estado de ánimo” como acepciones, se ha traducido como “espíritu” (cf. Kant, 1984 [1781/1787], p.115). No obstante, cabe advertir que esto demanda cierto cuidado, ya que estas dos palabras no siempre refieren a lo mismo, en especial en la filosofía trascendental. Como ejemplo alcanza citar el siguiente párrafo de la estética trascendental en la *Crítica de la razón pura*: “El sentido interno por medio del cual la mente [*Gemüt*] se intuye a sí misma, o a su estado interno, no da ninguna visión del alma [*Seele*] misma como un objeto (...)” (*KrV*, B37; cf. Kant, 2014 [1781/1787], p. 90).

conectada con otras. El hecho de que se refiera a “substancias que pueden existir por separado” lo deja en claro, y más claramente lo expresa en el siguiente párrafo:

Debido a que cada entidad independiente contiene en sí misma la fuente completa de todas sus determinaciones, no es necesario para su existencia que deba estar en conexión alguna con otras cosas. Por eso las substancias pueden existir y, sin embargo, no tienen relación externa con otras substancias (...)⁴⁷ (§7, p. 25).

Esto, sin embargo, no aplica al espacio. Que las substancias puedan existir sin conexión entre ellas no implica que el espacio, en cuanto noción derivada, pueda existir sin tales relaciones. Escribe:

Ahora bien, dado que no puede haber ubicación sin conexiones, posiciones y relaciones externas, es muy posible que una cosa exista realmente, pero que no esté presente en ninguna parte del mundo entero. Esta declaración paradójica es una consecuencia, de hecho, una consecuencia muy obvia, de las verdades más familiares, pero, que yo sepa, todavía no ha sido notada (§7, pp. 25-26).

Hay dos aspectos de esto que cabe resaltar. Por un lado, está el desafío a toda ontología que parta del lema aristotélico de que todo cuanto existe está en el τόπος⁴⁸. Por otro lado, el párrafo precedente vuelve a dejar expresado el carácter derivado del espacio, que no tiene aquí la misma jerarquía ontológica que la fuerza y la substancia. Hablamos ya de la fuerza como elemento más fundamental que el espacio, pero el carácter fundamental de la substancia –de la materia– es una novedad aquí. Para Kant, la materia llega incluso a ser anterior a la fuerza, en cuanto es la materia la que determina las formas funcionales, *i.e.* las leyes físicas, que las fuerzas obedecen al actuar. Kant expresará una jerarquía ontológica distinta en su filosofía posterior. Hacia 1786, en sus *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza*, escribirá:

Den Beschluß kann die bekannte Frage, wegen der Zulässigkeit leerer Räume in der Welt, machen. Die Möglichkeit derselben läßt sich nicht streiten. Denn zu allen Kräften der Materie wird Raum erfordert, und, da dieser auch die Bedingungen der

⁴⁷ Esto es una consecuencia de la monadología de Leibniz, para quien todos los estados de las mónadas son estados internos, *i.e.* inmanentes, y en principio pueden existir independientemente de lo externo, aunque la sabiduría de Dios no elija crear un mundo con una única substancia que tenga estados internos.

⁴⁸ En referencia al lema “todo cuanto existe está en un lugar”, que emplea “lugar” en el sentido estricto del τόπος sobre el que habla Aristóteles en su libro IV de su *Física*. Grosseteste, en su *Suma de los ocho libros de la física de Aristóteles*, resumiendo un argumento del libro cuarto, acerca del τόπος, parafrasea: “*Omne quod est, est in loco*”.

Gesetze der Verbreitung jener enthält, notwendig vor aller Materie vorausgesetzt.
(Kant, 1968 [1786], p. 99).

Es decir⁴⁹

La conocida pregunta sobre la admisibilidad del espacio vacío en el mundo puede ser puesta a juicio. La posibilidad de la misma [admisibilidad del espacio vacío] es indiscutible. Dado que se requiere del espacio para todas las fuerzas de la materia, y dado que este contiene también las condiciones de las leyes de propagación de aquellas [fuerzas], se presupone [el espacio] necesariamente antes que toda materia.

Vemos aquí nuevamente expresada, aunque subvertida, la jerarquía ontológica entre materia, fuerza, espacio, un orden de tricotomía que irá cambiando a lo largo de toda la obra kantiana: al comienzo (1747) el espacio nace de las fuerzas; luego (1786) la fuerza necesita que el espacio sea presupuesto.

Al respecto de las continuidades y discontinuidades de la concepción del espacio a lo largo del período precrítico (1747-1770) cabe una aclaración: se suele observar que hacia el final del período precrítico Kant parecería haber adoptado una visión newtoniana del espacio, según la cual este es “absoluto”. Si bien es cierto que la referencia al espacio absoluto aparece en la filosofía de Kant hacia 1768, no es correcto inferir de ello que Kant hubiera cambiado radicalmente sus convicciones ontológicas al respecto del espacio. Por ejemplo, hacia 1770, momento en el que se considera que se cierra el período precrítico y ya se perfila lo que luego sería su filosofía crítica, Kant sostenía su posición acerca de la plausibilidad de la existencia de otros mundos, de otros espacios (*cf.* Kant, 2014b [1770]), algo que ya expresaba en su primera obra (1747). La referencia de Kant al espacio absoluto hacia 1768 debe entenderse como una abstracción matemática, como artilugio. En el opúsculo de *La razón primera razón de la diferencia entre direcciones en el espacio*, de 1768, Kant afirma que “el espacio absoluto no es ningún objeto de una sensación externa, sino un concepto fundamental que las hace a

⁴⁹ Puede ser importante advertir que esta frase es traducida erróneamente, e incluso su sentido es invertido, en ciertas ediciones; por ejemplo, se ha traducido como: “[para concluir], puede plantearse la conocida cuestión sobre la legitimidad del espacio vacío en el mundo. Su posibilidad ni siquiera admite ser discutida, dado que el espacio viene exigido por todas las fuerzas de la materia, y puesto que esta contiene las condiciones legales de la propagación de aquellas fuerzas, será enteramente necesario que la materia sea presupuesta con anterioridad a estas fuerzas (Kant, 1991 [1786], p. 101). La traducción del alemán original al castellano presentada arriba, de nuestra autoría, mantiene el significado original. Se puede comparar también con traducciones al inglés; por ejemplo, Bennett parafrasea: “*The possibility of such spaces can’t be disputed. All forces of matter presuppose space; the laws governing the spread of these forces have the form ‘If a region of space is ... then ...’*”, *so space is necessarily presupposed before all matter*”, (*cf.* Kant, 2017, p. 47).

todas primeramente posibles” (cf. Font, 2016, p. 45), anticipando el rol del espacio en cuanto condición de posibilidad de la experiencia. El mismo Kant deja en claro en su muy posterior *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* el carácter no-objetual del espacio absoluto; lo hace cuando afirma que “[e]l espacio absoluto no es (...) nada ‘en sí’, ni es un objeto [*Objekt*]” (Ak., IV, 481 ss.; cf. Kant, 1991 [1786], p. 21). Nuestra opinión acerca del espacio descrito por Kant en *La razón primera razón de la diferencia entre direcciones en el espacio* y cómo esta no entra necesariamente en conflicto con la filosofía ulterior de Kant es solidaria con la opinión de Patricia Kauark-Leite, quien sostiene que

el concepto de espacio absoluto en el texto precrítico de Kant de 1768, *La razón primera razón de la diferencia entre direcciones en el espacio*, está más cerca de las nociones trascendentales presentadas en su período crítico de 1781 en adelante, particularmente en los *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza*, que a la concepción realista newtoniana del espacio absoluto como entidad nouménica. La distinción de Kant entre cuatro nociones de espacio – el espacio como una forma pura de intuición, la concepción geométrica del espacio, la concepción empírica del espacio y el espacio como una idea de la razón– se aplica al análisis de la concepción del espacio absoluto que opera en este texto precrítico (Kauark-Leite, 2017, p. 175).

Dada la importancia de este punto, más adelante ahondaremos sobre la noción de espacio absoluto en la obra de Kant. Cabe aclarar también que, aunque al comienzo del período crítico parece verse una inversión en la jerarquía ontológica entre espacio y fuerza, esto solo es así cuando se restringe el análisis a su filosofía trascendental, donde el entendimiento cumple un rol intercesor. Discutiremos este punto *in extenso* más adelante.

III. KANT Y LA DIMENSIONALIDAD DEL ESPACIO

La conectividad del mundo y la dimensionalidad del espacio

Comienza en este punto la parte más especulativa y, de hecho, más interesante del trabajo de Kant sobre las fuerzas vivas. La dimensionalidad del espacio como noción derivada, la arbitrariedad de las leyes fundamentales de la naturaleza y la plausibilidad de la existencia de muchos mundos son los temas centrales de su metafísica. Kant anticipa el peso de estos temas cuando, al disponerse a tratarlos, escribe: “Pero otras proposiciones derivan de la misma fuente, y estas no son menos notables y ocupan el entendimiento, por así decirlo, en contra de su voluntad” (Kant, 1749, §7, pp. 9-10; Watkins, 2015, §7, pp. 25-26).

La idea de que la conexión entre sustancias es lo que forma el mundo lleva a Kant, no solo a discutir la definición de lo que *estar en el mundo* significa, sino también a discutir la plausibilidad de existencia de *otros mundos*. Kant afirma que, en un sentido estrictamente metafísico, es cierto que la existencia de más de un mundo es posible. Sobre esto, escribe:

No se puede decir que algo es parte de un todo si no está en conexión con las partes restantes (...), pero el mundo es una entidad realmente compuesta, por lo que una sustancia que no esté conectada con ninguna cosa en el mundo no pertenecerá al mundo en absoluto – excepto quizás los pensamientos de uno [*es sei denn etwa Gedanken*]–; es decir, no será parte del mundo. Si hay muchas entidades de este tipo que no están en conexión con nada en el mundo, pero que tienen una relación entre sí, entonces esto da lugar a un todo muy especial; constituyen un mundo muy especial. Por lo tanto, es incorrecto decir que, como se enseña regularmente en las salas de conferencias de filosofía, que no puede existir más de un solo mundo en el sentido metafísico. Es ciertamente posible, aun en un sentido propiamente metafísico, que Dios puede haber creado muchos millones de mundos [*Millionen Welten*], y por lo tanto no es concluyente si ellos también realmente existen o no (Kant, 1749, §8, p. 10; Watkins, 2015, §8, p. 26).

Es importante resaltar la excepción que Kant hace aquí de los pensamientos: “*es sei denn etwa Gedanken*”. Salva que podrían estos estar desconectados del mundo y aún formar parte de él. Pero no se refiere aquí con “pensamientos” a toda actividad de la mente. Como ya vimos, para Kant la sustancia tiene el poder de cambiar el estado de la mente por acción de la fuerza activa sobre ella. Lo que parece estar concibiendo aquí Kant es un tipo adicional de pensamiento, uno autónomo, desconectado del mundo. No es forzar ninguna interpretación ver en este discernimiento entre distintas formas de actividad de la mente lo que mucho más tarde quedará expresado en su dialéctica trascendental: la posibilidad de que ciertos pensamientos que no estén conectados en absoluto con ninguna cosa del mundo y aun así existan en uno. Pensar en otros mundos sería un pensamiento de tal naturaleza.

Otro punto del párrafo citado arriba a poner en relieve es que aparece ya ahí la idea de la posibilidad de que Dios haya creado otros mundos: Dios puede haber creado muchos millones de mundos [*Millionen Welten*]. Esto se relaciona estrechamente con la dimensionalidad, como veremos a continuación. No obstante, dada la importancia que la idea de plausibilidad de existencia de otros mundos tiene *per se*, regresaremos a ella en secciones próximas y le dedicaremos merecida atención.

La dimensionalidad del espacio como atributo derivado y contingente

Vayamos ahora al punto central de nuestro estudio: la dimensionalidad del espacio. Para ello, es importante recordar la afirmación de Kant acerca de que “no habría espacio ni habría extensión si las sustancias no tuvieran fuerzas que actúen externamente a ellas” (§9, p. 26). Esta aserción es crucial para entender lo que le sigue:

Debido a que todo lo que se encuentra entre las propiedades de una cosa debe ser derivable de lo que contiene en sí mismo el fundamento completo de la cosa misma, las propiedades de extensión, y por lo tanto también su tridimensionalidad, deben basarse también en las propiedades de la fuerza de las sustancias respecto a las cosas con las que están conectados (Kant, 1749, §10, p. 12; Watkins, 2015, p. 27).

Y agrega al margen que “[e]s probable que la tridimensionalidad del espacio derive de la ley de acuerdo a la cual las fuerzas de las sustancias actúan las unas sobre las otras” (*ibid.*).

Hay aquí otra inversión extraordinaria: la tridimensionalidad del espacio debe, según Kant, basarse en las propiedades de las fuerzas⁵⁰, o, más precisamente, en el modo en que la materia determina la forma funcional de la fuerza que actúa entre los cuerpos. Sostiene que “[e]s probable que la tridimensionalidad del espacio derive de ley de acuerdo a la cual las fuerzas de las sustancias actúan sobre otras”, y afirma que “el carácter tridimensional parece derivar del hecho de que las sustancias en el mundo existente actúan sobre otras en una forma tal que la fuerza de acción es inversamente proporcional al cuadrado de las distancias” (p. 27).

Decimos que se trata de una inversión porque, usualmente, las propiedades funcionales de una fuerza se piensan y se explican a partir de la dimensionalidad del espacio; mientras que aquí el ejercicio que realiza Kant es el opuesto. Agrega Kant sobre esto:

La fuerza por la cual cualquier sustancia actúa en unión con otras sustancias no puede concebirse sin una cierta ley que se manifiesta en su modo de acción. Dado que el tipo de ley por la cual las sustancias actúan entre sí también debe determinar el tipo de unión y composición de muchas sustancias, la ley según la cual se mide una colección completa de sustancias (es decir, un espacio), o la dimensión de extensión, derivará de las leyes según las cuales las sustancias buscan unirse en virtud de sus fuerzas esenciales (§10, p. 27).

⁵⁰ Cabe contrastar esto con el carácter basal de la dimensionalidad del espacio en la obra de filósofos previos. Recordemos, por ejemplo, que para Descartes la *res extensa* tenía como atributos sus profundidades en cada una de las tres dimensiones del espacio: anchura, altura, largura.

Con esto, no solo reafirma Kant que los atributos del espacio son *a partir de* las formas funcionales de las fuerzas, sino que afirma también la necesidad de una ley que gobierne la forma en la que las fuerzas actúan, *e.g.* una ley que dicte la forma en la que la intensidad de esas fuerzas cambia espacialmente estando dicha forma determinada por propiedades inherentes de las sustancias: “Porque todo lo que se encuentra entre las propiedades de una cosa debe ser derivable de lo que contiene en sí mismo el fundamento completo de la cosa misma.” Para Kant, es imposible concebir una fuerza sin una ley que la describa.

Haciendo hincapié en la cuestión de la dimensionalidad del espacio y cómo esta queda determinada a partir de la forma en la que las fuerzas actúan espacialmente, escribe:

Soy de la opinión de que las sustancias en el mundo existente, del cual formamos parte, tienen fuerzas esenciales de tal naturaleza que propagan sus efectos en unión entre sí de acuerdo con la relación inversa al cuadrado de las distancias; en segundo lugar, que el todo a lo que esto da lugar tiene, en virtud de esta ley, la propiedad de ser tridimensional; en tercer lugar, que esta ley es arbitraria y que Dios podría haber elegido otra, *e.g.* el cubo inverso, relación; en cuarto y último lugar, que una extensión con propiedades y dimensiones diferentes habría resultado de una ley diferente. Una ciencia de todos estos posibles tipos de espacios sería indudablemente la más alta geometría que un conocimiento finito pudiera emprender (§10, pp. 27-28).

Lo que sostiene Kant aquí es, sin lugar a dudas, asombroso: la tridimensionalidad del espacio se deriva del hecho de que las sustancias que existen en el mundo interaccionan con una ley que involucra la inversa del cuadrado de la distancia. Esto viene a culminar la inversión que veíamos perfilarse en los párrafos precedentes, y es de una originalidad que es importante destacar: la manera en la que usualmente se piensan las fuerzas en física, y en particular el caso de la fuerza de gravitación universal de Newton, que funciona para Kant como ejemplo antonomástico, pone a la forma funcional de la fuerza como *debida a* la dimensionalidad del espacio. En otras palabras, el hecho de que la fuerza gravitatoria de Newton o la fuerza eléctrica de Coulomb o la intensidad lumínica de los objetos brillantes decaigan con el cuadrado de la distancia se explica usualmente *a partir de* la invariabilidad del flujo y del hecho de que, en un espacio tridimensional, el área del ángulo sólido crece, precisamente, como el cuadrado de la distancia⁵¹. Así, según la manera usual de verlo, la forma funcional de la fuerza estaría determinada por la tridimensionalidad del mundo. Para el primer Kant (el Kant de comienzos

⁵¹ Es decir, que la superficie, S , de una esfera de radio R esté dada por la fórmula $S=4\pi R^2$, resultando A inversamente proporcional al “cuadrado” de R .

del período precrítico) esto no es así sino al revés: dada su jerarquía ontológica, que establece a la fuerza como anterior al espacio, la implicancia se invierte y, así, es la fuerza lo que determina la tridimensionalidad del espacio⁵². Nosotros percibiríamos la tridimensionalidad debido a la forma específica en la que las fuerzas actúan. Para Kant, esto implica que, si otra fuera la forma en la que la intensidad de la fuerza decreciera con la distancia, pongamos por caso que esta decayese con la potencia $n-1$ de la distancia⁵³, entonces el espacio no se nos presentaría tridimensional sino n -dimensional. Este movimiento de inversión está a contrapelo de toda intuición ingenua sobre las fuerzas fundamentales de la naturaleza, aunque no deja de mostrar cierto grado de naturalidad cuando se medita sobre él. Incluso se dice que Giambiagi, el famoso físico teórico que consideró la dimensionalidad del espacio como una variable a ajustar⁵⁴, solía afirmar que “tres es la dimensión del electromagnetismo”, sugiriendo con ello que si existiera un hipotético tipo de materia – un campo– al que le fuera dado interactuar mediante fuerzas cuyas formas funcionales fueran distintas a las del cuadrado de la distancia, entonces la dimensionalidad del espacio experimentada por esa materia también podría ser diferente de tres. Esta observación está en perfecta consonancia con las ideas de Kant. También en los ensayos científicos modernos por extender la física a más dimensiones puede verse formalizada la intuición genial de Kant al vincular la dimensionalidad del espacio y la forma funcional de las fuerzas (cf. Ehrenfest, 1918; Tangherlini, 1963; Penney, 1965). Cabe mencionar que Kant sugiere esta relación en la primera mitad del siglo XVIII, mucho antes de que la geometría de Gauß⁵⁵ y Riemann⁵⁶ vinieran a formalizar estos conceptos. Es también interesante decir que durante la primera mitad del siglo XX las teorías físicas comenzaron a considerar seriamente la idea de un espacio físico de mayor dimensionalidad en el que las

⁵² Solo el miedo a que alguien pudiera encontrar en esto una injustificada hipérbole nos previene de referirnos a esta inversión entre fuerza y espacio como “el otro giro copernicano kantiano”.

⁵³ Kant considera el caso $n=4$ en más de una oportunidad. En el libro sobre las fuerzas vivas lo hace como ejemplo de una ley que podría haber sido diferente. En su *Monadología física*, así como en sus *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza*, Kant considera el caso $n=4$, i.e. la ley de la inversa del cubo, como caso posible para describir las fuerzas que llevan a la impenetrabilidad de la materia. En ese caso también existe una relación directa con la tridimensionalidad del espacio, en cuanto la ley de la inversa del cubo para la fuerza del interior de la materia refiere al hecho de que esta ocupa un volumen del 3-espacio.

⁵⁴ Hacia 1972, J. Giambiagi y C. Bollini consideraron la dimensionalidad del espacio como una variable, aunque el carácter variable del número de dimensiones en ese contexto aparece como un mero artilugio matemático, a efectos de aislar los incómodos infinitos que se esconden en el límite ultravioleta de la teoría cuántica de campos.

⁵⁵ Johann Carl Friedrich Gauß (1777-1855) fue un matemático y físico alemán que hizo contribuciones significativas a muchos campos de la ciencia, y en especial de la matemática.

⁵⁶ Georg Friedrich Bernhard Riemann (1826-1866) fue un matemático alemán que hizo contribuciones a la geometría diferencial, al análisis complejo, al cálculo integro-diferencial y a la teoría de números, entre muchas otras áreas.

fuerzas actúan de manera diferente (Nordström, 1914; Kaluza, 1921; Klein 1926; Einstein *et al.*, 1938). Llegando el fin del siglo XX, las teorías físicas más especulativas, como la teoría de cuerdas y la supergravedad, hicieron suya la posibilidad de que el universo, a ciertas escalas, sea en efecto multidimensional y esté gobernado por fuerzas de naturaleza distinta a la que conocemos. Incluso, la teoría de supercuerdas predice que la dimensionalidad del espacio-tiempo debe ser diez y que una plébrica familia de nuevas fuerzas debe existir (*cf.* Green *et al.*, 1986; Polchinski *et al.*, 1998). Volveremos sobre esto al final de este trabajo.

La ley de la inversa del cuadrado de la distancia

La ley de la inversa del cuadrado desempeña un rol central en la discusión precedente y está en la raíz misma de la ontología que Kant plantea en su primera obra (Kant, 1749), así como en la cosmología que propone a mediados de su período precrítico (Kant, 1755), y en su teoría de la materia (Kant, 1756). En *Monadología física*, por ejemplo, Kant refiere a esta ley como “*Decrescens in rationae inversa superficierum sphaericarum*”, ley que contrasta con las de otras fuerzas, que, según propone, darían cuenta de la impenetrabilidad de la materia (Kant, 1756; *cf.* 1786).

Podemos resumir la presencia de esa ley de la inversa del cuadrado en el contexto de su metafísica recurriendo a una serie de lemas derivados de las propias palabras de Kant: en primer lugar, él sostiene que el tipo de ley por la cual todas las substancias – o por caso el alma – interactúan determina el tipo de unión y composición de substancias en ese concierto que llamamos mundo. Segundo, la ley según la cual se mide el espacio, o la dimensión de este, derivará también de aquellas leyes según las cuales las substancias interactúan – Kant dice “según las cuales las substancias buscan unirse”–. En tercer lugar, tenemos la afirmación de que las substancias en el mundo del que formamos parte tienen fuerzas esenciales que propagan⁵⁷ sus efectos de acuerdo con la relación inversa al cuadrado de las distancias; ley que, según Kant, es de carácter contingente. Por último, tenemos la afirmación de que todo a lo que

⁵⁷ Esta propagación se daba, según Kant, a través del espacio, que equivale a decir que se trata de una propagación en el vacío. Esto es de importancia para entender en qué medida la cosmología kantiana es disruptiva y entra en tensión con la concepción mecanicista de Descartes (y también con la de Leibniz, aunque en el caso de este último, aunque la dinámica se da en términos de contacto, esta idea aparece en relación a la hipótesis de la armonía preestablecida). Para entender el contexto y apreciar la importancia de este punto, es menester recordar la descripción mecanicista que reinaba en esa época, en la que la dinámica de la naturaleza era entendida en términos del *contacto* de los elementos constituyentes de la materia y los cuerpos interactuantes. El vacío es rechazado en una descripción tal, o al menos lo es la idea de interacción entre las substancias a través del vacío. En *Le Monde, Traité du monde et de la lumière*, escrito entre 1629 y 1633, René Descartes presenta su teoría corpuscular de la materia y su modelo cosmológico, en el que su teoría de “los vórtices” es presentada. En esta cosmología cartesiana no existe el vacío y la dinámica es mediada por el contacto.

esto da lugar, *i.e.* nuestro mundo, tendrá la propiedad de ser tridimensional precisamente en virtud de la ley del cuadrado de la distancia. En palabras de Friedman, en el libro de 1747

las propiedades básicas del espacio se derivan por completo de la ley fundamental de interacción por la cual las sustancias están conectadas en un único mundo, y Kant (...) deriva la tridimensionalidad del espacio a partir de la ley de atracción gravitacional del inverso del cuadrado (Friedman, 1992, p. 5).

Friedman considera que, con esto, “Kant también ha importado la gravitación universal a la monadología”. Se refiere a que, para Kant, la ley newtoniana explicaría, al menos parcialmente, la constitución íntima de la materia y de toda sustancia existente. Esto posibilita aristas especulativas muy interesantes de la metafísica kantiana, siendo acaso la consideración de la plausibilidad de existencia de otros mundos con otras propiedades una de las más destacables. Tales especulaciones, por otro lado, no se agotan en la primera obra de Kant, sino que se verán reaparecer, con rostros renovados, a lo largo de todo el período precrítico. Por otro lado, nos equivocariamos si creyéramos que la discusión acerca de la ley de la inversa del cuadrado aparece como principio coordinativo solo en las especulaciones metafísicas de Kant acerca de la ciencia de la naturaleza. De hecho, podemos encontrar referencias explícitas a la ley de la inversa del cuadrado, no solo a lo largo de toda su obra, sino también a lo ancho del temario que esta comprende. Su filosofía trascendental no es la excepción: en los *Prolegómenos* (1783), por ejemplo, Kant habla de la “ley física de atracción mutua que se difunde sobre toda la naturaleza material, cuya regla es que disminuye inversamente al cuadrado de la distancia”; más precisamente, escribe:

Si vamos aún más lejos, a saber, a las doctrinas básicas de la astronomía física, se manifiesta una ley física que se extiende sobre toda la naturaleza material, la ley de atracción recíproca, cuya regla es que a partir de cada punto de atracción disminuyen en proporción inversa al cuadrado de las distancias del mismo modo que aumentan las superficies esféricas en las cuales se difunde esta fuerza; lo cual parece yacer como necesario en la naturaleza misma de las cosas y, por tanto, suele ser presentado como cognoscible *a priori* [*welches als notwendig in der Natur der Dinge selbst zu liegen scheint und daher auch als a priori erkennbar vorgetragen zu werden pflegt*]. Por muy simples que sean los orígenes de esta ley, puesto que se basan solamente en la relación de superficies esféricas de distinto radio, sin embargo su consecuencia es tan admirable en lo que respecta a la variedad de su concordancia y a la regularidad de la misma que no solo resulta que todas las órbitas posibles de los cuerpos celestes

son secciones cónicas, sino que también se sigue tal relación de ellos entre sí que no podría pensarse, como conveniente para un sistema del mundo, ninguna otra ley de la atracción, fuera de la de la relación inversa del cuadrado de las distancias (Kant, 1999 [1783], §38, p. 185).

De igual manera a como su contingencia es lo que habilita las más arrojadas especulaciones metafísicas de Kant en el período precrítico, la ley de la inversa del cuadrado de la distancia le sirve a Kant para articular las discusiones tanto en ese período como en el posterior.

En el párrafo de los *Prolegómenos* citado arriba aparecen nuevos elementos que dan cuenta de un contenido distinto al de *Ideas de la verdadera valoración de las fuerzas vivas*. En primer lugar, Kant sugiere allí la posibilidad de que una ley natural, en cuanto necesaria, sea cognoscible *a priori*. En segundo lugar, Kant parece sugerir que la ley de fuerzas de la inversa del cuadrado tiene su razón de ser en relaciones geométricas, *i.e.* se basa solamente en relaciones geométricas del 3-espacio, como si la fuerza derivara de las propiedades del espacio y no, tal como él mismo afirmara en su juventud, al revés. Esto responde, por supuesto, a que luego de 1770 se iría conformando una nueva forma de espacio, la del espacio como un *a priori*. Es por eso que mencionábamos antes que en los *Prolegómenos* se ve una aparente alteración del orden que fuerza y espacio toman en la jerarquía ontológica kantiana. Discutiremos más adelante sobre esto y, en particular, sobre por qué decimos que esta inversión del orden ontológico es una mera apariencia. Tan solo para adelantar nuestra perspectiva al respecto, digamos que para entender correctamente la relación entre espacio y fuerza que Kant concebiría durante el período crítico es imprescindible no pasar por alto el siguiente detalle del párrafo citado arriba: Kant habla allí de que “no podría pensarse (...) ninguna otra ley de la atracción”, pero nada afirma acerca de que ninguna otra ley pueda ser *posible* en un sentido metafísico. Nosotros, seres dotados de una sensibilidad que nos permite *pensar* un tipo de fuerza compatible con la tridimensionalidad de nuestro espacio, encontraremos las otras leyes imposibles de ser pensadas; pero la hipótesis de muchos mundos es perfectamente compatible con esto, y habilita perfectamente la existencia de otras formas geométricas, compatibles con otras leyes, que no serían consistentes para nosotros⁵⁸. Este no es un detalle menor. En la filosofía trascendental, el entendimiento adquiere un rol esencial como mediador entre el espacio y la fuerza, y no cabe interpretar el orden ontológico sugerido en los *Prolegómenos*, según el cual el espacio es anterior a la fuerza, más allá de la filosofía trascendental. Nada dice

⁵⁸ En la tercera parte de esta tesis regresaremos sobre este punto al hablar de la contingencia de la estructura de nuestra razón y nuestra experiencia (*cf.* Kant, *KrV*, B145-146).

la imposibilidad de la que habla Kant cuando afirma que “no podría pensarse (...) ninguna otra ley de la atracción” de la imposibilidad de existencia, en un sentido estrictamente metafísico, de otras leyes y otros mundos.

Regresando a la cuestión de la importancia que la ley del cuadrado de la distancia adquiere como ejemplo antonomástico en la obra de Kant, cabe revisar aquí la historia de esta ley. Esto se vuelve importante por varios motivos. En particular, permite contribuir al debate entre Carpenter y Schönfeld acerca de cuán presente estaba, aunque de manera implícita, la teoría de la gravitación universal de Newton en la parte metafísica de *Ideas de la verdadera valoración de las fuerzas vivas*. Discutiremos abajo que, hacia 1747, Kant solo podía valerse de la fuerza de gravitación de Newton como ejemplo de una fuerza que decayera como el cuadrado de la distancia, siendo que las otras fuerzas que cumplen con tal ley, como la fuerza electrostática o la fuerza magnetostática, no serían descubiertas sino hasta fines del siglo XVIII. Esto no deja dudas acerca de cuál era el ejemplo que tenía en mente Kant cuando hablaba de la ley de la inversa del cuadrado: la ley universal de la gravitación.

Comencemos la tarea de analizar el contenido físico que coordina las digresiones de Kant diciendo que, al momento de escribir su primera obra, nuestro filósofo tenía suficientes conocimientos de física y astronomía. Dijimos ya que fue Knutzen quien introdujo a Kant a la obra de Newton, en un momento en el que los *Principia* (1687) tenían ya cincuenta años de asentamiento. Otra obra de Newton que fue de gran importancia para Kant es *Opticks* (1704), el *Tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz*. La temprana inclinación de Kant hacia temas de filosofía natural, sumada a su exposición a la ciencia newtoniana, explican en gran medida la elección de temas de sus escritos de juventud. Asimismo, en Königsberg Kant tuvo la oportunidad de asistir a las clases de Johann Gottfried Teske⁵⁹, quien había retornado a la Universidad de Königsberg, su *alma mater*, hacía ya una década. Fue en su interacción con Teske que Kant encontraría la inspiración para escribir, más adelante, la disertación que le permitiría obtener finalmente su título: *De Igne, o Meditaciones sobre el fuego* (1755b). Por aquellos años Teske se encontraba investigando los fenómenos eléctricos. Sus investigaciones más importantes sobre el magnetismo serían de una década más tarde, hacia 1766, cuando ya se encontraba en St. Petersburgo como profesor honorario. Hacia 1745, momento en el que Kant se encontraba escribiendo su primer libro, Teske publicaba su *Tratado de Electricidad* y, poco después, otras de sus flamígeras investigaciones, *Nuevo descubrimiento de varios efectos y propiedades de la electricidad aún desconocidos* (1746).

⁵⁹ Johann Gottfried Teske (1704-1772) fue un filósofo natural prusiano.

Es interesante notar que, si bien Kant tuvo acceso a las clases experimentales de Teske en las que los fenómenos eléctricos se exhibían, la teoría eléctrica no desempeñaría un rol importante en la cosmogonía Kantiana. Por supuesto, esto se debe principalmente a que no sería sino hasta 1785 que la interacción eléctrica sería entendida en términos de una fuerza actuante en el espacio de manera análoga a como se entendía la fuerza gravitatoria desde fines del siglo XVII. El descubrimiento de la fuerza eléctrica como una fuerza que satisface la ley de la inversa del cuadrado de la distancia sería contemporánea a los trabajos sobre filosofía natural de Kant del período crítico. Es posible especular que, de haber estado Kant al tanto del descubrimiento de la ley de la fuerza electrostática de Coulomb⁶⁰ (1785), esta le habría servido como modelo concreto para ejemplificar el tipo de fuerza interna de la materia que él describiría de manera abstracta en *Principios metafísicos de la ciencia natural* (1786). En ese caso, la física kantiana habría adelantado varios casilleros hacia una teoría adecuada de la interacción de la materia basada en las fuerzas fundamentales de la naturaleza. De hecho, es posible argüir que Kant no estuvo tan lejos de la intuición de que otras fuerzas de la naturaleza seguirían leyes similares a las del cuadrado de la distancia: en *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* (1786) Kant sugiere lo mismo que acontece con la fuerza gravitatoria debería acontecer con otras fuerzas fundamentales de la naturaleza, las cuales ellas se deben mermar con la distancia y actuar sobre objetos lejanos según su naturaleza (cf. Kant, 1991 [1786], p. 77).

Hacia 1747 Kant contaba solo con la interacción gravitatoria como modelo de fuerza que expresara la dimensionalidad del espacio en términos de la ley de la inversa del cuadrado. Podría alguien sentirse tentado a especular que le habría bastado a Kant con la mera perspectiva y sus leyes geométricas para intuir el nacimiento del espacio a partir de cómo las impresiones sobre el alma cambian en una secuencia, o acaso podría él haber recurrido a la ley kepleriana que da cuenta del mermar de la intensidad de la luz con la distancia. Pero eso no le habría alcanzado a Kant. Necesitaba él una ley de fuerzas que fuera imposible conculcar, una ley universal que describiera la interacción entre las substancias y no solo la impresión de la substancia sobre nuestros sentidos. Necesitaba de Newton.

⁶⁰ La fuerza de Coulomb refiere a la fuerza electrostática entre dos cuerpos cargados eléctricamente. Los cuerpos, estando estos en reposo y separados uno del otro por una distancia r , se atraen (o repelen) con una fuerza dada por la fórmula $F = k q_1 q_2 / r^2$, donde q_1 y q_2 son las cargas de cada cuerpo, y k es la constante de Coulomb. Al igual que la fórmula de Newton para la fuerza gravitatoria, la fórmula de Coulomb para la fuerza electrostática cumple la ley de la inversa del cuadrado de la distancia. Ambas fuerzas, sin embargo, exhiben diferencias importantes, aunque no es relevante ahondar aquí en esto último.

La ley de la inversa del cuadrado antes y después de Kant (digressio)

Las investigaciones de Kepler sobre óptica, circa 1603, resultaron en la primera descripción adecuada de la ley de la inversa del cuadrado para describir la mengua de la intensidad de la luz con la distancia a las fuentes luminosas. El primer día del año 1604 aparece su *Astronomiae Pars Optica*, i.e. *La parte óptica de la astronomía*, texto en el que Kepler describe la ley de la inversa del cuadrado de la distancia como aquella que rige el decaimiento de la intensidad lumínica. Pertenece al libro primero de *Ad Vitellionem paralipomena, quibus astronomiae pars optica traditur* (1604) su famosa proposición novena, en la que Kepler afirma que, con la misma proporción con la que las superficies esféricas, de las cuales la fuente de luz es centro, la densidad de los rayos de luz [*densitas lucis radiorum*] va disminuyendo a medida que nos acercamos a dicho centro, i.e. su intensidad irá aumentando. Es decir, la intensidad es inversamente proporcional a la superficie de esas esferas, de esos frentes esféricos de luz que se extienden concéntricamente a partir de la fuente. Esto encierra una intuitiva ley de conservación: “hay tanta luz en la superficie esférica más estrecha como en el más amplia, por lo que será mucho más densa allí que aquí”. Habrán de sucederse muchos avances en la geometría hasta que, a comienzos del siglo XIX⁶¹, Gauß mostrará que este mermar de la intensidad con el cuadrado de la distancia es válido para toda superficie que englobe la fuente, independientemente de su esfericidad. No obstante, la idea central se encuentra ya en la observación de Kepler.

Mucho antes de Kepler, en el siglo XIV, ya había observado Ioannes Dumbleton⁶² en su *Summa logicae et philosophiae naturalis* (circa 1349) que la intensidad de la luz no decrecía linealmente con la distancia sino siguiendo una ley diferente a la de la proporcionalidad inversa. El notable intelectual de Gloucestershire había advertido tempranamente que una relación diferente a la de proporcionalidad inversa debía relacionar la fuerza de la luz y la distancia. Su demostración geométrica podría haberle anticipado la relación correcta, pero lo cierto es que la formulación de la inversa del cuadrado para la luz no se vio concisamente formulada hasta que así lo hiciera Kepler.

La relación geométrica entre la intensidad y la superficie de las esferas se transfiere de la luz a la fuerza tan pronto como se supone – o se intuye– la conservación de cierto *flujo* de lo

⁶¹ Me resulta imposible resistir a la tentación de citar aquí una referencia a la ley de la inversa del cuadrado de la distancia en la literatura del siglo XIX: “Nada más que un solo punto luminoso, allá lejos, al comienzo de la existencia; y luego todo se hace negro, siempre más negro, y más aprisa, siempre más aprisa. En razón inversa del cuadrado de la distancia de la muerte” dice el que fenece en *La muerte de Iván Ilitch* de Tolstoi.

⁶² Ioannes De Dumbleton (1310-1349) fue un filósofo natural de una región al sudoeste de Inglaterra.

actuante. En términos modernos podemos pensar ese flujo como el de constituyentes corpusculares que atraviesan superficies que comparten un punto interior. Se expresa como la ecuación de continuidad a ser satisfecha por cierta cantidad física, ya sea esta la energía, un campo, la probabilidad, o la intensidad de una fuerza. Kepler habría fallado en ese paso de transferir a la fuerza gravitatoria lo que para la luz había descubierto.

En su libro *Astronomia Philolaica*, de 1645, el astrónomo francés Bullialdus⁶³ refutaba la sugerencia de Kepler de que la fuerza entre cuerpos celestes sería inversamente proporcional a la distancia, y afirmaba ya la ley de la inversa del cuadrado (cf. Henry, 2011). Afirmaba Bullialdus:

Virtus autem illa, qua Solprehendit seu harpagat planetas, corporalis quae ipsi pro manibus est, lineis rectis in omnem mundi amplitudinem emissa quasi species solis cum illius corpore rotatur: cum ergo sit corporalis imminuitur, & extenuatur in maiori spatio & intervallo, ratio autem huius imminutionis eadem est, ac luminus, in ratione nempe dupla intervallorum, sed eversa (1645).

Así describe Bullialdus la interacción gravitatoria: en virtud del poder del Sol para sostener los planetas, como si se tratase de asirlos de manera corpórea, extendiendo ese poder de manera radial a partir del astro mayor como centro, concluye que debe ese poder mermer con la distancia tal como lo hace el poder de la luz. En un trabajo anterior, el *De natura lucis*, de 1638, Bullialdus adhería a la ley de Kepler de la inversa del cuadrado para la intensidad de la luz, por lo que no hay dudas de que estaba él sugiriendo hacia 1645 la validez de la misma ley para la gravedad. Aun así, Bullialdus no solo fue incapaz de derivar las implicancias que la ley gravitatoria de la inversa del cuadrado tendría para el movimiento de los astros, sino que incluso se opuso a estas, que, sin advertirlo, ya habían sido anticipadas por Kepler en sus celebérrimas tres leyes⁶⁴. Así, por ejemplo, Bullialdus se opuso a la segunda y a la tercera ley de Kepler, lo que puede resultar paradójico, en especial debido a que la tercera ley de Kepler deriva apodícticamente de la ley de la inversa del cuadrado que Bullialdus venía a sostener. – No

⁶³ Ismaël Boulliau (1605-1694) fue un astrónomo, matemático, filólogo, teólogo e historiador francés.

⁶⁴ La primera ley de Kepler (1609) afirma que el movimiento de los astros en torno al Sol es elíptico, situándose el Sol en un foco de esas elipses trazadas. La segunda ley (1609) afirma que la velocidad areolar en la órbita de un planeta en torno al Sol es constante, *i.e.* que la superficie cubierta por el ángulo subtendido desde el Sol por unidad de tiempo permanece constante, aun cuando la velocidad del planeta no lo haga durante su orbitar. La tercera ley de Kepler (1619) afirma una relación de proporcionalidad entre el cuadrado del período de un movimiento orbital y el cubo del eje mayor de la elipse dibujada por el mismo. Mientras que la segunda ley es válida para toda fuerza central, *i.e.* toda fuerza cuya dirección sea la de la recta que une a los dos cuerpos intervinientes en la interacción, la primera y la tercera ley son prerrogativa de la ley del cuadrado de la distancia (cf. Di Liscia, 2021 [2011]).

obstante, cabe recordar que no sería sino hasta que el genio de Newton entrara en escena que tal derivación se haría evidente—. Podría resultar incluso más sorprendente que Bullialdus tampoco aceptara la segunda de las leyes de Kepler, cuya validez es aún más general que la de la tercera por aplicarse esa a toda fuerza que se extienda en la dirección de los dos astros intervinientes, cumpla tal fuerza la ley de la inversa del cuadrado o no. Pero este hecho deja de maravillarnos cuando advertimos que Bullialdus no comprendía adecuadamente la idea de que un movimiento circular podía interpretarse como una fuerza que actuara de manera radial, *i.e.* transversal a la velocidad, como ya explicara Huygens⁶⁵. La confusión de Bullialdus de la relación entre la dinámica de los astros y la ley de fuerzas que la causaba era aún mayor, habiendo llegado este a afirmar que tal fuerza era atractiva o repulsiva dependiendo de si el planeta se encontrara en el afelio o en el perihelio de su órbita elíptica, respectivamente. Esto sugiere que sí aceptaba la primera ley de Kepler, que también es prerrogativa de una fuerza central siempre atractiva gobernada por la ley de la inversa del cuadrado. Todo esto nos provee de ejemplos que permiten ver cuánta falta hacía la física newtoniana para ordenar los resultados de una ciencia de la dinámica que, hacia mediados del siglo XVII, iba tomando forma.

La formulación adecuada de la gravitación como una fuerza central atractiva aparece hacia 1666, cuando Robert Hooke⁶⁶ presentara su lección *On gravity*, sobre la gravedad, en la *Royal Society* en Londres. Ese mismo año, poco más tarde y de manera independiente, Giovanni Alfonso Borelli llegaba a una formulación equivalente, aunque con una rapsódica concurrencia de otras fuerzas, en su *Theoricæ Mediceorum planetarum ex causis physicis deductæ*. Cuatro años más tarde, hacia 1670, Hooke expresaba públicamente el carácter universal de la interacción gravitatoria, afirmando que era una interacción que aplica a todos los cuerpos celestes⁶⁷. Hooke incluso iría más allá al no solo proponer el carácter atractivo y universal de la fuerza gravitatoria, sino también afirmar que dicha fuerza debía satisfacer la ley de la inversa del cuadrado de la distancia. Hooke comunicó esto a Newton circa 1679 en un intercambio epistolar. Ya en su *Micrographia*, de 1666, Hooke intuía una ley similar en relación con la

⁶⁵ Christiaan Huygens (1629-1695) fue un matemático, físico y astrónomo holandés, considerado uno de los científicos más grandes de todos los tiempos. Hizo aportes fundamentales a la mecánica y la óptica.

⁶⁶ Robert Hooke (1635-1703) fue un científico y arquitecto inglés, famoso por haber empleado un microscopio para visualizar microorganismos. Sus aportes a la mecánica son también muy conocidos.

⁶⁷ También existe un debate acerca del grado de universalidad que tenía la gravitación para Hooke. Por un lado, se hace notar que Hooke permanecía cauto acerca del *status* de la ley de la gravitación en cuanto no había suficiente evidencia experimental para sostener su universalidad. Por otro lado, sus afirmaciones documentadas al respecto de la universalidad parecen limitarse a “los cuerpos celestes”. La universalidad de la interacción gravitatoria sí quedaría claramente afirmada en los trabajos del siglo XVIII. Kant, más que cualquier otro hacia mediados del siglo XVIII, se vale de esa universalidad para construir su cosmología. Pocas décadas después, hacia fines del siglo XVIII, Michell y Cavendish.

distribución geométrica de las capas esféricas de la atmósfera terrestre, y no es un exceso especular que se valió de esa analogía para entender la gravedad. En sus *Principia*, de 1686, Newton reconoce que tanto Hooke y Halley⁶⁸, entre otros, habían arribado de manera independiente a la conclusión de que la fuerza gravitatoria cumple con la ley de la inversa del cuadrado de la distancia⁶⁹. Dada la conocida falta de honestidad de Newton a la hora de repartir el crédito con sus colegas, no es difícil entender el resentimiento que Hooke mantendría acerca de la omisión por parte de Newton de aquella misiva de 1679. Se ha afirmado, sin embargo, que ya hacia 1666 Newton intuía la validez de la ley de la inversa del cuadrado para el movimiento circular de los astros (cf. Gal, 2002). El debate acerca del descubrimiento de la ley de la inversa del cuadrado de la distancia para la gravedad y la controversia entre Newton y Hooke han sido extensamente discutidos en la literatura; epistemólogos, físicos, filólogos, historiadores han dejado detallados documentos y aportado cuidadosas interpretaciones del caso (cf. Westfall, 1983; Gal, 2002; Griffiths, 2009; Guicciardini, 2018; Hall *et al.*, 2020). No es nuestra intención aquí reiterar esos estudios sino mostrar cómo la idea de la ley de la inversa del cuadrado, tan cara para la cosmología kantiana, iba afianzándose hacia la segunda mitad del siglo XVII.

Algo sobre lo que no hay debate es la superioridad del análisis que Newton hace de la interacción gravitatoria, de la formulación matemática de la ley que la describe, de las conclusiones que de esta derivan, y de la manera de formular su carácter universal. En este sentido, su autoría de la ley universal de la gravitación es indiscutible. Aun preso de la innecesaria suposición de homogeneidad y simetría esférica de los astros intervinientes, Newton formula de manera especialmente clara la ley de la inversa del cuadrado de la distancia para la interacción gravitatoria en sus *Principia*, en 1686: en la Sección III del Libro I del *Principia*, Newton analiza “el movimiento de los cuerpos en secciones cónicas excéntricas”. En las proposiciones y problemas que dan forma a esa sección de su libro, Newton demuestra que las formas en el espacio y las trayectorias en el espacio-tiempo dibujadas por las órbitas que, como las de los astros, vienen a ser cónicas implican la acción de una fuerza centrípeta que es “inversamente proporcional al cuadrado de la distancia” (cf. Newton, 1997 [1687], Lib. I, Sec. III, Prop. XI-XIII, Prob. VI-VIII, pp. 92-96). Más adelante, en la Sección XI, Newton

⁶⁸ Edmond Halley (1656-1742) fue un astrónomo, geofísico, matemático y físico inglés. Fue el segundo astrónomo real de Gran Bretaña, sucediendo a John Flamsteed en 1720.

⁶⁹ También la figura de John Locke (1632-1704) suele mencionarse en relación a la ley de la inversa del cuadrado, en especial por su correspondencia con Newton y sus discusiones con él y con Huygens acerca de los aspectos matemáticos de la demostración entre esa ley de fuerzas y el movimiento de los astros.

analiza la interacción entre dos cuerpos, ambos móviles y ya sin recurrir a la aproximación según la cual uno de ellos se encuentra en reposo. Para estos cuerpos, concluye: “Los cuerpos cuyas fuerzas decrecen como el cuadrado de sus distancias respecto a sus centros pueden moverse entre sí en elipses” (cf. Newton, 1997 [1687], Lib. I, Sec. XI, Prop. LIX-LXV, Teo. XXII-XXV, pp. 211-227). Con esto último, Newton incorporaba en su física la interacción mutua entre cuerpos conforme a una ley, y ya no el sometimiento de uno de los cuerpos al influjo del otro. Los cuerpos interactúan en co-presencia, mediante una ley que refiere a la posición de cada uno de ellos, “sus distancias respecto a sus centros”, o, más precisamente, la distancia relativa entre sus centros.

La ley de la inversa del cuadrado de la distancia gobierna, como sabemos, otras fuerzas fundamentales de la naturaleza. En términos modernos, recurriendo a nuestro conocimiento de la teoría de campos, diremos que toda interacción entre la materia cuya descripción microscópica esté dada en términos de una teoría de campos efectiva que involucre como partículas mediadoras bosones sin masa⁷⁰ arrojará como resultado la ley de la inversa del cuadrado de la distancia. La gravedad es, por caso, la más evidente de esas fuerzas. El electromagnetismo es, sin duda, la fuerza que le sigue en familiaridad. Al igual que con la gravedad, la formulación matemática de la fuerza que describe los fenómenos eléctricos fue formulada mucho después de que los mismos fueran conocidos, e incluso mucho después de que pudiera experimentarse con ellos de manera controlada. La fórmula que da cuenta de la interacción electrostática entre dos cuerpos cargados eléctricamente es la que conocemos como ley de Coulomb, por Charles-Augustin de Coulomb⁷¹, quien la descubriera hacia finales del siglo XVIII y la publicara en 1785, en su segunda *Mémoire sur l'Électricité et le Magnétisme* (pp. 579-580). Se habla en esa *mémoire* de los fenómenos eléctricos y de los magnéticos conjuntamente, y se los describe como “fluidos” que actúan de manera repulsiva o atractiva: “suivant quelles lois le fluide magnétique, ainsi que le fluide électrique, agissent, soit par répulsion, soit par attraction” (p. 578). Esta referencia a fluidos está en concordancia con lo que decíamos arriba acerca de que, en términos modernos, podemos pensar a la ley de la inversa del cuadrado como la expresión de la conservación de un flujo, ya sea este el flujo de constituyentes corpusculares materiales o de una entidad de naturaleza continua que atraviesa superficies esféricas concéntricas con la fuente de la fuerza en su centro. Al comienzo de su

⁷⁰ Estos bosones serían los *gravitones* en el caso de la fuerza gravitatoria y son los *fotones* en el caso de la fuerza electromagnética.

⁷¹ Charles-Augustin de Coulomb (1736-1806) fue un ingeniero y físico francés, descubridor epónimo de la ley que describe la fuerza electrostática de atracción y repulsión.

segunda *Mémoire*, Coulomb describe la dependencia funcional de la fuerza electrostática – proporcional a la inversa del cuadrado de la distancia y a las cargas de las esferas cargadas– de manera detallada.

Para ser precisos, digamos que el descubrimiento de la ley de la inversa del cuadrado de la distancia para la fuerza eléctrica también había tenido antecedentes: Franz Aepinus, filósofo natural alemán nacido el mismo año que Kant (1724) y que residió gran parte de su vida en el Imperio Ruso, propuso la ley de la inversa del cuadrado para la fuerza eléctrica en 1758. Otros, entre los que se encontraban Volta y uno de los Bernoulli, habían ya sugerido una fuerza de tales características para explicar los rudimentarios experimentos eléctricos de su época. El físico inglés Joseph Priestley fue uno de los primeros en proponer, circa 1767, la ley de la inversa del cuadrado para la fuerza eléctrica (*cf.* McEvoy, 2021 [1998]), lo que no era una idea difícil de intuir teniendo en cuenta el antecedente de la ley newtoniana para la fuerza gravitatoria. En 1769, John Robison, físico escocés, proponía una ley similar, pero los experimentos le sugerían una corrección decimal en la potencia del cuadrado de la inversa de la distancia. A principios de la década de 1770, Henry Cavendish, un físico inglés, había ya descubierto de manera independiente la ley de la inversa del cuadrado para la fuerza eléctrica, pero no publicó su descubrimiento. Finalmente, Coulomb publicó su ley en 1785.

El descubrimiento de Coulomb aparece tan solo un año antes de la publicación de los *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* de Kant. Cabe especular en qué sentido el descubrimiento de una segunda fuerza que cumpliera la ley de la inversa del cuadrado, ley que a partir de entonces dejaría de ser prerrogativa de la gravedad, habría cambiado o complementado la cosmología kantiana expuesta en sus *Principios*. Es posible conjeturar que la fuerza eléctrica, dada su posibilidad de ser repulsiva, podría haberle servido a Kant como modelo de las fuerzas expansivas que en su libro de 1786 le atribuye a la materia. Esto le habría dado sustento científico a ideas sobre las fuerzas repulsivas de la materia que Kant ya había expresado en 1756 en su *Monadología física*⁷². También podríamos suponer que la validez de la ley del cuadrado de la distancia para otro tipo de fuerza le habría servido a Kant para confirmar la *necesidad* de tal dependencia funcional para la física que describe nuestro mundo.

Hacia fines del siglo XVIII vendrían aún más descubrimientos relacionados con la ley de la inversa del cuadrado: si bien los fenómenos magnéticos son también mencionados en el trabajo

⁷² Aunque Kant pensaba que las fuerzas repulsivas de la materia tendrían una dependencia inversamente proporcional al cubo de la distancia y no al cuadrado de esta.

de Coulomb de 1785, fue el inglés John Michell⁷³, un científico notabilísimo a quien nos referiremos más adelante, quien concluyó que la fuerza magnética también parecía obedecer la ley de la inversa del cuadrado de la distancia. Algunas décadas más tarde, en el año 1820, Jean-Baptiste Biot y Félix Savart, publicarían en los *Annales de chimie et de physique* la fórmula que daría substancia a la idea de Michell: al igual que la fuerza gravitatoria y la eléctrica, la fuerza magnética también obedece la ley de la inversa del cuadrado⁷⁴.

El cuerpo bidimensional (digressio)

Permítasenos aquí una breve digresión acerca de una pregunta que hicimos al comenzar la subsección precedente y que dejamos planteada: se trata de la pregunta de si la mera perspectiva le hubiese bastado a Kant como argumento para explicar cómo la espacialidad surge a partir de secuencias, de un ordenamiento de sucesiones de escorzo facilitado por la continuidad de lo que existe y se percibe. Se trata de construir la espacialidad del mundo y, con esa espacialidad, los atributos del espacio; su dimensionalidad, entre estos. ¿Le habría alcanzado al Kant precrítico con la mera perspectiva o con el mermar de la intensidad de las luces⁷⁵ distantes del que hablaba Kepler para concebir un mecanismo mediante el cual nuestra mente construye la espacialidad?

Es interesante pensar en un espacio construido por las meras percepciones de nuestra alma [*Seele*], un mundo percibido en el que los perfiles de aquello a ser pensado *en* el espacio se suceden, y lo hacen de manera tal que esa sucesión es también constructo. Un espacio que nace de lo interno, de un aparato-sujeto con una imprimación constitutiva, receptiva pero vacante, llena pero llena de ausencias, de potencialidades y de tensiones. ¿Habría bastado la síntesis en

⁷³ John Michell (1724-1793) fue uno de los mayores científicos naturales del siglo XVIII, e incluso el más original de ellos. Considerado uno de los padres de la sismología, Michell fue también un gran astrónomo; fue el primero en conjeturar la existencia de los agujeros negros; y fue uno de los principales promotores de la idea del carácter universal de la ley de la gravitación, que ya no solo se ajustaría a los cuerpos celestes. Sus intentos por medir la masa de la Tierra mediante experimentos que anticipaban el dispositivo que hoy conocemos como balanza de Cavendish lo hacen evidente. Los temas de investigación e interés de Michell encontraron sintonía con los temas a los que Kant dedicaría más de cuarenta años de estudio de filosofía natural. Esto incluye, en particular, el tema del carácter universal de las fuerzas fundamentales; pero también otros temas, como la geografía física, la sismología, y las especulaciones astrofísicas y cosmológicas basadas en las leyes físicas.

⁷⁴ También en el siglo XIX se obtendría otro resultado importante que involucra a la ley de la inversa del cuadrado de la distancia, r . En 1873, Joseph Bertrand demostraría que, junto a la potencia lineal con la distancia, la inversa del cuadrado es la única fuerza de la forma $F = C r^k$ (con C constante, r la distancia, k otra constante) para la cual todas las órbitas acotadas son cerradas. El hecho de que solo los casos $k=1$ y $k=-2$ cumplen tal propiedad en mecánica clásica se conoce como *teorema de Bertrand* (1873).

⁷⁵ Es un hecho por demás notable que no hayan sido las luces, entendiendo por esto las percepciones ópticas, de más importancia para Kant a la hora de construir su idea de la espacialidad. Las fuerzas tomaron en su teoría un lugar que la perspectiva, las luces y las sobras dejaron vacante.

la variedad de imágenes y un mecanismo de esquematización para derivar un espacio que más tarde, en la filosofía trascendental, vendría dado *a priori*? ¿Habría bastado la perspectiva – cabe preguntarse – para exigir el espacio tridimensional?; ¿sería el variar de las imágenes y las luces de acuerdo a una dada ley suficiente exigencia para que la tridimensionalidad se nos manifieste? Respondemos a esta pregunta por la negativa; creemos que esto no habría bastado. De hecho, sostenemos que para Kant era necesaria la idea de fuerzas fundamentales y universales, fuerzas que se volverían para su cosmología elementos ubicuos e instantáneos: para Kant, el espacio viene exigido por todas las fuerzas de la materia. Son necesarias las fuerzas entre las substancias, y no solo entre la substancia y nuestra alma.

En lo que a nuestros sentidos concierne, experimentamos (probamos) un mundo bidimensional, aun cuando *vivencemos* uno tridimensional. Lo entendemos, lo interpretamos, lo anticipamos tridimensional, mas bidimensional lo sentimos. De manera pre-teorética construimos una tridimensionalidad, la del mundo, a partir de una bidimensionalidad primera, la del cuerpo. Así, hay un cuerpo bidimensional; es el de nuestras retinas, ese tejido sensible en el que se dibujan imágenes invertidas, proyecciones de formas perdidas en un fondo íntimo, nervioso, abovedado, bidimensional, un fondo invadido por luces que serán sinapsis antes de ser mundo. El cuerpo bidimensional es también el de nuestra piel, epítome de lo que “lo sensible” significa, sintiendo lo que rodea al espacio que ocupamos, ese espacio que inventamos tridimensional y que llamamos cuerpo. El cuerpo sintiente es bidimensional, pero nuestro cuerpo ocupa un espacio de un mundo de una dimensión extra. Nuestro cuerpo pasa a ocupar un volumen; *es* un volumen. Mas esta tridimensionalidad es última, viene después de aquella bidimensionalidad *sentida*.

Ya otros han pensado en esta dimensionalidad fluida al tratar de entender la dimensionalidad de la experiencia. Carnap hablaba de un mundo primario, *die primarie Welt*, que consiste en sensaciones y tiene una espacialidad bidimensional y una temporalidad lineal. El contenido espaciotemporal completo, incluyendo las tres dimensiones del espacio, surgiría en una segunda instancia, en la que se constituye un mundo secundario, *die sekündare Welt*. La tridimensionalidad de ese mundo secundario en el que las leyes causales de la física se integran se trataría de una ficción (*cf.* Carnap, 1924).

Esta observación sobre la dimensionalidad del cuerpo podría tener implicancias para la teoría del conocimiento. Si nuestra mente es capaz de construir una imagen tridimensional del mundo a partir de la síntesis de aquella epidérmica bidimensionalidad con la que lo exploramos, cabe preguntarse si no será también capaz de más. Por ejemplo, ¿es nuestra mente capaz de desarrollar una intuición tetradimensional si se la estimula adecuadamente mediante influjos

externos, educados estos en las verdades geométricas deducidas de lo que sería la síntesis de secciones bidimensionales de un mundo de cuatro dimensiones? Algunos responderían que sí (cf. Hinton, 1912). La neurociencia también se ha planteado esta pregunta y ha encontrado evidencias de que, en efecto, esta hazaña hiperdimensional es posible (Ambinder *et al.*, 2009). De más está insistir con lo que esto puede significar para una revisión de la filosofía trascendental.

La superveniencia del espacio y su condición de posibilidad

Si la dimensionalidad, que es atributo basal del espacio, es una propiedad derivada del modo en el que la materia legisla la forma en la que las fuerzas actúan, entonces el espacio *per se* es una entidad derivada. Dimensionalidad, continuidad o discontinuidad, finitud o infinitud, son propiedades que no pueden estar ausentes para que el espacio *sea*. Luego, no es posible considerar al espacio como elemento fundamental si no lo es una de las propiedades que lo definen. El carácter fundamental del espacio queda, pues, condenado por el carácter inherente de aquellos atributos de este que supervienen.

Hay una serie de conclusiones importantes que podemos derivar de los párrafos del libro sobre las fuerzas vivas citados en las secciones precedentes. En relación con el contenido metafísico que deriva de la ley de la inversa del cuadrado, hay un aspecto que merece ser resaltado: se trata de la afirmación sobre la contingencia de tal ley, contingencia que implica la arbitrariedad de la dimensionalidad del mundo. Esto lleva inmediatamente a Kant a afirmar la posibilidad de existencia de otros mundos. La posibilidad de otros mundos era una de las tesis fundamentales de la teoría leibniziana de los mundos posibles; pero para Kant esta hipótesis cobra una dimensión distinta en cuanto aceptará la plausibilidad de la existencia simultánea de muchos mundos desconectados, cada uno de los cuales habrá de tener distintas estructuras geométricas. Trataremos esto en detalle en las próximas subsecciones; pero, antes de eso, necesitamos hacer algunas observaciones preliminares: comencemos comentando algo más acerca del problema de la dimensionalidad *per se*. Escribe Kant:

Es fácil demostrar que no habría espacio ni extensión si las substancias no tuvieran fuerza para actuar externamente a sí mismas. Porque sin esta fuerza no hay conexión, sin conexión, no hay orden y, finalmente, sin orden, no hay espacio. Sin embargo, es algo más difícil ver cómo la pluralidad de dimensiones en el espacio se deriva de la ley según la cual esta fuerza de substancias actúa externamente (Kant, 1749, §9; Watkins 2015, §9, p. 26).

Reconoce Kant aquí la dificultad de inferir la ley por la cual la fuerza actuaría en un espacio de dimensionalidad distinta. Aun así, Kant parecía tener certeza de la posibilidad de una ciencia en esas otras formas de espacio, en esos otros mundos. A eso se refiere, por ejemplo, cuando afirma que la ley de la inversa del cuadrado de la distancia es contingente y que otra ley es *posible*. La posibilidad de que la ley sea otra es lo que habilita a hablar aquí de superveniencia del espacio *stricto sensu*, dado que la superveniencia demanda una estructura subjuntiva entre propiedades de distintos niveles que admita la forma: si las propiedades de [la fuerza] se vieran modificadas, entonces las del [espacio] se verían modificadas, de modo que se dice de la superveniencia de estas últimas.

Continúa Kant:

Una ciencia de todos estos posibles tipos de espacios [con dimensiones superiores] sería sin duda la geometría más elevada que un entendimiento finito podría emprender. La imposibilidad que notamos en nosotros de representarnos un espacio de más de tres dimensiones parece surgir de la circunstancia de que nuestra alma también recibe impresiones del exterior según la relación inversa al cuadrado de las distancias, y porque su naturaleza está constituida en sí misma para no solo verse afectada de esta manera, sino también para actuar externamente a sí misma de esta manera (Kant, 1749, §10; Watkins 2015, §10, p. 28).

Vemos aquí expresada la certeza acerca de la existencia de esas leyes que regirían la física de esos mundos de otras dimensionalidades, de esa “elevada geometría”. Vemos también en este párrafo la vinculación que hace Kant entre la dimensionalidad del espacio y la cuestión de relación entre la substancia y nuestra mente. Aparece nuevamente aquí la acción de la mente sobre lo externo, y de lo externo sobre la mente. La frase “nuestra alma también recibe impresiones del exterior según [tal] relación” sugiere que Kant está pensando aquí en una cualidad inherente de nuestra alma [*Seele*], de nuestra mente. Al hablar de nuestra alma dice que “su naturaleza está constituida en sí misma” de una dada manera. Habla de una correlación entre la forma en la que las substancias interactúan entre sí y la forma en la que nuestra mente está constituida para interactuar. Sin que en ello haya ánimo de forzar ver en esto una anticipación de la filosofía trascendental, corresponde resaltar la idea que aparece aquí acerca de una correlación entre la física que gobierna el mundo y la forma en la que nuestra alma se encuentra predeterminada para interactuar con él. Vemos ya aquí una clave para entender de qué manera la filosofía trascendental, sistema que se ocupa de los conceptos *a priori* de los objetos, no entra necesariamente en tensión con la metafísica del espacio del Kant precrítico:

Solo una forma de fuerza, y así pues solo una forma de espacio, sería capaz de interactuar con nuestra alma, que en sí misma se encuentra constituida para interactuar de una forma predeterminada.

Acerca de esto último, es interesante preguntarse si no podría la evidencia científica basada en los experimentos de neurociencia refutar esta idea de la pre-constitución tridimensional del alma para dar paso a una hipótesis de plasticidad en una teoría trascendental dinámica. Pero esto es materia de otro estudio. Volvamos, pues, a lo nuestro: Kant y la dimensionalidad.

Sobre a la forma en la que Kant trata la dimensionalidad del espacio, Cassirer dice que lo que impera a lo largo del libro de las fuerzas vivas es la tendencia a “remontarse por sobre lo particular y pasar al plano de las ‘posibilidades’ más generales del pensamiento” (Cassirer, 2018, p. 42). En este sentido, reconoce Cassirer, es especialmente característica la idea de Kant de que “el espacio tridimensional dado a nuestro mundo empírico no constituye, tal vez, más que un caso específico dentro de un sistema de formas espaciales que pueden ser absolutamente distintos en cuanto a su estructura y a sus dimensiones” (p. 43). Es importante decir acerca de esto que Kant llega a pensar en mundos de más dimensiones sencillamente porque él concluye que esta es, en efecto, una posibilidad lógica. Kant ya había ensayado, nos cuenta él mismo, otras explicaciones de la dimensionalidad del espacio, y esos intentos de explicaciones no lo habían llevado a ningún lugar. Esto lo enfrentaba, entonces, a la necesidad de considerar la dimensionalidad como algo contingente: “La razón para la dimensionalidad 3 del espacio no se conoce aún”, nos dice. Y agrega:

Debido a que discierno una inferencia circular en la demostración que Herr von Leibniz da, en algún lugar de su *Teodicea*, al tomar del número de líneas que se pueden trazar en ángulo recto entre sí desde un punto, yo he tratado de demostrar el carácter tridimensional de la extensión a partir de lo que se puede discernir de las potencias de los números. Las primeras tres potencias son completamente simples y no pueden reducirse a ningún otro [números primos], pero la cuarta potencia se reduce al cuadrado del cuadrado, no es más que una repetición de la segunda potencia. Por muy buena que me pareció esta propiedad de los números como un medio para explicar la tridimensionalidad del espacio, me resultó poco sólida en su aplicación. Porque la cuarta potencia es una imposibilidad con respecto a todo lo que podemos representarnos a nosotros mismos acerca del espacio por medio de la imaginación. En geometría no se puede multiplicar un cuadrado por sí mismo, ni se puede multiplicar el cubo por su raíz; de ahí que la necesidad de la tridimensionalidad no se base tanto en el hecho de que, al plantear varias dimensiones, no se hace más

que repetir las anteriores (como en el caso de las potencias de los números); más bien se basa en una cierta otra necesidad que todavía no estoy en condiciones de explicar (Kant, 1749, §9, pp. 12-13; Watkins, 2015, §9, pp. 26-27).

Aquí vemos a Kant, no solo refutando a Leibniz, sino refutándose a sí mismo. Su intento de demostración de la tridimensionalidad del espacio en función de la propiedad de ser primos⁷⁶ de los números 1, 2 y 3, reconoce, es *ad hoc*. Insiste con la idea de que la explicación de la tridimensionalidad del espacio podría existir, aunque él no está en condiciones de hallarla. Más importante resulta el hecho de que insiste también con la idea de que hay una relación directa entre la tridimensionalidad del mundo y nuestra imposibilidad de pensar otras dimensiones. Puede vislumbrarse en esto también un giro kantiano, como si la relación de implicancia entre la dificultad para entender la tridimensionalidad del espacio y el carácter tridimensional de este último se viera invertida. Sobre este punto, y a efectos de responder a la pregunta de cuánto de estas tempestuosas consideraciones acerca la relación entre nuestro entendimiento y las leyes naturales alcanzaron las costas calmas y meditadas de la época crítica, cabe citar una frase que pertenece a los *Prolegómenos* (1783): “El entendimiento no extrae sus leyes (*a priori*), sino que las prescribe a la naturaleza.” (cf. Kant, 1999 [1783], §36, pp. 179-183). Esta frase, que ya otros señalaron como intrigante, merece un análisis aparte al que nos dedicaremos más adelante, en la Tercera Parte de esta tesis, en la sección XX, titulada *Jerarquía ontológica en la filosofía trascendental*.

Es importante reparar también en la afirmación de Kant acerca de que la tridimensionalidad “más bien se basa en una cierta otra necesidad que todavía no [está] en condiciones de explicar”. Kant destaca este punto agregando el siguiente apotegma al margen de su párrafo: “La razón de la tridimensionalidad del espacio aún no es conocida”. Con renuencia, Kant se dispone a aceptar la contingencia de la dimensionalidad del espacio, aunque se muestra receptivo ante la posibilidad de que exista una necesidad de que las dimensiones sean solo tres. Se intuye que Kant mantenía la íntima convicción de que la tridimensionalidad del espacio respondía a alguna razón aún desconocida por los filósofos, pero un imperativo le exigía la

⁷⁶ Kant reconoce las potencias primera, segunda y tercera como irreducibles (lo que equivale a decir que los números 1, 2 y 3 son primos mientras el 4 se descompone en 2×2) y considera momentáneamente la posibilidad de asociar esa irreducibilidad de las potencias a la dimensionalidad del espacio. La relación entre las potencias de los números y la imposibilidad de una dimensionalidad mayor del espacio encuentra antecedentes: el algebrista italiano Cardan considera la relación entre las potencias de los números enteros y la dimensionalidad del espacio en el primer capítulo de su *Ars Magna*, de 1545. Escribe allí: “la primera potencia se refiere a una línea, el cuadrado a una superficie, el cubo a un sólido y que sería fatuo que avanzáramos más allá, por el hecho de que es contrario a la naturaleza” (cf. Cajori, 1926, p. 397).

honestidad intelectual necesaria para refutar sus propios ensayos por demostrar esa propiedad del espacio. Es precisamente luego de esta afirmación sobre que la razón de la tridimensionalidad del espacio se desconoce que Kant afirma que “el carácter tridimensional parece derivar del hecho de que las substancias en el mundo existente actúan sobre otras en una forma tal que la fuerza de acción es inversamente proporcional al cuadrado de las distancias” (p. 27).

Acerca de la refutación del argumento que Leibniz presenta en “algún lugar de la *Teodicea*”, vemos que no ha tenido Kant reparo en sentenciar su circularidad. Leibniz argumentaba que el número $n=3$ para las dimensiones del espacio viene dado por una “necesidad geométrica”, por el hecho de que “solo hay tres líneas rectas perpendiculares entre sí que puedan cortarse en un mismo punto” (Leibniz, 2014 [1765], § 351, pp. 503-504). Revisar el argumento completo de Leibniz puede ser interesante para lo que nosotros queremos tratar aquí, ya que ese argumento, como veremos, permite discutir el carácter contingente o necesario de las distintas verdades naturales.

Leibniz y la tridimensionalidad

Como es sabido, la *Teodicea* es el trabajo en el que Leibniz presenta una “refutación y corrección de los errores del escéptico Pierre Bayle⁷⁷, en especial en su *Dictionnaire historique et critique*”. Escribe Leibniz allí:

M. Bayle, sin embargo, ha dado una extensión un poco excesiva a la elección libre de Dios; y al hablar del peripatético Estratón (...), quien sostenía que todo habrá sido producido por la necesidad de una naturaleza destituida de inteligencia, dice, que si a este filósofo se le hubiera preguntado por qué un árbol no tiene fuerza para formar huesos y venas, habría podido preguntar él a su vez: “¿Por qué la materia tiene precisamente tres dimensiones? ¿Por qué no le han bastado dos? ¿Por qué no tiene cuatro? Si se le hubiese respondido que la materia no puede tener ni más ni menos de tres dimensiones, hubiera preguntado cuál era la causa de esta imposibilidad.” Estas palabras dan lugar a pensar que M. Bayle sospechaba que el número de las dimensiones de la materia dependía de la elección de Dios, como ha dependido de él el hacer o no hacer que los árboles produjesen animales. En efecto: ¿quién sabe si hay globos planetarios, o tierras colocadas en algún paraje más lejano del Universo, en donde las fábulas de [pájaros que nacen de los árboles] sean verdaderas (...) Mas

⁷⁷ Pierre Bayle (1647-1706) fue un filósofo francés. En 1681 Bayle huyó a Holanda debido a la persecución religiosa en Francia. Es conocido por su *Dictionnaire Historique et Critique*, cuya publicación comenzó en 1697.

no sucede así con las dimensiones de la materia; el número ternario está determinado, no por la razón de lo mejor, sino por una necesidad geométrica; porque los geómetras⁷⁸ han demostrado que solo hay tres líneas rectas perpendiculares entre sí que puedan cortarse en un mismo punto. Nada pudo escogerse más propio que esto para hacer ver la diferencia que hay entre la necesidad moral, que crea la elección del sabio, y la necesidad bruta de Estratón y de los spinozianos, que niegan a Dios el entendimiento y la voluntad, y que hace que se advierta la diferencia que hay entre la razón de las leyes del movimiento y la razón del número ternario de las dimensiones, puesto que consiste la primera en la elección de lo mejor, y la segunda en una necesidad geométrica y ciega.” (Leibniz, 2014 [1765], §351, pp. 503-504).

Leibniz distingue aquí entre diferentes tipos de razón para diferentes realidades de la naturaleza. Por un lado, está la contingencia de las leyes físicas que gobiernan el movimiento de los cuerpos, leyes entre otras que pudo Dios haber elegido. Por otro lado, están las razones de otra índole, como la de la tridimensionalidad del espacio, que corresponde a una necesidad geométrica, de carácter no elegible. A diferencia de Kant, para Leibniz el mundo no pudo haber tenido un número distinto de dimensiones, pero no porque Dios haya elegido el número $n=3$ por ser este el mejor número posible de dimensiones, sino simplemente porque $n=3$ es una necesidad geométrica basal.

Cabe mencionar que, desde los célebres intentos de Leibniz y Kant, hubo muchos otros que intentaron demostrar la necesidad de la tridimensionalidad del espacio. Hubo quienes lo intentaron desde la lógica matemática, y hubo quienes lo hicieron recurriendo a argumentos antrópicos. Entre los primeros se encontró Bernard Bolzano. En una conferencia en la Real Sociedad de Bohemia en 1842 – conferencia que se publicaría el año siguiente bajo el título de *Versuch einer objektiven Begründung der Lehre von den drei Dimensionen des Raumes*– Bolzano exponía su argumento, que, de manera notable, recurre al tiempo y a sus propiedades de unidimensionalidad, tricotomía, infinitud, y simetría entre pasado y futuro para derivar una cualidad tan íntima del espacio como lo es su tridimensionalidad. Décadas más tarde, ya en el siglo XX, otros, como Ehrenfest, ensayaron argumentos antrópicos para explicar la tridimensionalidad del mundo observado.

⁷⁸ Esta referencia a los geómetras puede tomarse como una referencia a Ptolomeo de Alejandría (100-170), quien afirmó probar la inexistencia de más de tres dimensiones con el mismo argumento: la posibilidad de trazar no más de tres perpendiculares que pasen por un mismo punto. El libro de Ptolomeo que incluye su demostración se perdió, pero hay registros de su argumento: el matemático alemán Christophorus Clavius (1538-1612), quien residió muchos años en Roma, retomó y elaboró la prueba de Ptolomeo.

Cinco disposiciones intelectuales ante la pregunta por la tridimensionalidad

Podemos clasificar las diferentes disposiciones intelectuales que uno puede adoptar frente a la pregunta por las razones de la tridimensionalidad del mundo en cinco categorías que, aunque pueden a su vez ser subdivididas, cumplen con organizar las diferentes posturas con un criterio epistemológico claro.

En primer lugar, tenemos la disposición por la necesidad; es decir, aquel conjunto de argumentos – y de teorías, en el caso en el que esos argumentos deriven de un cierto sistema– que tienen la pretensión de explicar la tridimensionalidad del espacio como una condición necesaria. Este tipo de argumentos puede ser de variada índole; por ejemplo, incluye aquellos argumentos que descansan en propiedades geométricas, puramente matemáticas, que son prerrogativa de los espacios tridimensionales – o tetradimensionales si es que se incluye al tiempo en el esquema–. La mayoría de los argumentos de este tipo son, o bien tautológicos – *e.g.* incluiríamos en esta clase el argumento de Leibniz en la *Teodicea* al que refería Kant–, o bien acompañados de elementos *ad hoc* – *e.g.* el argumento kantiano de los números primos que él mismo censuró⁷⁹–. Debido a eso, es difícil imaginar que argumentos de este tipo, basados en propiedades puramente matemáticas, pudieran resultar satisfactorios, aunque ciertamente tienen en muchos casos gran importancia histórica. En contraste, este tipo de argumentos sí puede resultar satisfactorio si se asiste a la matemática con la física: un ejemplo de esto en la física teórica actual está dado por la teoría de supercuerdas, teoría que se yergue como la única descripción consistente y unificada de la gravedad cuántica. La teoría de supercuerdas permite aunar la teoría cuántica con la teoría general de la relatividad en un único marco teórico que, a su vez, cumple con incorporar las otras fuerzas fundamentales de la naturaleza. Ahora bien, esta teoría tiene una arquitectura interna muy precisa y celosa, y cada pieza formal, cada elemento matemático, encaja en la teoría con acribia. Esto deriva en que, en muchos sentidos, la teoría de supercuerdas resulta predictiva⁸⁰; en especial, la teoría predice que la dimensión

⁷⁹ Para dar más ejemplos, digamos que se incluye en esta clase los intentos por explicar la tetradimensionalidad del espacio-tiempo basándose en las propiedades de los cuaterniones u otra propiedad algebraica o geométrica que sea privativa de la dimensión $n=4$. (Los números cuaterniones son un cuerpo algebraico cerrado que es la generalización natural –asociativa mas no-conmutativa– del cuerpo de números complejos. Mencionaremos los cuaterniones nuevamente abajo al hablar de la historia de la geometría en más dimensiones.)

⁸⁰ Esta afirmación puede ser controversial en especial en la comunidad científica dedicada a la física teórica. Esto se debe principalmente a dos razones: por un lado, las críticas dirigidas a la teoría de cuerdas debido a su falta de predictibilidad suelen deberse a un desconocimiento de la teoría y, en especial, de su celosa estructura matemática. Por otro lado, suele entenderse erróneamente en qué sentido la teoría de supercuerdas resulta predictiva. Digamos acerca de esto último que la teoría predice la supersimetría, la existencia de dimensiones extra, la existencia de la gravedad, y la existencia de un espectro infinito de excitaciones conforme aumenta la energía, y que todas estas predicciones lo son en cuanto son hechos *necesarios* para que la teoría sea correcta. En otras palabras, si no se

del espacio-tiempo es $n=10$. Esto es decir que la teoría de supercuerdas es consistente matemáticamente solo si existen en el espacio seis dimensiones adicionales a las tres que nos es dado explorar y el tiempo (cf. Giribet *et al.*, 2019). Este es un ejemplo de teoría en el cual las dimensiones del espacio están exigidas a ser un determinado número, y así la (deca)dimensionalidad del espacio-tiempo se vuelve *necesaria*.

Una segunda actitud epistemológica posible ante el problema de la dimensionalidad del espacio es la disposición por la contingencia; es decir, considerar que no existe razón alguna para la tridimensionalidad del espacio: la tridimensionalidad no es necesaria. Podríamos incluir en esta clase – aunque *stricto sensu* no se trataría exactamente de la misma actitud epistemológica– a los argumentos que proponen suspender el juicio y poner la cuestión de la tridimensionalidad entre paréntesis. En este último caso no se estaría negando la existencia de una razón para la tridimensionalidad, sino simplemente declarando que esta puede ser, o bien incognoscible, o bien insubstancial, o bien irrelevante.

Otra posible actitud ante el problema es tratar de encontrar la razón de la dimensionalidad del mundo por la vía de la mejor explicación. Ejemplos de esto son las teorías físicas que encuentran en cierto número de dimensiones espaciales propiedades estético-formales que no se hallan en cualquier dimensionalidad. La teoría de Kaluza, que muestra que las fuerzas fundamentales que vemos en nuestro espacio-tiempo tetradimensional como fuerzas distintas en un espacio-tiempo pentadimensional son la misma y única fuerza, es una teoría de este estilo (cf. Kaluza, 1921), en cuanto el argumento de la unificación de las fuerzas no es un argumento de necesidad sino un argumento estético-formal. Esta posición piadosa, de innegables tintes metafísicos, es frecuente en la búsqueda de teorías fundamentales de la física, y en especial en los últimos cien años de investigación en esa disciplina.

También podríamos mencionar la disposición antrópica, que consiste en la búsqueda de las razones de la dimensionalidad del espacio en las propiedades que harían a un espacio tal plausible de ser observado por seres pensantes: solo sobre la peculiar existencia de un universo observable por seres racionales es que puede formularse una pregunta sobre su razón de ser. El ejemplo por antonomasia de esto es el argumento de Ehrenfest, quien mostró que solo en un

diera alguna de estos hechos entonces la teoría sería errónea. Es en este sentido fuerte en el que la teoría es predictiva. Ahora bien, es cierto que algunas de estas predicciones de fenómenos no son prerrogativa de la teoría (aunque esta necesite de ellos para su validez, ellos pueden darse incluso si la teoría es incorrecta); también es cierto que muchos de esos hechos predichos son de carácter subjuntivo pero imposibles de ser alcanzados por la experiencia: uno no puede seguir aumentando *ad infinitum* la energía para comprobar que siempre seguirán apareciendo nuevas especies de partículas (aunque sí podría emplear la no aparición de esas especies como falsación de la teoría).

espacio tridimensional – *i.e.* un espacio-tiempo tetradimensional– es posible la estabilidad de las órbitas atómicas y de las órbitas planetarias (*cf.* Ehrenfest, 1918). Tan sencillo cuanto simple: en otro número de dimensiones no habría estructura estable de la materia, y así no habría vida, y así no habría inteligencia y preguntas. Estos argumentos pueden ser resumidos en el siguiente *dictum*: “Solo un espacio con tales dimensiones es susceptible de ser observado por seres inteligentes”. Esto puede suplementarse con la hipótesis de muchos mundos para tratar de resolver una segunda cuestión que nace de la primera: ¿por qué se da un mundo observable por seres inteligente y no otro? La respuesta podría ser: “Todos esos mundos acaecen, mas solo el nuestro es observado, meditado y solo sobre las razones de este se pregunta”. Los argumentos antrópicos están muy presentes en las discusiones cosmológicas actuales. Nos dedicaremos a discutir sobre esto al final de esta tesis, donde vincularemos argumentos antrópicos y la hipótesis de muchos mundos – hipótesis del multiverso– en el contexto de la física teórica actual señalando su vinculación con la metafísica de la obra precrítica de Kant.

La disposición trascendental es otra de las actitudes epistemológicas que es posible adoptar ante la pregunta por la razón de la tridimensionalidad del mundo. Podríamos resumir esta actitud de la siguiente manera: la tridimensionalidad del mundo es un *a priori*, en cuanto nuestra mente está constituida para ser afectada de una dada forma, y es de las substancias que interactúan de esa forma que puede tenerse conocimiento. El espacio y sus atributos, como la dimensionalidad, vienen dados por esa forma de interactuar, que, en cuanto única manera posible de afectar nuestra mente, se vuelve para nosotros como dada *a priori*.

Cabe señalar que, mientras algunas de las disposiciones intelectuales recién listadas son incompatibles entre sí – *e.g.* los argumentos por la necesidad y por la contingencia son incompatibles por definición–, otras no lo son en absoluto, y es en la combinación de algunas de ellas que uno encuentra los ensayos de respuesta a la pregunta por la dimensionalidad que resultan más interesantes. También es posible identificar cierta dinámica temporal entre esas actitudes intelectuales, y así la metafísica expuesta por Kant en su primer libro, que combina elementos metafísicos con una crítica a los argumentos de necesidad de la dimensionalidad, devendrá más tarde en una actitud trascendental sin que en ello exista una contradicción.

La geometría más elevada

“*Eine Wissenschaft von allen diesen möglichen Raumesarten, ware unfehlbar die höchste Geometrie*”, escribe Kant (1749, §10). Su afirmación precisa es que una ciencia de todos estos posibles tipos de espacios con dimensiones superiores sería sin duda la “geometría más

elevada” que un entendimiento finito podría emprender. Pero nos habla también de nuestra imposibilidad [*Unmöglichkeit*] para representarnos un espacio así, con más de tres dimensiones. Interpreta que esa imposibilidad se debe a que “nuestra alma también recibe impresiones del exterior según la relación inversa al cuadrado de las distancias”, y porque su naturaleza está constituida en sí misma para verse afectada de esta manera y para actuar externamente de esta manera (*ibid.*). Esto parecería resolver el problema de la razón para la tridimensionalidad del espacio desde un punto de vista trascendental. Si al entendimiento le son inasequibles otras formas de espacio, otras geometrías, otras dimensionalidades, pues estaremos confinados a ver la contingencia de nuestro mundo como una *necesidad*. Estaremos sometidos a un espacio cuyas propiedades euclidianas y tridimensionales serán, para nosotros, verdades geométricas. En vano sería luchar contra este sometimiento tridimensional al que nos condena la naturaleza de nuestra alma, que estaría constituida en sí misma para verse afectada según la ley de la inversa del cuadrado. La imposibilidad de deshacernos de nuestros prismas tridimensionales volverá a esa ley de fuerzas una ley *necesaria*, completando así una aparente inversión del orden ontológico entre espacio y fuerza: nuestra percepción del mundo, intrínsecamente tridimensional, implicaría una dada forma funcional de las fuerzas, fuerzas que, cerrando un círculo, cumplen las únicas formas funcionales con las que nuestra alma puede interactuar.

Este giro se concreta en la filosofía trascendental. Es por eso que muchos comentaristas han sostenido que debemos a la gran influencia que la filosofía trascendental de Kant tuvo hacia comienzos del siglo XIX el retraso en el descubrimiento de otras formas de geometría, como las geometrías no-euclidianas⁸¹. En su libro *Introduction to Non-Euclidean Geometry* (1945), Harold Wolfe comenta:

El comienzo del siglo XIX encontró aún sin resolver el obstinado rompecabezas del quinto postulado⁸² [de Euclides]. Pero uno no debe tener la impresión de que los

⁸¹ Acerca de las críticas a la limitada concepción geométrica de Kant, Friedman afirma que “[l]a queja moderna estándar contra Kant es la siguiente: Kant no hace la distinción crucial entre geometría pura y aplicada” (Friedman, 1992, p. 55), y agrega que “esta queja moderna es fundamentalmente injusta para con Kant, porque la concepción de la lógica de Kant no es ciertamente nuestra concepción moderna. Nuestra distinción entre geometría pura y aplicada va de la mano con nuestra comprensión de la lógica, y esta comprensión simplemente no existía antes de 1879, cuando apareció la *Begriffsschrift* de Frege” (*cf.* Friedman, 1992, p. 56).

⁸² El quinto postulado de Euclides es el axioma de la geometría cuya revisión se presenta como el origen del estudio de las estructuras que hoy conocemos como geometrías no-euclidianas. El quinto postulado es de una complejidad de que se destaca de aquella de los otros axiomas, lo que desde el principio llama la atención sobre él. El quinto postulado es el siguiente: “Si una recta corta a otras dos formando con ellas, del mismo lado de la

esfuerzos para probar ese postulado, realizados a lo largo de más de veinte siglos, hayan sido totalmente infructuosos. Lenta pero firmemente, habían dirigido las especulaciones de los geómetras hasta el punto en que el descubrimiento de la geometría no euclidiana no podía retrasarse. (...) En el momento en que las nuevas ideas iban cristalizando, la filosofía de Kant dominaba la situación, y esta filosofía trataba el espacio no como empírico, sino como intuitivo. Desde este punto de vista, el espacio se consideraba algo que ya existía en la mente y no un concepto resultante de la experiencia externa. En esos días no solo se requería perspicacia, sino también coraje, para reconocer que la geometría se convirtiera en una ciencia experimental una vez aplicada al espacio físico (...). Pero el cambio de punto de vista se produjo poco a poco. El descubrimiento de la geometría no euclidiana condujo finalmente a una destrucción completa de la concepción del espacio kantiano y finalmente reveló no solo la verdadera distinción entre concepto y experiencia, sino, lo que es aún más importante, su interrelación (p. 45).

En la misma línea, se afirmó que

Gauß se guardó muy mucho de dar parte públicamente de sus escrúpulos, ya que el kantianismo se había convertido, en aquella época, en la filosofía establecida en Alemania, y su desdén por toda clase de controversia estériles le llevó a callarse. Otros, menos prudentes, iban a aventurarse más. Primero fueron Lobachevski y Bolyai, quienes desarrollaron hacia 1830 una geometría donde podían existir una infinidad de rectas paralelas a una recta dada pasando por un mismo punto (Omnes, 2000).

No es claro que estas apreciaciones sean justas con Kant. Al fin y al cabo, hay quien podría argüir lo contrario con el simple hecho de citar una de las tantas evidencias de la influencia positiva que Kant ha tenido sobre disciplinas científicas ulteriores. Aun así, hay un caso abierto contra el sistema kantiano por parte de la teoría general de la relatividad, teoría que hizo suyas las geometrías no-euclidianas como representación del espacio-tiempo. Sobre esto, el autor de esa teoría supo escribir:

Hasta hace algún tiempo, se podía considerar posible que el sistema de conceptos y normas *a priori* de Kant realmente pudiera resistir la prueba del tiempo. Esto era defendible siempre que el contenido de la ciencia posterior que se consideró confirmado no violara esas normas. (...) Sin embargo, si uno no quiere afirmar que

primera, ángulos menores a los ángulos rectos (*i.e.* agudos) entonces esas dos rectas tendrán un punto de intersección al mismo lado de la recta en la que los ángulos agudos se dan”.

la teoría de la relatividad va en contra de la razón, no puede retener los conceptos y normas *a priori* del sistema de Kant (Einstein, 1924).

Agregaba:

Para refutar el sistema de Kant, en realidad basta con indicar una teoría lógicamente concebible (...) que entra en conflicto con las normas kantianas. Si las geometrías no euclidianas lograron esto siguió siendo controvertido (*ibid.*).

Para el Kant de la *Crítica*, la geometría es un conocimiento sintético y aun así *a priori*. Esa geometría que Kant consideraba un *a priori* es la geometría euclidiana y 3-dimensional⁸³. Muchos, entre los que se encuentran Helmholtz y Carnap, hicieron hincapié en el error de Kant al considerar que la geometría euclidiana necesariamente representaba el espacio físico (*cf.* Friedman, 1992). En su libro *Substanzbegriff und Funktionbegriff*, Cassirer también discute las objeciones a la teoría de la geometría kantiana. Escribe:

Es, pues, una extraña anomalía que de la posibilidad de la meta-geometría se infiera el carácter empírico del espacio euclidiano. La geometría euclidiana no deja de ser un sistema puramente racional de condiciones y consecuencias, cuando se demuestra que junto con ella se pueden pensar otros sistemas, que son capaces de la misma rigurosidad de conexión lógica. Cabe señalar que dos objeciones opuestas, basadas en las mismas premisas que se toman de la meta-geometría, se han expresado contra la teoría kantiana de la geometría. Por un lado, la pura *aprioridad* del espacio se cuestiona sobre la base de estas premisas, mientras que, por otro lado, se objeta que en la propia exposición de Kant la libertad *a priori* del concepto matemático y su posible separación de toda representación sensorial no se expresa satisfactoriamente. La opinión de Kant de que los axiomas fueron “dados” en “intuición pura” solo puede explicarse por ese “residuo de sensualismo que todavía se adhiere al idealismo kantiano” (*cf.* Cassirer, 1953 [1923], p. 106).

De estas dos objeciones opuestas, sostiene Cassirer, solo la última posee un significado enteramente claro y consistente (p. 106).

⁸³ Quizá convenga aclarar que la propiedad del espacio de ser euclidiano y la de ser tridimensional son completamente independientes: un espacio puede ser n -dimensional con, n arbitrario, y ser euclidiano o no euclidiano. Tanto la idea de una geometría n -dimensional como la de una geometría no-euclidiana tuvieron sus mayores desarrollos en el siglo XIX.

En la *Estética trascendental* de la *Crítica*, Kant escribe⁸⁴:

[U]na intuición *a priori* (que no es empírica) sirve de fundamento de todos los conceptos [del espacio]. Así, todos los principios geométricos, *e.g.* que un triángulo, dos lados, sumados, son mayores que el tercero, nunca se deducen de los conceptos universales de línea y de triángulo, sino de la intuición; y ello *a priori*, con certeza apodíctica (*KrV*, A25; *cf.* Kant, 2014 [1781], p. 93). (...)

La geometría es una ciencia que determina sintéticamente, y sin embargo *a priori*, las propiedades de espacio [*Geometrie ist eine Wissenschaft, welche die Eigenschaften des Raums synthetisch und doch a priori bestimmt*] (*KrV*, B40; *cf.* Kant, 2014 [1787], p. 94).

En la sección segunda de la *estética trascendental*, en las *Observaciones generales sobre la estética trascendental* (§ 8), Kant afirma que la proposición de que “entre dos líneas no puede encerrarse una figura” no puede deducirse del concepto de línea recta y del número dos. Los esfuerzos por derivar esa proposición a partir de esos dos conceptos, nos dice, serían en vano y nos haría vernos en la necesidad de recurrir a la intuición (*KrV*, B65).

Sabemos hoy que otras geometrías son posibles, y no solo desde el punto de vista lógico-formal sino también desde el físico: el universo es no-euclidiano. Kant consideraba a esas otras geometrías imposibles de ser entendidas por una inteligencia humana. En esos tiempos, esas nuevas formas del espacio, no-euclidianas o *n*-dimensionales, estaban recién germinando. Y aunque no podamos pretender que hubiese Kant incorporado tales ideas como posibilidad en su *estética trascendental*, esto no necesariamente implica que no haya quienes pueden ver en tales geometrías una amenaza al sistema trascendental kantiano de ideas y conceptos. También hay quienes interpretan que la posibilidad de esas otras formas de geometría no atenta contra el espíritu del programa kantiano aun si vienen a indicar la necesidad de un refinamiento de sus afirmaciones.

⁸⁴ En otra traducción de la *Crítica de la razón pura* al castellano se lee: “lo que sirve de base a todos los conceptos que tenemos del espacio es una intuición *a priori* (...) Lo mismo acontece con los principios geométricos, como cuando decimos, por ejemplo: juntos los dos lados de un triángulo son más grandes que el tercero, cuya certeza apodíctica no procede de los conceptos generales de línea y triángulo, sino de una intuición *a priori* (...) La geometría es una ciencia que determina sintéticamente, y sin embargo *a priori*, las propiedades del espacio” (Kant, 1984 [1781/1787], pp. 116-117).

Desarrollo de la geometría n-dimensional (digressio)

En lo que hace al desarrollo de la geometría euclidiana en n dimensiones, aquello que Kant en 1747 había llamado “la más elevada geometría” y acaso había intuido inaccesible para nuestra mente, la matemática supo contestar con firmeza. Pero antes de hablar de los desarrollos históricos de la geometría en más de 3 dimensiones, debemos primero distinguir entre dos ideas de la cuarta dimensión que, aunque relacionadas, son diferentes: la primera es pensar al tiempo como una cuarta dimensión, como una dimensión más, que, junto al espacio, forma el entramado tetradimensional que conocemos como espacio-tiempo⁸⁵. Es el espacio-tiempo que se considera en el tetradimensionalismo⁸⁶ filosófico, también llamado “la doctrina de las partes temporales”, que establece una ontología en términos de las líneas de mundo de los entes, definiendo a estos en función de su existencia en el continuo espaciotemporal. En el contexto de la filosofía natural, y más precisamente en el estudio de la mecánica, esta idea comenzó a formalizarse hacia mediados del siglo XVIII con los trabajos de d’Alembert (1754) y de Lagrange (circa 1755). En 1788 Lagrange⁸⁷ publica su *Mécanique analytique*, que presenta una formulación espaciotemporal de la mecánica clásica en 3+1 dimensiones. Mucho más tarde, a partir de comienzos del siglo XX, con el advenimiento de la teoría de la relatividad (1905), la formulación de la cinemática y la dinámica en términos del espacio-tiempo

⁸⁵ La genial intuición de Kant acerca de la estructura del espacio y el tiempo encuentra, como sostenemos, muchos puntos de contacto con las ideas de la física teórica actual. De hecho, dedicaremos la última parte de este trabajo a mostrar esto. No obstante, esto ha sido muchas veces exagerado en la literatura. Por ejemplo, Friedman arguye que el tiempo que Kant trata de construir en la *Crítica de la razón pura* es precisamente el tiempo de lo que hoy llamamos el espacio-tiempo en la teoría de Einstein, un tiempo propio del entramado espaciotemporal 4-dimensional (cf. Friedman, 1992, pp. 160-161). Esta afirmación no tiene fundamento y se trata de una lectura *ad hoc* de la filosofía crítica.

⁸⁶ El tetradimensionalismo es usualmente considerado una posición ontológica, pero es posible argüir que es más que eso; es posible opinar que se trata de una entera doctrina filosófica. Parecen coincidir en esto aquellos que prefieren llamar al tetradimensionalismo “la doctrina de las partes temporales”. Esta doctrina equipara la persistencia de los entes en el tiempo con la extensión de los mismos en el espacio. En otras palabras, según el tetradimensionalismo todo aquello que *es* es en el espacio-tiempo; es decir, los entes son el entero manajo de las geodésicas que sus constituyentes trazan en el espacio-tiempo. El universo mismo es, así, un continuo tetradimensional en el que nosotros (así como los otros entes) somos surcos y no meros volúmenes ocupados; no somos espacios tridimensionales encapsulados sino la sinuosa extensión de estos en la cuarta dimensión: somos al volumen que nuestro cuerpo ocupa en el espacio lo que la línea es al punto. El problema de la identidad, maravillosamente expuesto por Locke, se derrite ante la luz de esta ontología tetradimensional. El yo deja de ser preso de la habitualidad, tal como los empiristas menos ingeniosos se vieron obligados a concluir. Pero el tetradimensionalismo tiene más para ofrecer que una tímida semblanza de la física moderna o una respuesta a los excesos del empirismo.

⁸⁷ Joseph-Louis Lagrange (1736-1813), apellidado Lagrangia de nacimiento, fue un matemático y astrónomo italiano que, más tarde, se naturalizó francés. Hizo importantes contribuciones en física y matemática; en particular, en análisis matemático, y en mecánica clásica y celeste.

tetradimensional adquiriría una impronta renovada (circa 1908). La relatividad muestra al espacio y al tiempo ya no solo como elementos aunables sino también inescindibles. La formulación que Hermann Minkowski⁸⁸ de la teoría especial de la relatividad haría evidente el carácter irreducible del espacio-tiempo. Solo tres años después de la publicación de la primera teoría de la relatividad, Minkowski, antiguo profesor de Einstein, advertía que la formulación matemática⁸⁹ de la teoría de su exalumno admitía una descripción geométrica en términos de una geometría pseudo-riemanniana de cuatro dimensiones, en la que la cuarta dimensión venía a ser el tiempo. En la *Asamblea de Ciencias Naturales de Alemania* celebrada en septiembre de 1908, Minkowski dictó una conferencia titulada *Raum und Zeit*, en la que concluía:

Las visiones del espacio y el tiempo que deseo exponerles han surgido del terreno de la física experimental, y ahí radica su fuerza. Son radicales. De ahora en adelante, el espacio por sí mismo, y el tiempo por sí mismo, están condenados a desvanecerse en meras sombras, y solo una especie de unión de los dos preservará una realidad independiente (cf. Minkowski, 1909).

Con la teoría general de la relatividad, formulada por Einstein en 1915, el espacio-tiempo tetradimensional se volvería, no solo inescindible y relativo, sino también dinámico y no necesariamente euclidiano. A esto último se refiere Einstein cuando afirma que la teoría de la relatividad hace imposible retener los conceptos y normas *a priori* del sistema kantiano.

La segunda idea sobre la cuarta dimensión es pensar a esta como una dimensión espacial y no temporal, *i.e.* como una dimensión adicional a las tres dimensiones en las que nos es dado explorar el espacio. Esta idea, de tintes fantásticos, también hace su aparición formal en el

⁸⁸ Hermann Minkowski (1864-1909) fue un matemático alemán que se desempeñó como profesor en las universidades de Königsberg, Zürich y Göttingen.

⁸⁹ Más precisamente, las fórmulas de las transformaciones de Lorentz, sumadas al grupo de rotación en el espacio tridimensional, preservan un espacio tetradimensional cuyas coordenadas son las tres coordenadas espaciales, x , y , z sumadas a la coordenada temporal t . Esta última entra como si se tratase de una coordenada imaginaria (en el sentido de los números complejos) en la métrica del espacio tiempo, que estaría dada por el elemento de línea $ds^2 = -c^2 dt^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2$, y por lo tanto sería pseudo-riemanniana mas no *s.str.* riemanniana (aquí c es la velocidad de la luz).

siglo^{90,91} XIX, aunque aún en el terreno de lo abstracto: en 1827, Möbius advirtió la relación entre transformaciones continuas en un espacio tetradimensional y las operaciones de reflexión especular en el espacio tridimensional – algo sobre lo que regresaremos más adelante al hablar del problema kantiano de las contrapartes incongruentes y su relación con el espacio absoluto.– En 1843, Hamilton descubre los cuaterniones⁹², y Graves y Cayley descubren los octoniones⁹³, cuerpos algebraicos que de alguna manera anticipan la generalización de la descripción cartesiana del espacio a $n=4$ y $n=8$ dimensiones, respectivamente. En 1852, Schläfli publica su *Theorie der vielfachen Kontinuität*, en la que la geometría euclídea multidimensional comienza a ser formulada. El estudio sistemático de polítopos n -dimensionales se inicia circa 1853, mismo año en el que Riemann termina su obra *Über die Hypothesen welche der Geometrie zu Grunde liegen*, que se publicaría al año siguiente. Ese mismo año, 1853, nacía Charles Hinton⁹⁴, quien en 1880 escribiría un influyente libro en el área: *What is the fourth dimension?* Por esos años, Schlegel lograba avances en la geometría proyectiva en espacios 4-dimensionales (1886), y unos años más tarde Hinton publicaría un segundo libro, *A new era of thoughts* (1888), donde acuñaría el nombre “teseracto” para referir al hipercubo en 4

⁹⁰ En realidad, la idea de una dimensión adicional, además de las tres dimensiones espaciales y la dimensión temporal, puede encontrarse en escrituras mucho más antiguas, incluso miles de años atrás. El *Séfer Ietzirá* (también *Sefer Yetzirah*), el “libro de la creación” de la Cábala, describe nuestro mundo como un universo de cinco dimensiones, que se extienden entre sus (diez) diferentes extremos: el del comienzo, el del fin; el del bien, el del mal; el de la altura, el de la profundidad; el del este, el del oeste; el del norte, el del sur, (1:5). Al tiempo y a las tres dimensiones espaciales se suma la línea que se extiende entre el bien y el mal como una dimensión adicional.

⁹¹ En el contexto de la matemática, existen antecedentes de construcciones de estructuras geométricas no-euclidianas anteriores, incluso en el siglo XVIII: Giovanni Girolamo Saccheri, un monje jesuita italiano, filósofo y matemático, publicó en 1733, mismo año de su muerte, su trabajo *Euclides ab omni naevo vindicatus*, en el que la geometría no-euclidiana es estudiada. Su trabajo pasó inadvertido hasta que Eugenio Beltrami lo redescubriera en el siglo XIX. El trabajo de Saccheri estuvo inspirado en el del matemático persa del siglo XII Omar Khayyam.

⁹² Los cuaterniones son un sistema numérico asociativo, no-conmutativo, que generaliza los números complejos y que pueden ser representados como vectores reales en $n=4$ dimensiones con reglas de multiplicación adecuadas. Fueron descubiertos en 1843 por Sir William Rowan Hamilton (1805-1865).

⁹³ Los octoniones son un sistema numérico no-asociativo, no-conmutativo, que generaliza los cuaterniones y que pueden ser representados como vectores reales en $n=8$ dimensiones con reglas de multiplicación adecuadas. Fueron descubiertos poco tiempo después que estos cuaterniones.

⁹⁴ Charles Howard Hinton (1853-1907) fue un matemático inglés, conocido por popularizar la idea de la cuarta dimensión, en especial en América. Sus libros *What is the fourth dimension?* (1880) y *A new era of thoughts* (1888) han sido influyentes, en particular para la literatura fantástica. La popularidad de la literatura de fantasmas y mística a fines del siglo XIX y comienzos del siglo XX contribuyó a la divulgación de la idea de “dimensiones extra” (*i.e.* dimensiones más allá de las tres dimensiones espaciales que vivenciamos). Incluso personas de formación científica y dedicadas a la práctica científica se sintieron tentadas a investigar la relación entre el espiritismo y la cuarta dimensión; el caso de Johann Karl Friedrich Zöllner, quien se volvió especialmente conocido durante un breve tiempo debido a sus reportes de haber asistido a demostraciones experimentales de la existencia de una cuarta dimensión. Podemos mencionar también el caso de Arthur Conan Doyle, quien se sentía atraído por la idea de una cuarta dimensión y su relación con las llamadas ciencias ocultas.

dimensiones. En 1904, tres años antes de su muerte, Hinton escribió otro libro sobre la cuarta dimensión titulado *The fourth dimension*, en el que dedica un capítulo (IX) a la aplicación de la idea de la cuarta dimensión y su representación a la teoría kantiana de la experiencia. Escribe Hinton:

Debido a una expresión en la *Crítica*, la autoridad de Kant se aduce a veces contra la asunción de más de tres dimensiones del espacio. Sin embargo, me parece que toda la tendencia de su teoría se encuentra en la dirección opuesta y apunta a una perfecta dualidad entre dimensión y posición en una dimensión (Hinton, 1913 [1904], p. 119).

Según Hinton, el isomorfismo que Kant establece entre la idea de dimensión y la necesidad de especificación de una posición en el espacio para establecer un orden entre los objetos de nuestra experiencia no representa una cancelación de la posibilidad de más dimensiones sino que, por el contrario, habilita a pensar de estas de la manera adecuada: en términos modernos diríamos que las dimensiones están asociadas a la idea de *grados de libertad*, i.e. a la necesidad de variables adicionales para especificar el estado de un dado objeto físico⁹⁵. La consideración de variaciones alternadas de esas variables es lo que nos da la idea de *perfiles* del objeto. Hinton sostenía que la manera kantiana de entender la dimensión, lo que él llama la forma de generar orden a partir del no-orden, es lo que habilita la representación de los objetos tetradimensionales.

Sobre la influencia de la geometría n-dimensional en las expresiones culturales (digressio)

El británico Hinton es considerado uno de los responsables de la popularización de la idea de la cuarta dimensión, en especial en América. La idea de la cuarta dimensión rápidamente adquirió popularidad, y ya no solo en el ámbito estrictamente científico. En 1884 aparece el famoso libro de E. Abbott Abbott, *Flatland: A romance of many dimensions*, y en 1896 H. G. Wells publica su lisérgico cuento *The Plattner story*, que precisamente gira en torno a un viaje a la cuarta dimensión⁹⁶. Otros autores en cuyas obras aparece la idea de la cuarta dimensión son Edgar Allan Poe, Joseph Conrad, Howard Lovecraft, Oscar Wilde, Fiódor Dostoievski,

⁹⁵ Wittgenstein así lo entendió cuando presentaba, por ejemplo, a la cromaticidad como una forma de los objetos, en pie de igualdad con el espacio y el tiempo: "*Raum, Zeit und Farbe (Färbigkeit) sind Formen der Gegenstände*" [Espacio, tiempo y color (cromaticidad) son formas de los objetos] (2021, TLP: 2.0251).

⁹⁶ Wells, aunque sin mencionar su nombre, invoca la magia de Möbius para concluir que Plattner ha viajado en otra dimensión y ha regresado con el corazón del lado derecho: "*the curious inversión of Plattner's right and left sides is proof that he has moved out of our space into what is called the Fourth Dimension, and that he has returned again to our world*". No es poco notable que en *Otras inquisiciones* Borges haya descrito ese viaje de Plattner, no como un regreso de la cuarta dimensión, sino como un regreso "de la otra Vida".

Marcel Proust, Antón Chéjov, Scott Fitzgerald, José Echegaray, Leopoldo Lugones, Jorge Luis Borges⁹⁷. La cuarta dimensión entra en la obra de Borges a través de sus menciones a Hinton; por ejemplo, una referencia tangencial en *Tlön, Uqbar, Orbis Tertius* (cf. Mata, 1999). Borges también menciona a Hinton en un fragmento escrito en 1934 para el diario *Crítica*⁹⁸, titulado precisamente *La cuarta dimensión* (Borges, 1934). En *There are more things*, Borges escribe “los falaces cubos de Hinton o las bien concertadas pesadillas del joven Wells”; y en *Otras inquisiciones* la cuarta dimensión reaparece y el nombre de Kant es mencionado como ejemplo del espíritu platónico que cree en ella. Seguramente Borges no desconocía el *Ensayo para una nueva cosmogonía*, en el que Lugones previene así: “y quizá más pronto de lo que se cree, las especulaciones sobre la cuarta dimensión del espacio puedan darnos un esquema del origen de nuestra geometría”. Muchas otras obras literarias, y de variados géneros, la mencionan: el notable físico escocés James Clerk Maxwell escribió más de un poema en el que la abstracción feliz de una cuarta dimensión aparece explícitamente. Proust, en su obra *En busca del mundo perdido*, también recurre a la idea de lo que hoy llamamos espacio-tiempo (cf. Ibáñez, 2012), misma idea a la que probablemente se refiere Poe cuando, en *Eureka*, afirma que “el espacio y la duración son uno”. En *Hermosos y malditos*, Fitzgerald describe vaivenes tetradimensionales en sus embriagantes descripciones de la embriaguez: “Le pareció [a ella] que todo en la habitación se tambaleaba en grotescos giros cuatridimensionales a través de planos que se cruzaban de un azul nebuloso”. “[L]a geometría del lugar del sueño que vio era anormal, no-euclidiana y olía repugnantemente a esferas y dimensiones distintas de las nuestras”⁹⁹, escribió Lovecraft. En *El fantasma de Canterville* Oscar Wilde escribió: “Evidentemente, no había tiempo que perder, así que, adoptando apresuradamente la cuarta dimensión del espacio como medio de escape, desapareció a través del revestimiento de madera y la casa se quedó en

⁹⁷ Otros notables escritores han tratado el tema de la cuarta dimensión de manera explícita o implícita. Un debate interesante es aquel sobre la influencia que esa idea tuvo en la obra de Virginia Woolf, por ejemplo. Minow-Pinkney formula la pregunta de hasta qué punto es posible decir que el compendio de H. P. Manning (1910), *The Fourth Dimension Simply Explained*, puede considerarse una fuente de inspiración para la teoría del carácter y la transición cultural de Woolf (Minow-Pinkney 2017; cf. Manning 1910; cf. Brodetsky, 1922).

⁹⁸ El texto *La cuarta dimensión*, fue publicado por Borges en julio de 1934 en el semanario Multicolor del diario *Crítica*. El mismo reapareció firmado con el pseudónimo de Daniel Haslam en abril de 1936, con el título *Nota sobre la cuarta dimensión*. Fragmentos del mismo texto, con el agregado de un párrafo introductorio y algunos otros cambios, fueron publicados por Borges en su *Resumen de las doctrinas de Einstein* (Borges, 1986). La fascinación de Borges por la teoría de Einstein y la idea de la cuarta dimensión había surgido una década antes; sus cartas de 1920 lo atestiguan (Zavala Medina, 2012; Cajero Vázquez, 2008; 2014).

⁹⁹ Del original “[T]he geometry of the dream-place he saw was abnormal, non-Euclidean, and loathsomely redolent of spheres and dimensions apart from ours”.

silencio”¹⁰⁰. Y en *Los herederos*, de Conrad y Hueffer, leemos: “Escuché la naturaleza de la cuarta dimensión, escuché que era un plano habitado, invisible a nuestros ojos, pero omnipresente”¹⁰¹. Hacia fines del siglo XIX y comienzos del XX, con el auge de la literatura fantástica, de fantasmas y espiritismo¹⁰², la idea de la cuarta dimensión reapareció en variadas formas y las referencias en ese género se acumulan hasta hacer su enumeración inabarcable. También en otros registros literarios, muchas eran obras que por aquellos años hablaban de las otras posibles formas geométricas del mundo. El encendido discurso de Iván Karamazov es el mejor ejemplo de ello:

[H]a habido, y los hay todavía, geómetras y filósofos, algunos incluso eminentes, que dudan de que todo el universo, todos los mundos, estén creados siguiendo únicamente los principios de Euclides (Dostoievski, *Los hermanos Karamazov*, 1880).

Ya en el siglo XX, otras expresiones artísticas, y ya no solo la literatura, harían propia la idea de la cuarta dimensión como fuente temática. En la pintura vanguardista, tanto la idea de la cuarta dimensión espacial como la idea del tiempo como una cuarta dimensión se volvieron recursos plásticos. El ejemplo más citado es el del cubismo, donde la cuarta dimensión espacial aparece representada. Otro caso es el del futurismo, donde la coexistencia de planos en relación con el paso del tiempo suele señalarse como realización de la idea del espacio-tiempo en el arte visual. Acerca de esto, apreciaba Merleau-Ponty que en la pintura moderna¹⁰³ “el espacio no es ya ese medio de las cosas simultáneas que podría dominar un observador absoluto cercano a todas ellas” (2020 [1948], p. 26). Sobre la pintura moderna habría afirmado también que “entre las partes del espacio, siempre se interpone la duración necesaria para llevar nuestra mirada de una a otra, donde el ser, por consiguiente, no está dado, sino que aparece o se

¹⁰⁰ Del original “*There was evidently no time to be lost, so, hastily adopting the Fourth Dimension of Space as a means of escape, he vanished through the wainscoting, and the house became quite quiet*”.

¹⁰¹ Del original “*It appeared to her that everything in the room was staggering in grotesque fourth-dimensional gyrations through intersecting planes of hazy blue*”.

¹⁰² Es notable el caso del escritor y místico Piotr Ouspensky, quien ahondó en la idea de nuestra realidad como vivida por seres en un espacio tetradimensional.

¹⁰³ Según Merleau-Ponty, las investigaciones del arte moderno (de su tiempo, entendiendo por eso el arte que nacía a partir de las últimas dos décadas del siglo XIX) concuerdan curiosamente con las de la ciencia moderna. Si la ciencia clásica está fundada en la distinción clara entre el espacio y el mundo físico, según la cual el espacio es ese medio homogéneo e inmutable en el que las cosas están distribuidas según sus tres dimensiones, en la física moderna esto no es así. En la física moderna se entiende el espacio como una geometría no-euclidiana, con una curvatura propia. La pintura moderna acompaña esta idea, opina Merleau-Ponty. Mientras en la pintura clásica se distingue el dibujo del color, Cézanne, por el contrario, afirma que a medida que se pinta se dibuja; los colores ya no están limitados al interior de las figuras, sino que son la figura misma, el dibujo mismo, de igual manera a cómo los cuerpos están en el espacio a la vez que le dan a este su forma, su curvatura.

transparenta a través del tiempo” (p. 26). Podemos recordar aquí también el *Manifeste Dimensioniste*, redactado en París en 1936 por el húngaro Charles Sirató, y que fue firmado por reconocidos artistas, como Arp, Picabia, Kandinsky y Duchamp, en el que se establece la extensión del arte a la cuarta dimensión, mencionando el nombre de Minkowski en referencia al espacio-tiempo tetradimensional. Maurice Princet, quien llegó a ser apodado “*le mathématicien du cubisme*”, contribuyó a difundir las ideas matemáticas sobre la cuarta dimensión en los grupos vanguardistas de París de los que formaban parte Picasso, Duchamp, Apollinaire, entre otros. Apollinaire también dedicó conferencias acerca de la relación entre el cubismo y las estructuras geométricas generalizadas. En 1910, el artista Max Weber escribió un artículo titulado *En la cuarta dimensión desde un punto de vista plástico*: “En artes plásticas, creo yo, existe una cuarta dimensión (...)”, comienza su artículo. También tituló Weber alguna de sus obras en consonancia, *e.g. Interior de la cuarta dimensión* de 1913. Un debate entre Matiouchine y Malévich¹⁰⁴ atestigua sobre la influencia que las ideas de la física sobre la cuarta dimensión llegaron a tener sobre la pintura cubista. También en el caso de obras surrealistas la cuarta dimensión ha estado presente; en este caso, la obra de Salvador Dalí *Crucifixion (Corpus Hypercubus)*, de 1954, es el ejemplo más explícito. Artistas abstractos también acusaron la influencia de la idea de la cuarta dimensión en sus obras, sobre todo en referencia al tiempo. Entre los artistas abstractos de la escena en Argentina podemos mencionar a Julián Althabe; también es interesante mencionar el peculiar caso de Esteban Lisa, quien en la década de 1950 escribió un libro titulado *Kant, Einstein, Picasso* y subtítulo *Las cuatro dimensiones*, en el que expone ideas personales sobre el diálogo entre el arte, la filosofía y la ciencia moderna; también el tajante Lucio Fontana, quien afirmó: “No quiero hacer una pintura; quiero abrir el espacio, crear una nueva dimensión, vincular el cosmos, ya que se expande sin cesar más allá del plano de la imagen”. Por último, en relación con la representación espacial de la dimensión temporal en el arte visual es imposible no mencionar la cronofotografía de Étienne-Jules Marey, otra de las expresiones plásticas de la dimensión tiempo. La cuarta dimensión es sugerida, también, por las contorsiones imposibles a las que se somete al espacio tridimensional en los escorzos de Escher; se manifiesta en la incomodidad que sentimos ante esas geometrías prohibidas; es el espacio al que nos empuja la necesidad de darles sentido; la cuarta dimensión es un tácito inaccesible que, intuimos, habilitaría las escenas que en nuestro mundo jamás son.

¹⁰⁴ La importancia de la cuarta dimensión del espacio para Kazimir Malévich ha sido reconocida por los estudiosos de la vanguardia rusa. Malévich mismo lo dejó claro al referir a la “cuarta dimensión” en los títulos o subtítulos de algunas de sus obras (cf. Dalrymple Henderson, 2013; Dalrymple Henderson, 2018).

Desarrollo de la geometría no-euclidiana y la n -dimensional en matemática (digressio)

En la matemática, el desarrollo de la geometría n -dimensional acompañó al de las geometrías no-euclidianas. En 1813 Gauß descubre las primeras estructuras geométricas no-euclidianas consistentes. En 1829, Lobachevsky descubre¹⁰⁵ la geometría hiperbólica, y en 1832 Bolyai arriba¹⁰⁶ a los mismos resultados de manera independiente. La geometría hiperbólica había sido anticipada, aunque tímidamente, por los trabajos de Taurinus y Schweikart en torno a los años 1820s (*cf.* Sommerville, 1910), e incluso tuvo anticipos notables en el siglo XVIII (*cf.* Lambert 1766; *cf.* Papadopoulos et al., 2014). La formulación sistemática de la geometría no-euclidiana se logró con en el tratado de 1854 de Riemann, que habilita la versión n -dimensional de la misma. También en la física y la filosofía pre-Einsteinianas la idea de un espacio físico no-Euclidiano encontró sus ecos: Frege, Helmholtz, Mach, Schubert, Poincaré y Peirce¹⁰⁷ son quizá los casos más notables.

La historia del desarrollo de la geometría multidimensional se encuentra resumida en detalle en la literatura (Cajori, 1926; Hinton, 1980; Hinton, 1993), donde también se discute esta en relación con la física del siglo XIX (Bork, 1964). Aún más profusa es la literatura sobre la historia de las geometrías no-euclidianas (Sommerville, 1910; Santaló, 1966; Torretti, 1978; Millman *et al.*, 1981; Rosenfeld, 1988; Gray, 1989; Stillwell, 1996; Greenberg, 2007; Bonola, 2012). No es nuestra intención abundar aquí en detalles históricos, sino solo restringirnos a mencionar los avances más importantes a efectos de poner en contexto el estado del arte de la geometría en los tiempos de Kant. Solo así es posible apreciar correctamente muchas de sus afirmaciones, como la de la imposibilidad de nuestra alma de pensar otras formas geométricas. Al final de este trabajo ahondaremos en los desarrollos de las teorías n -dimensionales de la física contemporánea y cómo se entienden las fuerzas fundamentales de la naturaleza en ese contexto. Veremos las ideas del joven Kant retornar con renovadas formas de la mano de la ciencia actual: el carácter emergente del espacio, la existencia de otros mundos en los que el

¹⁰⁵ Los primeros trabajos escritos de Lobachevsky son, en realidad, de 1826, y aparecieron en las memorias de una conferencia en la Universidad de Kazán; pero el manuscrito se ha perdido (Santaló, 1966).

¹⁰⁶ Para ser más precisos, Bolyai arriba aparentemente a esos resultados en 1823, pero recién se publicaron nueve años más tarde (Santaló, 1966).

¹⁰⁷ Charles Sanders Peirce es conocido por nosotros como uno de los fundadores del pragmatismo y por ser el padre de la semiótica moderna. Su nombre y el de Saussure se asocian indisolublemente con los fundamentos de la teoría de los signos. Menos conocida es la teoría de Peirce sobre el espacio, una teoría que, a pesar de tener detalles que vistos desde la actualidad podrían ser corregidos, es de una modernidad que sorprende. Peirce pensó seriamente en la naturaleza del espacio físico y en las distintas formas geométricas que este podría adoptar. Incluso, y lo que es acaso lo más sorprendente, Peirce se mostró convencido de que el espacio físico era no-euclidiano, y pensó en cómo observar este aspecto del espacio, (*cf.* Dipert, 1777; Dipert 1978).

número de dimensiones es otro y la contingencia de las leyes de la naturaleza aparecen en relieve en el concierto de ideas de la física contemporánea¹⁰⁸.

Vigencia y originalidad de la noción de dimensionalidad en el ensayo kantiano

La originalidad con la que Kant trata el problema de la dimensionalidad del espacio no pasó desapercibida, en especial entre geómetras y físicos contemporáneos. De hecho, es sencillo apreciar que los elogios a la genial intuición de Kant acerca de la relación íntima entre fuerzas fundamentales de la naturaleza y dimensionalidad del espacio vienen tanto de parte de la comunidad científica como de la filosófica. Esto se debe, acaso, a que lo más sorprendente de las ideas de Kant acerca de la dimensionalidad del espacio es que encuentren estas tanta resonancia en las teorías más modernas de la física, como la teoría de supercuerdas.

Hubo filósofos que se detuvieron a pensar el significado que se deriva de la compatibilidad entre las ideas de Kant sobre la dimensionalidad del espacio y la forma en la que las modernas teorías de la física tratan la cuestión. Por ejemplo, en un interesante artículo de 2015, que ya mencionamos, De Bianchi y Wells discuten con detenimiento las principales características del argumento de Kant sobre la tridimensionalidad del espacio. Hacen hincapié en el carácter contingente que, según el argumento kantiano, la tridimensionalidad del espacio adquiere. De Bianchi *et al.* arguyen que Kant combina diferentes enfoques, incorporados estos en las partes *a priori* y *a posteriori* del argumento, para arribar a una conclusión coherente. Enfatizan que estos enfoques kantianos pueden relacionarse con los puntos de vista actuales de la explicación, y dicen que esto les permite pensar en una “contingencia necesaria” de la dimensionalidad del espacio, sin apelar a argumentos teológicos o teleológicos. De Bianchi y Wells concluyen que en la estructura del argumento kantiano “reside una clara alternativa a los argumentos antrópicos que a menudo se informa para justificar y explicar el hecho de que el espacio es tridimensional” (*cf.* De Bianchi *et al.*, 2015).

Al final de este trabajo discutiremos cómo las teorías actuales de la física, entendiendo por estas las teorías formuladas a partir de la segunda mitad del siglo XX, adoptan argumentos de contingencia y de necesidad en un esquema conjunto, entrelazándolos. Por su parte, las teorías

¹⁰⁸ Otros autores han señalado ya la vigencia de los principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza de Kant en el marco de la física moderna. Por ejemplo, Pringe señala la actualidad de la metafísica kantiana de la naturaleza en el contexto de la teoría cuántica (*cf.* Caimi, 2014, p. 373). En este trabajo no nos dedicaremos al problema de la mecánica cuántica y su relación con la filosofía crítica de Kant, sino que nos enfocaremos en otro aspecto, que podemos considerar complementario: estudiamos cómo la descripción del espacio-tiempo según las teorías de la física de los últimos treinta años también pone de manifiesto la actualidad de la metafísica kantiana de comienzos del período precrítico.

físicas de la primera mitad del siglo XX, que vendrían a habilitar lo que décadas después de convertirían en las teorías científicas que hoy consideramos promisorias, ensayaban ya sobre la multidimensionalidad del mundo, y lo hacían desde dos perspectivas diferentes: por un lado, estaban las teorías como la de Kaluza (1921), que contemplaban la existencia de dimensiones adicionales porque en ello iba una “mejor explicación” de las leyes de las fuerzas naturales. Por el otro, estaban los ensayos como el de Ehrenfest (1918), que pretendían argumentar en favor de la tridimensionalidad del espacio (*i.e.* la tetradimensionalidad del espacio-tiempo) en términos del “principio antrópico”. Volveremos sobre esto al final de esta tesis. Ahora, de momento, regresemos al siglo XVIII a efectos de poder apreciar la originalidad del tratamiento que Kant hace sobre la dimensionalidad del espacio. Para ello, continuemos con nuestra comparación entre el análisis que de la dimensionalidad hace Kant en su libro sobre las fuerzas vivas y las consideraciones que otros renombrados filósofos de la época tenían al respecto. Ya vimos que filósofos del siglo XVII habían discutido el problema de la contingencia de la dimensionalidad del espacio; Bayle y Leibniz, entre ellos. En el siglo XVIII, otros, como Rudjer Josip Bosković¹⁰⁹, cuyo análisis de las fuerzas es uno de los más interesantes¹¹⁰ del siglo XVIII, también reparaban en la importancia de la dimensionalidad del espacio para entender las leyes físicas que gobiernan las fuerzas de la naturaleza. Bosković, en su *Teoría de la filosofía natural*, comienza observando una verdad sencilla, que expone así:

[E]n física, se considera que un cuerpo está dotado de tres especies de extensión [tres dimensiones]; una superficie, último límite real de un cuerpo, dotado de dos; una línea, el límite real de una superficie, con uno; y el límite indivisible de la línea, ser un punto. En ambas materias, [geometría y física], una es un límite de la otra, y no una parte de ella; y forman cuatro tipos diferentes. No hay nada sólido en una superficie; pero eso no significa que tampoco tenga nada de superficial; no, ciertamente tiene partes y se puede aumentar o disminuir. De la misma manera, una línea no es nada cuando se compara con una superficie, sino algo definido cuando se compara con una línea; y, por último, un punto es algo definido en su propia clase, aunque nada en comparación con una línea (Bosković, 1922 [1758], p. 49).

¹⁰⁹ Rudjer Josip Bosković (1711-1787) fue un físico, astrónomo, matemático, filósofo, escritor y teólogo de la República de Ragusa, quien era también sacerdote jesuita y un reconocido erudito. Su apellido suele aparecer también escrito Boskovich.

¹¹⁰ De especial importancia es el análisis que Bosković hizo sobre la necesidad de la hipótesis de continuidad en la acción de las fuerzas sobre la materia para las conclusiones del determinismo laplaciano de los sistemas dinámicos.

Esta verdad le permite sentar las bases para hablar de la imaginación de una cuarta dimensión y sobre la relevancia de la multidimensionalidad para entender la forma en la que actúan las fuerzas:

El segundo punto es evidente por el hecho de que, si todos los puntos que actúan están todos en el mismo plano, y el punto para el que se requiere la fuerza resultante, se encuentra en cualquier línea recta situada en ese plano, incluso entonces todas las relaciones entre las distancias de los puntos restantes, así como entre sus direcciones, serán totalmente diferentes a las de cualquier línea recta situada en el mismo plano, como se puede ver fácilmente. Por tanto, para cualquier punto del espacio elegido al azar habría una fuerza correspondiente; y una cuarta región, o dimensión, además de la longitud, el ancho y la profundidad, sería necesaria para trazar a través de cada punto del espacio líneas rectas proporcionales a estas fuerzas, cuyos extremos las líneas rectas darían un lugar continuo que determinara la ley de las fuerzas.

Y agrega:

Pero lo que no puede lograrse mediante el uso de la geometría, podría lograrse imaginando otra, una cuarta dimensión [*assequeretur quarta alia dimensio mente concepta*] (como si se imaginara todo el espacio lleno de materia continua, que en mi opinión solo puede ser una ficción mental); y esto sería de diferente densidad, o diferente valor, en todos los puntos del espacio. Entonces, la diferente densidad, o valor, o algo por el estilo, podría representar la ley de las fuerzas que le corresponden, que de hecho son proporcionales a ella. Pero aquí de nuevo, para encontrar la dirección de la fuerza resultante, la resolución en dos fuerzas, una a lo largo de la línea recta que pasa por el punto dado, y la otra perpendicular a él, no sería suficiente. Se requerirían tres partes resueltas, todas en tres direcciones dadas, o a lo largo de líneas rectas que pasen por tres puntos dados, o definidas por alguna otra ley fija. Así, se requerirían tres regiones de este tipo en el espacio que poseyeran alguna cuarta dimensión o calidad; y estos definirían, mediante tres leyes ultrageométricas de este tipo, la ley de la fuerza resultante tanto en lo que respecta a la magnitud como a la dirección (Bosković, 1922 [1758], p. 161).

Rescatamos de esto la frase siguiente: “[L]o que no puede lograrse mediante el uso de la geometría, podría lograrse imaginando otra, una cuarta dimensión (...) y esa sería de una densidad diferente, [que] podría representar la ley de las fuerzas que le corresponden”. Vemos en esta afirmación una cierta ambigüedad acerca del orden ontológico entre dimensionalidad y

fuerza. La aserción de que un aspecto de un mundo tetradimensional podría “representar” una ley funcional que gobierne una fuerza que le esté en “correspondencia” no permite establecer con exactitud cuál elemento está primero en esta jerarquía, si la fuerza [o la dimensionalidad] del espacio. Sin entrar en un análisis hermenéutico innecesario de la afirmación de Bosković, podemos concluir que este no parece expresar la jerarquía ontológica de esos elementos con la claridad con la que sí lo hace Kant.

IV. SOBRE LA EXISTENCIA DE MUCHOS MUNDOS

La plausibilidad de la existencia de muchos mundos y la dimensionalidad

Volvamos ahora a la cuestión de cómo el carácter contingente de la tridimensionalidad del espacio le permite a Kant pensar en la existencia de otros mundos (principio antrópico kantiano e hipótesis kantiana del multiverso). Para eso, retomemos las ideas de Leibniz sobre la dimensionalidad. Leibniz dejaba en claro su punto cuando afirmaba que la cuestión de la contingencia de las verdades naturales no se dirime en un único plano. Diría Leibniz que, mientras que no es imposible pensar en árboles que engendran animales en algún planeta lejano, sí lo es dudar de la necesidad geométrica de que las dimensiones del espacio son tres. Leibniz considera que la idea de que la dimensionalidad del espacio comprende una razón de ser es un exceso de interpretación de la idea de la libertad que tiene Dios de elegir. Kant, en marcado contraste, sí piensa en la posibilidad de existencia de esos mundos multidimensionales ante la imposibilidad de encontrar una razón para la tridimensionalidad. Decíamos que, para Kant, la contingencia de la ley de la inversa del cuadrado parecía implicar la arbitrariedad de la dimensionalidad del mundo. Es, precisamente, la jerarquía ontológica de su cosmología, que antepone la fuerza al espacio, lo que habilita a Kant a considerar la contingencia de la tridimensionalidad del espacio. Eso lo lleva a afirmar la posibilidad de existencia de mundos con otros números de dimensiones:

Si es posible que existan extensiones de diferentes dimensiones, entonces también es muy probable que Dios las haya producido realmente en alguna parte. Porque sus obras tienen toda la grandeza y diversidad que pueden contener. Espacios de este tipo no podrían relacionarse con los de naturaleza completamente diferente; por tanto, esos espacios no pertenecerían en absoluto a nuestro mundo, sino que constituirían sus propios mundos. Mostré arriba que, en un sentido metafísico, más mundos podrían existir juntos (Kant, 1749, § 11; Watkins, 2015, § 11, p. 28).

Dios debió haber realizado esos mundos multidimensionales en alguna parte, afirma Kant. Su capacidad para hacerlo, decíamos, viene dada de la contingencia de la tridimensionalidad del espacio. Sin un argumento que demuestre a la tridimensionalidad como *necesaria*, en el sentido de lógicamente necesaria, entonces debe considerarse posible, en un sentido estrictamente metafísico, que esas otras dimensiones existan. Ya había dicho que el argumento de Leibniz para demostrar esa necesidad lógica resultaba inválido por circular. Kant argumenta así:

Porque si el único tipo posible de espacio es tridimensional, entonces sería posible que los otros mundos que supongo existen aparte de aquel en el que existimos, estuvieran conectados espacialmente con el nuestro, porque los espacios son de uno y del mismo tipo. [L]a pregunta sería por qué Dios separó un mundo del otro, ya que ciertamente habría impartido una mayor perfección a su obra al vincularlos; porque cuanto más conexión hay, más armonía y acuerdo hay en el mundo, mientras que las brechas y las divisiones violan las leyes del orden y la perfección. Por tanto, no es probable (aunque es inherentemente posible) que existan muchos mundos, a menos que sean posibles los muchos tipos de espacio que acabo de mencionar (*ibid.*)

Estima que la mayor armonía del mundo se da cuando sus partes son conexas. Esto lo lleva a pensar que, muy probablemente, de existir muchos mundos tridimensionales, estarían estos causalmente conectados, ya que si no lo estuvieran habría un caso abierto contra la perfección de la obra divina, y entonces serían, en virtud de esa misma conexión, un único mundo. No obstante, la imposibilidad que veía Kant para conectar espacios de diferentes dimensionalidades lo llevaba a ver en ello una forma, acaso la única, de que diferentes mundos podrían existir. Y remarquemos que, para Kant, “mundos diferentes” significa mundos que no se afectan mutuamente, *i.e.* conjuntos de sustancias que, aunque pueden interactuar entre componentes de cada conjunto, no tienen la capacidad de hacerlo entre conjuntos distintos. Esos conjuntos, esos mundos, concluye Kant, han de ser de distintas dimensionalidades. En otras palabras, la diferencia en la dimensionalidad de los mundos es el único modo en el que Kant concibe la pluralidad de estos. Solo pensando en mundos de dimensionalidad distinta le es posible aceptar su multiplicidad, que es decir su desconexión, sin que esto atente contra la perfección de la obra de Dios.

Sobre estas ideas, de una osadía metafísica evidente, dice luego:

Estos pensamientos pueden servir como esquema para la reflexión que me reservo el derecho de hacer. Sin embargo, no puedo negar que las comunico como se me

ocurren y sin prestarlas ciertamente mediante una investigación más extensa. Por tanto, estoy dispuesto a repudiarlos tan pronto como un juicio más maduro me revele su debilidad (*ibid.*)

No son pocas las veces en las que, como en esta, Kant se muestra cauteloso acerca de alguno de sus argumentos y declara su disposición a rever algunas de las conclusiones a las que sus reflexiones lo han llevado. Esta cautela no es un rasgo de inseguridad en su juventud, sino un gesto que le reconoceremos también en su obra madura, como en *Principios metafísicos*. Es esa una fórmula que emplea Kant en varias oportunidades en que es consciente del carácter especulativo de algunas de sus cogitaciones y decide salvaguardar el resto de sus conclusiones remarcando la independencia entre varios de sus argumentos.

Continuidad de la hipótesis de muchos mundos

Más allá de la cautela acerca de lo que podríamos considerar los aspectos más especulativos y arrojados de su trabajo de 1747, años más tarde Kant mantenía estas posiciones: en torno a 1755, en su tesis *Principiorum primorum cognitionis metaphysicae nova dilucidatio, i.e. la Nueva elucidación*, Kant repetía el argumento: “*Hacque ratione plures esse posse mundos etiam sensu metaphysico (...) haud absonum est*” (Kant I., 1755c, prop. XIII, uso 2); es decir, no es absurdo, en sentido metafísico, que haya muchos mundos posibles. También en su disertación inaugural, *De mundi sensibilis atque intelligibilis forma et principiis* (1770), afirmaba Kant que otros mundos podían existir. Incluso afirma allí que la hipótesis de muchos mundos es posible tanto conceptualmente como metafísicamente, y aprovecha para criticar la afirmación de Wolff de la imposibilidad de la multiplicidad del mundo debido a que una sola causa debe ser la que existe:

Si hubiera varias causas primarias y necesarias junto con sus efectos, sus obras serían mundos, no un [único] mundo, ya que de ningún modo estarían conectados en un todo (...) Varios mundos reales desconectados no son, por lo tanto, imposibles (...) [V]arios mundos desconectados serán posibles en el más estricto sentido metafísico (Kant, 1894 [1770], sec. VI, §21, pp. 71-72 [149-150]; cf. Kant 2014b [1770]).

La afirmación de que si hubiera varias causas primarias y necesarias entonces existirían muchos mundos, no solo uno, expresa el juicio kantiano de que todo lo que existe es consistente y que todo lo que es consistente es realizado. Vemos, así, que la hipótesis de la multiplicidad de mundos se mantuvo a lo largo de todo el período precrítico, desde 1747 hasta 1770; y si bien esta cuestión no se encontrará entre los temas de aplicación de la filosofía

crítica de Kant, esto se debe exclusivamente a que esta última hace foco en la esfera de lo cognoscible, en el sentido kantiano del término; pero no se debe en absoluto a que exista una incompatibilidad demostrada entre el sistema trascendental y la posibilidad metafísica de la existencia de otros sistemas de mundo¹¹¹.

Refutación al argumento de Deleuze sobre la dimensionalidad en el sistema kantiano

Estas continuidades en las convicciones metafísicas de Kant, que, como acabamos de mostrar, se extienden desde sus primeros escritos hasta 1770, nos sirven como refutación al juicio deleuziano que mencionamos al comienzo de este trabajo: “La idea de un espacio que tiene n dimensiones implica un sistema de conceptos que no tiene nada que ver con el sistema kantiano de conceptos y de problemas”. La cita exacta es:

Siempre se nos podrá decir que existen teorías en las que hay espacios a n dimensiones o teorías en las que el tiempo posee varias dimensiones. Yo creo que tal cosa tiene poco interés porque la idea de espacio a n dimensiones implica ya un sistema de problemas y de conceptos que no tiene nada que ver con el sistema de conceptos y de problemas de Kant (Deleuze, 2008, p. 39).

Esto corresponde a un fragmento de las lecciones sobre *Kant y el tiempo* que Deleuze impartió entre marzo y abril de 1978 en la Universidad de Vincennes. Es importante decir que en ese momento Deleuze se encontraba tratando el problema kantiano de “las contrapartes incongruentes”, que suele ejemplificarse con el argumento de la imposibilidad de superposición de dos objetos que son uno la imagen especular del otro, *e.g.* el célebre ejemplo de Kant de la mano izquierda y la mano derecha. Dada la relevancia que el problema de las contrapartes incongruentes adquiere en relación con la dimensionalidad, le dedicaremos la próxima sección a tratarlo detenidamente. En esta subsección nos enfocaremos en algo específico: nos detendremos en lo que concierne a la conexión entre ese problema y la afirmación de Deleuze citada arriba. En relación con esto, es importante advertir que los

¹¹¹ Quizá quepa recordar que la hipótesis de muchos mundos aparezca en su disertación de 1770, donde, según coinciden los estudiosos, la filosofía crítica ya se perfilaba.

ejemplos de objetos quirales¹¹² (de χειρ) o enantimorfos¹¹³ (de ἐναντίος) que es imposible yuxtaponer es presentado por Kant en años anteriores a la *Crítica*. Más precisamente, lo trata Kant hacia 1768 en su *Von dem ersten Grunde des Unterschiedes der Gegenden im Raume*, [*La razón primera razón de la diferencia entre direcciones en el espacio*]. Ese texto es anterior a *Dissertatio de mundi sensibilis atque intelligibilis forma et principiis*, de 1770; y, como demostramos arriba, Kant mantenía hacia esas fechas sus convicciones metafísicas intactas, y en especial su convicción acerca de la plausibilidad de existencia de otros mundos. Mostramos también que la multiplicidad de mundos es, para Kant, una cuestión inescindible del problema de la multidimensionalidad del espacio (solo si los otros mundos son de una dimensionalidad distinta de tres entonces pueden estos coexistir con nuestro mundo siendo *otros*, aparte del nuestro). Por lo tanto, resulta extraño afirmar que el mismo Kant que se encontraba interesado en la posibilidad de la existencia de otros mundos sea quien presenta un sistema de conceptos que nada tiene que ver con espacios de otro número de dimensiones. Tomada en un sentido literal, la afirmación de Deleuze de que Kant – al menos el Kant del período al que él se estaba refiriendo– encuadraba su filosofía en sistema de conceptos y de problemas que nada tiene que ver con la idea de espacios en un número diferente de dimensiones es insostenible. Solo circunscribiendo el análisis a ciertos aspectos específicos de la filosofía kantiana esa afirmación podría cobrar sentido. De hecho, la posibilidad de pensar que el espacio puede tener otra dimensionalidad es esencial para la metafísica del Kant precrítico, en cuanto es esa posibilidad lo que lo habilita a concluir la multiplicidad de mundos sin que se atente con ello contra la idea de perfección en la creación divina; pensar en otras dimensionalidades es lo que le permite expresar el carácter contingente y arbitrario de las leyes naturales; es lo que le indica el orden adecuado en su ontología entre substancia, fuerza y espacio. Desde esta perspectiva, creemos que la idea de un espacio a n dimensiones es lo que, en definitiva, posibilita el sistema de problemas y de conceptos de Kant.

¹¹² El adjetivo “quiral”, acuñado por Lord Kelvin en 1893 durante una conferencia en Oxford, refiere a un objeto cuya imagen especular no es alcanzable mediante rotaciones del mismo; por ejemplo, una mano derecha es quiral en cuanto su imagen especular, una mano izquierda, es imposible de ser obtenida mediante una rotación de la primera en nuestro espacio tridimensional. De hecho, “quiral” (en inglés, “chiral”) viene de la palabra griega χειρ, que justamente significa “mano”. La naturaleza “quiral” de un objeto depende de la dimensionalidad del espacio en el que este existe; por ejemplo, podemos imaginar un triángulo escaleno que, pensado en el espacio bidimensional, es imposible de ser transformado mediante una rotación en aquél que fuera su imagen especular, mientras que, si se habilitase una tercera dimensión, la transversal al papel en el que ha sido dibujado, sí sería posible transformar de manera continua en su reflejo. Le debemos la formalización y generalización de esta idea al matemático y astrónomo alemán August Möbius (1790-1868). Volveremos sobre esto más adelante.

¹¹³ Se dice de dos objetos que son “enantimorfos” si están relacionados entre sí por una reflexión especular. La palabra enantimorfo proviene de la palabra griega *enantio*, opuesto, y de la palabra *morphé*, forma.

Más adelante, en el período crítico, la multidimensionalidad del mundo y la posibilidad de la multidimensionalidad del espacio ya no estarán entre los temas filosóficos de Kant; pero es importante advertir que esto no significa que sus meditaciones sobre este problema en sus primeros años no hayan sido cruciales para su filosofía crítica. De hecho, la tridimensionalidad del espacio sí es importante en el sistema crítico (aunque no lo sea la pregunta sobre otras posibles dimensionalidades); por ejemplo, en el tratamiento del problema de la materia, donde la tridimensionalidad del espacio desempeña un rol importante. Y eso, sin duda, se vio habilitado por las meditaciones sobre mundos pluridimensionales en su juventud: solo habiendo visitado ese mundo multidimensional pudo el pensamiento de Kant haber logrado la perspectiva necesaria.

Comentario sobre la conexión de espacios de diferente dimensionalidad

La imposibilidad de conexión entre espacios de diferente dimensionalidad es un punto crucial en la metafísica que Kant plantea en su primer libro, en cuanto esto es lo que habilita la posibilidad de existencia de muchos mundos. Sin esa desconexión, la armonía del mundo demandaría que esos otros mundos se realizaran en otro “lugar” del mundo y no en “otro mundo”. Debido a esto, encontramos importante hacer la aclaración siguiente: la conexión de espacios con dimensionalidad distinta, en la que hay una transición suave entre un espacio de dimensión n y un espacio de dimensión mayor o menor, es perfectamente posible desde el punto de vista geométrico. No es difícil imaginar, por ejemplo, la transición de un plano que suavemente se convierte en una recta que sale de él, alejándose transversalmente hasta lograr ser una recta infinitamente delgada (como si se tratase de una trompeta que se vuelve infinitamente delgada en su embocadura e infinitamente amplia en su pabellón). La imposibilidad que Kant encontraba para imaginar esas transiciones dimensionales no se debe a que no imaginara él tales ejemplos (como el ejemplo simple de nuestra trompeta) sino a que los mismos siempre eran pensados como embebidos en un espacio mayor, un espacio ambiente tridimensional, y luego aparecía la pregunta de por qué no incursionar en este, que se volvería, así, *el* espacio, nuevamente uno y nuevamente de una dada dimensionalidad (mayor a n). La posibilidad de entender un espacio geométrico intrínsecamente, es decir, sin pensarlo inmerso en otro, se nos presentaría recién hacia mediados del siglo XIX, y en especial a partir del trabajo de Riemann. Es por esto que Kant expresaba esa imposibilidad de conexión de espacios de distinta dimensionalidad.

Una lectura contemporánea acerca de la concurrencia de espacios de distinta dimensionalidad que hace referencia a la obra de Kant y que podríamos mencionar aquí más por su cualidad de ser conocida que por su importancia es un fragmento del *Ousia y Gramme* de Jacques Derrida (2017, p. 63), donde, luego de una discusión sobre los espacios de distinta dimensionalidad que son subespacios propios del espacio tridimensional que habitamos, se exhorta a dejar de lado, a pesar de su interés, “la discusión de los conceptos kantianos que se entrelaza con [la] demostración” de una serie de relaciones entre el punto, la línea y la superficie. Luego de preguntarse “¿cómo reciben la diferencia, la determinación, la cualidad, el espacio, y la naturaleza, en su inmediatez indiferenciada?” y afirmar que “[d]iferenciación, determinación, cualificación no pueden ocurrir al espacio puro sino como negación de esa pureza original y de este primer estado de indiferenciación abstracta, en el que consiste propiamente la espacialidad del espacio”, Derrida escribe: “La espacialidad pura se determina al negar propiamente la indeterminación que la constituye, es decir, negándose a sí misma (...) La primera negación espacial del espacio es el punto. (...) El punto es ese espacio que no ocupa espacio, ese lugar que no tiene lugar; suprime y reemplaza el lugar, ocupa el lugar del espacio que niega y conserva. Niega espacialmente el espacio. Es su primera determinación. (...) La negación de la negación, la negación espacial del punto es la línea. (...) El espacio se ha convertido, pues, en concreto por haber retenido en sí lo negativo. Se ha hecho espacio perdiéndose, determinándose, negando su pureza de origen, la indiferenciación y la exterioridad absolutas que la constituían en su espacialidad” (pp. 75-76). Derrida, desplegando su dialéctica peculiar, en la que los opuestos entran dotados de jerarquía relativa, afirma que “la línea no se compone de puntos, puesto que [la línea] está hecha de puntos negados”. Si bien uno podría forzar una relación entre estas consideraciones y ciertas afirmaciones de Kant (1749) en las que la coexistencia de espacios de diferente dimensionalidad es negada como posibilidad, sería ocioso hacerlo en este caso dado lo breve e impreciso del texto dedicado a la dimensionalidad en *Ousia y Gramme*. Lo mencionamos aquí solo como muestra de la relevancia que otros filósofos del siglo pasado¹¹⁴ sí supieron ver en el problema de la dimensionalidad del espacio en Kant.

¹¹⁴ También en otros filósofos del siglo XX, incluso entre los más inesperados, puede uno leer entre líneas la ponderación de la pregunta kantiana sobre la dimensionalidad del espacio. Por ejemplo, en *El mito de Sísifo* Camus escribe: “Juzgar si la vida vale o no vale la pena de vivirla es responder a la pregunta fundamental de la filosofía. Las demás, si el mundo tiene tres dimensiones, si el espíritu tiene nueve o doce categorías, vienen a continuación”.

V. EL PROBLEMA KANTIANO DE LAS DIRECCIONES EN EL ESPACIO

El problema de las contrapartes incongruentes

Volvamos ahora al problema de las contrapartes incongruentes y ahondemos en él. Comencemos diciendo que la cuestión de las contrapartes incongruentes se relaciona muy estrechamente con la cuestión de la dimensionalidad, aunque lo hace de una manera que Kant solo pudo haber vislumbrado. Esto se debe a que no fue sino hasta 1827 que Möbius demostró la íntima conexión que existe entre la quiralidad o enantiomorfía (*i.e.* la relación especular entre un par de objetos) y la operación de rotación en un hiperespacio de dimensión mayor. En el contexto del argumento kantiano de las contrapartes incongruentes esto fue expuesto enérgica aunque sucintamente por Wittgenstein en el *Tractatus* (Wittgenstein, 1921, TLP: 6.36111) y nosotros desarrollaremos ese argumento en detalle más abajo. Antes de eso, detengámonos a recordar el problema tal como lo expresa Kant. Escribe Kant:

Llamaré a un cuerpo que es exactamente igual y similar a otro, pero que no puede encerrarse en los mismos límites que ese otro, su contraparte incongruente. Ahora, para demostrar la posibilidad de tal cosa, tomemos un cuerpo que consiste, no en dos mitades que están dispuestas simétricamente con respecto a un solo plano de intersección, sino más bien, digamos, en una mano humana. (...) Supongamos que se adopte el concepto que sostienen muchos filósofos modernos, especialmente los filósofos alemanes, según el cual el espacio consiste simplemente en la relación externa de las partes de la materia que coexisten entre sí. Se seguiría, en el ejemplo que hemos aducido, que todo el espacio real sería simplemente el espacio ocupado por esta mano. Sin embargo, no hay diferencia en la relación de las partes de la mano entre sí, y es así si se trata de una mano derecha o una mano izquierda; por lo tanto, se seguiría que la mano estaría completamente indeterminada con respecto a tal propiedad. En otras palabras, la mano encajaría igualmente bien a ambos lados del cuerpo humano; pero eso es imposible (*cf.* Kant, 1992 [1768], pp. 365-372).

El problema de las contrapartes incongruentes puede expresarse como las conclusiones de carácter ontológico acerca del espacio absoluto que derivan de la imposibilidad inherente para yuxtaponer en él cuerpos de quiralidad opuesta. Esto, decíamos, es algo que Kant consideró hacia 1768 en *La razón primera de la diferencia entre direcciones en el espacio* (*cf.* Walford *et al.*, 1992, pp. 365-372), y es un tema que ha sido revisitado muchas veces y desde muchas perspectivas diferentes (*cf.* Iommi Amunátegui *et al.*, 1985; Van Cleve *et al.*, 1991; Olesti, 1991; Rusnock, 1995; Walford, 2001; Passos Severo, 2005; Backer, 2012; Font, 2016). Como

señala Font, Kant dio cuatro versiones diferentes del argumento de las contrapartes incongruentes: la primera, en 1768, en la *La razón primera razón de la diferencia entre direcciones en el espacio*; la segunda, en la sección en el apartado §15C de la sección III de su *Dissertatio* de 1770; la tercera en el apartado §13 de los *Prolegómenos para toda metafísica futura*, y la cuarta en el capítulo I de *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* (2016, pp. 45-46).

Podemos resumir el argumento kantiano de 1768 en torno a las contrapartes incongruentes de la siguiente manera: partamos de la afirmación de que un cuerpo en el espacio es dextrógiro (de quiralidad derecha) o levógiro (de quiralidad izquierda) ya por alguna razón inherente al cuerpo mismo, ya por alguna relación con los otros cuerpos que lo circundan. Ahora bien, si dada la simetría ante las direcciones del espacio se acepta que no existe ninguna propiedad interna que haga a un cuerpo intrínsecamente derecho o izquierdo, y siendo que es posible concebir un cuerpo con una quiralidad definida incluso en ausencia de otros cuerpos, entonces se concluye que debe existir algo más que permita definir, mediante relaciones con él, la cualidad de dextrógiro o levógiro: esto es el espacio absoluto.

Con el problema de las contrapartes incongruentes Kant lleva la discusión de las concepciones sustantivalistas y relacionistas del espacio mucho más allá de la cuestión de la posición de los cuerpos, incorporando también el ordenamiento de las ternas de los ejes cartesianos – y ya no solo su ubicación y su orientación–.

Deleuze propone una paráfrasis de este problema y se refiere a él de la siguiente manera:

Se trata de la paradoja de los objetos simétricos no superponibles. Ustedes ven dos manos, dice [Kant]; no solo ven, sino que pueden pensar dos manos. (...) Kant dice que hay algo irreductible, que puede pensar dos manos estrictamente idénticas y que, sin embargo, siguen siendo dos. Son estrictamente idénticas en cuanto a su concepto: cada carácter de una es idéntico en la otra. Sin embargo, son dos. ¿Y por qué son dos? Una es la derecha, la otra es la izquierda. O bien una está antes, la otra después, o detrás. Ustedes saben que por más que puedan ser pensadas como idénticas en cuanto a cada uno de sus caracteres, no son superponibles. Son absolutamente simétricas en sus menores detalles, y sin embargo no son superponibles.

Kant dirá que eso es la finitud. Eso es la irreductibilidad del espacio y del tiempo: la derecha, la izquierda, aquí y ahora, antes, después. Pueden concebir dos objetos cuyo concepto es estrictamente el mismo y siguen siendo dos por esta misma razón: uno está aquí y el otro allá, uno está a la derecha y el otro a la izquierda, uno está antes,

e otro después. Hay un orden espacio-temporal irreductible al orden conceptual. Pero Kant no invoca esa razón.

Da también este ejemplo célebre: no se puede hacer coincidir dos triedros semejantes opuestos por el vértice. ¿Por qué? Porque hacer coincidir o superponer dos figuras implica una rotación, una rotación en una dimensión suplementaria al número de dimensiones de la figura. Cuando tienen dos triángulos opuestos por el vértice, pueden hacerlos coincidir, es decir, doblar uno sobre el otro haciendo sufrir a uno de los triángulos una rotación en la tercera dimensión. Disponen entonces de una dimensión suplementaria a las dimensiones de la figura. Cuando llegan a volúmenes, es decir a figuras de tres dimensiones como las dos manos o los triedros opuestos por el vértice, podrían fácilmente hacerlas superponerse si tuvieran una cuarta dimensión del espacio. Operarían la rotación en la cuarta dimensión. La finitud es el hecho de que el espacio posee irreductiblemente tres dimensiones y no n dimensiones o de que el tiempo posee una dimensión (Deleuze, pp. 38-39)

Argumentamos ya que todo intento – como el de Deleuze– por derivar de esta discusión ontológica la prescindencia de la idea de multidimensionalidad en la metafísica kantiana se trata de un error. Incluso es posible doblar la apuesta y afirmar que solo después de haber pensado en la posible multiplicidad de espacios le fue posible a Kant vislumbrar la íntima relación de identidad entre objetos de quiralidad opuesta, aunque sobre esto solo podemos conjeturar. Lo cierto es que el problema de la quiralidad ha acompañado las meditaciones de Kant sobre el espacio desde su planteamiento, comenzando en el período precrítico y extendiéndose hacia bien avanzado el período crítico. Cabría preguntarse, por ejemplo, por qué en la *Crítica de la razón pura*, en la parte dedicada a la analítica de los principios, en el segundo libro de la analítica trascendental, hay digresiones¹¹⁵ que tienen una semblanza o una relación inocultable con aquella de *La razón primera de la diferencia entre direcciones en el espacio* (1768). Se concluye de esto que sería más provechoso para aquellos que, como Deleuze, rechazan ciertas especulaciones metafísicas en la obra de Kant, que se detuvieran a pensar de

¹¹⁵ Ver, por ejemplo, (*KrV*, B238). Sobre la relación entre el problema de las contrapartes incongruentes en relación a la filosofía crítica, ver también la sección *El descubrimiento de la sensibilidad* de la *Introducción* que Mario Caimi escribe para la edición de *La crítica de la razón pura* (Kant, 2014 [1781/1787]). Podemos pensar también aquí en otros fragmentos de la filosofía del período crítico en los que las contrapartes incongruentes desempeñan un papel importante; por ejemplo, en *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* (cf. Kant, 1991 [1786], p. 24; *Ak.*, IV, 483, 25). En los *Prolegómenos* (1783) el problema de las contrapartes incongruentes también aparece tratado. Esta última referencia es importante porque aparece en relación a un argumento sobre la subjetividad del espacio.

qué manera las convicciones metafísicas de él acerca de cuestiones como la pluralidad de las formas de mundo pueden coexistir en armonía con su filosofía trascendental.

Para acercarnos a una respuesta a esta última pregunta, merece la pena detenernos a discutir en qué sentido deben entenderse las referencias de Kant al “espacio absoluto”. Es posible argumentar que se trata de un sentido abstracto que no entra en contradicción con sus convicciones metafísicas sobre la existencia de otros espacios ni con su filosofía trascendental ulterior: es precisamente en *La razón primera de la diferencia entre direcciones en el espacio* (1768) donde la noción del espacio absoluto hace su entrada en la obra de Kant, por lo que el espacio absoluto viene a compartir páginas con las consideraciones sobre la plausibilidad de muchos mundos, sin que se sientan tensiones entre ambos polos. Asimismo, su argumento sobre las contrapartes incongruentes y las referencias a distintas ideas de espacio, incluyendo la del espacio absoluto, regresan en el período crítico (cf. Kant, 1786).

El espacio absoluto como abstracción

La referencia al espacio absoluto, decíamos, aparece en la obra de Kant hacia el final del período precrítico. No obstante, en nuestra opinión, se ha exagerado la importancia que esa referencia pudo haber tenido desde el punto de vista ontológico. Ya mencionamos que en el opúsculo de su libro de 1768 Kant afirma que “el espacio absoluto no es ningún objeto de la sensación externa”. La consideración del espacio absoluto se trató, más bien, como un artificio para pensar el espacio. En todo caso, el argumento kantiano de las contrapartes incongruentes no solo no tiene la posibilidad de demostrar el carácter absoluto del espacio, sino que el empleo de este argumento por parte de Kant incluso ha trascendido la pretensión de que ese cumpliera tal propósito. El argumento de las contrapartes incongruentes no prueba el carácter absoluto del espacio ni su idealidad. Se ha dicho que

[e]l argumento [de las partes incongruentes] tiene fuerza, sin duda, para probar el carácter intuitivo del espacio y su anterioridad lógica con respecto a los cuerpos, pero no parece que pueda deducirse de él la idealidad del espacio. De hecho, en la primera versión [1768] todavía se defiende una concepción realista¹¹⁶ del espacio a la manera newtoniana; en la segunda [1770] se considera compatible con la idealidad del espacio, puesto que se presenta en un texto que defiende esta tesis; pero en las dos últimas [1783 y 1786] Kant pretende hacer de él un argumento a favor de esta idealidad, presentada como la última solución de la paradoja. (Font, 2016, p. 46).

¹¹⁶ Consideramos que el adjetivo “realista” empleado aquí por Font es inadecuado. Ya mencionamos que en el opúsculo de su libro de 1768 Kant afirmaba el carácter no-objetual del espacio absoluto.

Font afirma así que “el argumento [de las contrapartes incongruentes] es compatible tanto con la ‘realidad’ como con la idealidad del espacio”.

Mucho se ha discutido sobre la ruptura con la concepción leibniziana de espacio y la presunta adopción de la idea newtoniana de espacio absoluto por parte de Kant hacia 1768. Se ha señalado, por ejemplo, que hacia 1756 Kant parecía mantener una noción del espacio relacionalista, *i.e.* un espacio definido a partir de apariencia de relaciones externas, mientras que hacia 1768 adhería sin duda a una noción sustantivalista del espacio, *i.e.* un espacio absoluto y originario (*cf.* Guyer, 2006, pp. 72-73). Esta caracterización de un pase del relacionalismo leibniziano al sustantivalismo newtoniano en torno a 1768 es una simplificación del caso.

La adopción de la idea abstracta de espacio absoluto le sirvió a Kant para varios de sus argumentos ulteriores, como los que se relacionan con la relatividad del movimiento (*cf.* Kant, 1991 [1786], pp. 19-20), mas no fue importante desde el punto de vista ontológico. La idea del espacio absoluto fue necesaria también para estructurar la interacción entre sustancias en el sistema kantiano. Señala Friedman que Kant tenía la convicción de que tanto las sustancias materiales como las inmateriales, *v.g.* el alma, en efecto interactúan, y que esto presupone, entonces, que deben unas estar presentes ante las otras (*cf.* Friedman, 1992, p. 27). Ahora bien, para Kant, la posibilidad de una interacción real está basada precisamente en las leyes fundamentales de la dinámica. De este modo, sostiene Friedman, tanto las sustancias materiales como las inmateriales han de estar en el espacio e interactuar entre sí “mediante las mismas leyes fundamentales de la dinámica física” (p. 28). Esto plantea un problema para Kant, en cuanto “[e]s su propia visión particular de la co-presencia y del espacio lo que ha hecho virtualmente imposible [para él] concebir cómo un alma (...) podría estar presente ante la materia sin ser ella misma una ‘sustancia material’”. La solución a este problema, dice Friedman, es “reconocer la autonomía del espacio (...) y eventualmente la autonomía del mundo material y fenoménico de cuerpos en el espacio” (*Ibid.*). Friedman coincide con nosotros en que es en *La razón primera razón de la diferencia entre direcciones en el espacio* donde Kant da el primer paso en esta dirección, pero insistimos en que es importante no sobredimensionar la importancia que Kant parece otorgarle al espacio absoluto desde el punto de vista ontológico.

Kant es particularmente cuidadoso¹¹⁷ en separar la cuestión de la realidad independiente del espacio de las leyes de la dinámica (cf. Friedman, 1992, p. 28), y no tener esto en cuenta lleva a errores de interpretación. La motivación de Kant es, de acuerdo a Friedman, la de argumentar en favor de la realidad autónoma del espacio absoluto, pero de la forma en la que este es pensado por los geómetras: “Es importante notar que, con esto, Kant está dejando completamente abierta la manera en la cual el espacio adquiere una realidad autónoma. En particular, él no está con esto avalando la concepción newtoniana de realidad autónoma del ‘espacio absoluto’”, interpreta Friedman (p. 29).

El espacio absoluto en el período crítico

En *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza*, Kant da una definición precisa del espacio absoluto y esto deja constancia de cómo él entendía esta idea hacia el período crítico. Aunque comienza definiéndolo como “aquel espacio en el cual debe pensarse todo movimiento” (Kant, 1991 [1786]; *MAN*, Def. 1, p. 19; *Ak.* IV, 480, 5 ss.), más adelante escribe sobre este:

El espacio absoluto no es (...) nada “en sí”, ni es un objeto, sino que significa únicamente aquél que es presupuesto por cualquier otro espacio relativo que yo puedo pensar como exterior que me es dado y que retrotraigo indefinidamente más allá de todo espacio que nos sea dado y al que comprende. Espacio, dado que puedo concebir moviéndose en in espacio mayor. Ahora bien, como solo puedo pensar el espacio siempre aun como material sin que ciertamente sepa nada de la materia que lo caracterice, hago “abstracción” de esta última y, así, será representado como espacio puro y absoluto y, en modo alguno, como empírico. En este [espacio absoluto] puedo comparar los espacios empíricos y representármelos en movimiento en él, considerándole a él como inmóvil. Convertir dicho espacio absoluto en algo real es confundir la generalización lógica de un espacio cualquiera, al que puedo comparar con otro espacio empírico encerrado en él, con la generalización física de un cerco real y no comprender la razón en su misma idea (*Ak.*, IV, 481 ss.; cf. Kant, 1991 [1786], p. 21).

¹¹⁷ Sus observaciones sobre la realidad del espacio se volverían más abstrusas en su filosofía crítica. Quizá convenga citar aquí el siguiente fragmento de la *Estética trascendental*: en la *Crítica de la razón pura*: “Nuestras exposiciones enseñan (...) la realidad (es decir, la validez objetiva) del espacio con respecto a todo aquello que pueda presentársenos exteriormente como objeto; pero a la vez la idealidad del espacio con respecto a las cosas, cuando son consideradas por la razón en sí mismas” (cf. *KrV*, A28/B44).

Una apreciación adecuada del sentido en el que Kant considera el espacio absoluto hacia el final del período precrítico y en el período ulterior es la que hace Friedman al decir:

[En] el análisis penetrante de Kant, desarrollado en los *Principios metafísicos de la ciencia natural*, de la ley de gravitación universal de Newton [donde] Kant parte de un rechazo del espacio absoluto newtoniano, pero aún intenta, no obstante, hacer justicia a la distinción central de Newton entre movimiento “verdadero” y “aparente” (Friedman, 1992, p. xiv).

Tal como decíamos, la idea del espacio absoluto le resulta a Kant una herramienta subsidiaria que le permite pensar la relatividad del movimiento. Que las referencias al espacio absoluto continúen apareciendo en el marco de la filosofía crítica, donde el espacio es una de las formas puras de la sensibilidad, debería bastar como demostración de nuestra afirmación de su irrelevancia ontológica. Se trata de un mero recurso; poco más que una figura retórica.

Como ocurre con otros tópicos en su obra, la aparente ambigüedad y contorsión intelectual que Kant muestra en su consideración del espacio absoluto responden, no a una mera contradicción, sino al registro del sinuoso recorrido dialéctico que él ensaya al pretender una síntesis.

Las contrapartes incongruentes en el período crítico

Como otra demostración de que el problema de las contrapartes incongruentes y las meditaciones que Kant le dedicó al espacio en torno a 1768 no deben interpretarse como un vaivén intelectual por parte de Kant entre la idea de un espacio definido por relaciones y un espacio absoluto, podemos estudiar las revisitas que Kant hizo de la cuestión de los objetos quirales hacia el período crítico, cuando su filosofía trascendental ya estaba conformada y su visión del espacio se encontraba indudablemente establecida. En *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza*, libro que apareció en 1786, un año antes de la segunda versión de la *Crítica de la razón pura*, Kant regresa sobre el problema de las contrapartes incongruentes. Lo enuncia así:

¿[C]uál es el sentido que sigue el movimiento como tal?; cuestión emparentada con esta otra: ¿cuál es la razón de la diferencia interna de los tornillos de Arquímedes, que son semejantes o incluso iguales y, no obstante, unos giran en espiral hacia la derecha y los otros hacia la izquierda (...)? Este es un concepto que se puede construir, mas no como el concepto de sí, pues no se puede aprehender inteligiblemente según los indicios generales siguiendo el conocimiento discursivo; aún más, en las cosas

mismas¹¹⁸ (...) no se puede establecer una diferencia pensable según las consecuencias internas; y, sin embargo, existe una diferencia interna verdaderamente matemática que se adapta, sin ser absolutamente igual, al concepto de la diferencia de los dos movimientos circulares, iguales según todos los aspectos pero distintos según la dirección (Kant, 1991 [1786], p. 24; *cf. Ak.*, IV, 483, 25).

Continúa así:

He mostrado en otra parte que esta diferencia [en la dirección] ciertamente aparece en la intuición, pero no puede reducirse totalmente a conceptos claros ni, en consecuencia, definirse de forma comprensible [*dari, non intelligi*], suministrando una buena prueba para confirmar este principio: que de una manera general el espacio no forma parte de las propiedades o de las referencias de las cosas en sí, las cuales precisarían necesariamente reducirse a conceptos objetivos, sino únicamente de la forma subjetiva de nuestra intuición sensible de las cosas o de sus referencias; luego, aquello que ellas pueden ser en sí es, para nosotros, completamente incognoscible (Kant, 1991 [1786], p. 25).

La referencia a la “otra parte” en la que él trató la cuestión de las contrapartes incongruentes apunta a su digresión en los *Prolegómenos*¹¹⁹, de 1783. Años antes, en 1768, Kant recurría al argumento de las contrapartes incongruentes para demostrar que “el espacio no forma parte de las propiedades de las cosas en sí ni de las referencias entre las cosas”. Esta es, pues, la interpretación correcta. Encontramos a Kant explicándonosla hacia 1786: no se trata de la afirmación del espacio absoluto, cuya existencia como algo en sí niega precisamente en ese mismo libro de 1786, sino que se trata de la afirmación de que el espacio no forma parte de las propiedades intrínsecas de las cosas ni de las propiedades intrínsecas de las relaciones entre las cosas. El espacio no deja de ser por esto aquél de su filosofía trascendental. Kant no ve contradicción alguna en retomar el ejemplo de las contrapartes incongruentes en su período crítico. No le tiembla el pulso al hacerlo. Debería bastar esto como demostración de que toda interpretación de que el ejemplo de los objetos quirales implica la afirmación del espacio absoluto es, si no incorrecta, apresurada. Y si acaso a finales del período precrítico Kant mismo se apuró a concluir o a sugerir la existencia del espacio absoluto como conclusión de sus digresiones sobre las contrapartes incongruentes, eso debe tomarse como la concreción por parte de él de un primer paso de un proceso que culminaría, en la etapa crítica, con la liberación

¹¹⁸ Kant da el ejemplo del *situs inversus*, una extraña anomalía genética que se expresa en la disposición de ciertos órganos mayores del cuerpo humano, los que aparecen invertidos, como reflejados especularmente.

¹¹⁹ Mencionamos ya que el problema de las contrapartes incongruentes también aparece en los *Prolegómenos*.

del espacio de las propiedades de las cosas en sí. Una vez más, la filosofía trascendental es deudora del proceso de liberación del espacio que Kant realiza en tiempos de su filosofía primera. El problema de los cuerpos quirales y nuestra imposibilidad de explicar la innegable diferencia entre lo dextrógiro o levógiro ateniéndonos a las propiedades de las cosas en sí resultan en la afirmación de que el espacio no forma parte de tales propiedades.

La refutación de Wittgenstein sobre la ontología basada en las contrapartes incongruentes

Regresemos ahora al problema de las contrapartes incongruentes, problema que interviene en el descubrimiento por parte de Kant del espacio absoluto como abstracción. Como decíamos, el intento de Kant por demostrar la existencia del espacio absoluto a partir de la consideración de las contrapartes incongruentes ha sido discutido *in extenso* en la literatura (*cf.* Remnant, 1963; Bennett, 1970; Earman, 1971; Nerlich, 1973; Sklar, 1974; Winterbourne, 1982; Alexander, 1984; Iommi Amunátegui *et al.*, 1985; Van Cleve, 1987; Van Cleve J. *et al.*, 1991; Earman, 1991; Rusnock, 1995; Walford, 2001; Passos Severo, 2005; Backer, 2012; Rukgaber, 2016). En su artículo de 1987, Van Cleve revisa en detalle el argumento kantiano según el cual la existencia de objetos con quiralidad definida prueba la existencia del espacio absoluto, *i.e.* el hecho de que “el espacio absoluto es una realidad en sí mismo, independiente de la existencia de materia en él” (Van Cleve, 1987, p. 33). Luego de analizar las hipótesis del argumento de Kant de 1768, Van Cleve examina diferentes posiciones que uno puede adoptar frente a tal argumento: considera una posición que define como holística, según la cual “la derecha y la izquierda no consisten en absoluto en relaciones, sino que son propiedades monádicas irreducibles”. El holismo, al igual que el internalismo, pueden ser considerados dentro de una posición más amplia, el intrinsicalismo [*intrinsicism*], según la cual la propiedad de un objeto de ser dextrógiro o levógiro no dependería de nada fuera de este, sino que sería una propiedad inherente. La postura del externalismo, en contraste, sostiene que tales propiedades dependen de la relación con otros objetos materiales. La exposición lóbrega de las conclusiones de su artículo empalidece ante la claridad expositiva de Van Cleve a la hora de introducir el problema kantiano y las posturas que uno puede adoptar frente a él.

Otros estudios del problema kantiano de las contrapartes incongruentes proponen posturas más heterodoxas. Rukgaber, por ejemplo, trata de contestar a los que sostienen que el argumento de Kant sobre las partes incongruentes es un absoluto fracaso debido a su incapacidad de conectar la direccionalidad y la quiralidad con el espacio absoluto, proponiendo que, si uno reconoce que Kant sostuvo que el espacio tenía una asimetría direccional intrínseca, entonces su argumento conecta exitosamente contrapartes incongruentes con el espacio

absoluto (cf. Rukgaber, 2016, p. 415). Esta observación, que comprende la idea de una asimetría direccional intrínseca del espacio, termina relacionándose con la imagen que desde la física teórica se tiene de la quiralidad. Volveremos sobre esto en la Cuarta Parte de esta tesis.

No es nuestra intención repetir aquí las tantas interpretaciones que ha habido al respecto del problema de las contrapartes incongruentes. Preferimos, sin embargo, detenernos en una particularmente interesante, la de Wittgenstein, quien primero desestima el problema afirmando que

[e]l problema kantiano de la mano derecha y de la mano izquierda que no pueden superponerse una a la otra existe ya en la superficie plana, incluso en el espacio de una dimensión donde [dos figuras] no pueden cubrirse sin ser arrojadas fuera de este espacio (cf. Wittgenstein, 1921, TLP: 6.36111),

para luego, de manera proverbial, intentar la siguiente refutación:

La mano derecha y la mano izquierda son en realidad perfectamente congruentes y el hecho de que no puedan superponerse no tiene nada que ver con ello. Se podría poner el guante de la mano derecha a la mano izquierda si se le pudiese dar vuelta en el espacio (*ibid.*).

Son afiladas las flechas del carcaj argumental de Wittgenstein, aunque no siempre se ha apreciado su observación. Hay implícito en sus frases un contenido geométrico que es preciso analizar, y sobre esto nos detendremos más abajo. Mencionemos primero que hubo quienes, infructuosamente, trataron de sostener contra Wittgenstein que cometía él un error en su argumentación al separar las propiedades del espacio de su existencia. De cierto modo, dicen esos críticos, Wittgenstein pasa por alto la identidad entre ambos elementos en la ontología de Kant:

Wittgenstein toma en cuenta a la dimensión como propiedad característica del espacio. (...) El “problema kantiano” no reside en la elección más o menos adecuada de una propiedad determinada del espacio, sino en la coincidencia del efecto de tal propiedad espacial en un objeto y de la existencia del espacio mismo: que la mano izquierda y la mano derecha sean congruentes en el espacio de cuatro dimensiones no viene al caso; su incongruencia en un espacio de tres dimensiones prueba la existencia de este espacio (cf. Iommi *et al.*, 1985, p. 80).

Detengámonos en la afirmación: “Wittgenstein toma en cuenta a la dimensión como propiedad característica del espacio”. Parecería que se intenta argumentar con ello que este supuesto error

ontológico de Wittgenstein invalida su refutación a Kant. La incongruencia de objetos quirales en un espacio tridimensional, independientemente de que Möbius nos haya enseñado que incongruencia tal se desvanecería en un espacio tetradimensional, parecería para Iommi *et al.* ser suficiente para probar la existencia del espacio absoluto en tres dimensiones. Pero, dado que tal espacio es concebible para nuestra mente como si estuviera este embebido en un hiperespacio de una dimensionalidad mayor, ¿cómo no atender a la posibilidad de una transformación continua que nos lleve de una mano izquierda a la derecha y concluir de ello la congruencia de esos objetos? No es cuestión de ignorar esta verdad sin más. En este sentido, es imposible no coincidir con Wittgenstein. El carácter ontológico del espacio no puede depender del acto volitivo de desatender a verdades de la geometría.

A efectos de aclarar este punto, y siendo conscientes de la dificultad que puede representar, dediquemos unos párrafos a explicar el punto de vista de Wittgenstein al respecto. Para esto, valgámonos de un ejemplo al que ya recurrimos en alguna parte (*cf.* Giribet *et al.*, 2019). Para comenzar, tratemos de pensar cómo sería la geometría de cuerpos físicos en un mundo cuyas dimensiones espaciales ya no fueran tres, sino un número distinto, mayor. Pensemos cuáles serían las novedades, qué fenómenos deberíamos esperar en un universo n -dimensional. Preguntémonos, por ejemplo: ¿cómo habrían de ser las leyes de la física en un espacio de tales características?

Como ocurre siempre que emprendemos la tarea de generalizar las leyes de teorías que ya conocemos en alguna dirección inexplorada, con el consiguiente riesgo de que algunas de nuestras certezas puedan perder sustento, debemos asirnos de algo que, por buenas razones, decidamos preservar a toda costa. Así, nociones tales como la libertad de efectuar cambios de perspectiva que me habiliten diferentes escorzos del problema y la suposición de propiedades de impenetrabilidad de la materia constituirán el puñado de certezas de cuya mano exploraremos la física n -dimensional. Por el contrario, otros aspectos sí serán diferentes a lo que conocemos de la física en el espacio tridimensional y deberemos, pues, resignar algunos de nuestros presupuestos y conocimientos escolares.

La geometría de los objetos físicos en un espacio n -dimensional es sorprendente, esquiva a la intuición y es, a su vez – o quizá precisamente debido a ello –, divertida. Comencemos hablando de operaciones geométricas básicas que serán de interés para nuestra discusión, tales como las reflexiones en un espejo o las rotaciones en torno a un eje. Resulta difícil imaginarnos que algo sorprendente pueda surgir al lidiar con nociones tan básicas y simples como rotaciones y reflexiones, aun cuando nos propongamos repensarlas en un escenario multidimensional. No obstante, cuando en el lenguaje matemático se empieza a formular de manera sistemática lo

que significa algo tan sencillo como una rotación, aparecen sorpresas que llevan a reconsiderar la geometría y la física de cabo a rabo. Esto deja en evidencia cuántos de los conceptos que creemos naturales e intuitivos están, en realidad, viciados de preconceitos que construimos por haber percibido siempre a nuestro entorno como tridimensional. Al fin y al cabo, es eso lo que moldea aquello que llamamos la intuición, educada esta de la mano de nuestra experiencia cotidiana.

Podemos comenzar contando, por ejemplo, que en un espacio de dimensionalidad mayor que tres ya no tiene sentido la idea de rotar *en torno a* un eje, ya que existe más de una dirección perpendicular a un determinado plano. En tres dimensiones es equivalente indicar que uno rota en torno al eje z que decir que uno lo hace en el plano formado por los ejes x e y . Por el contrario, en cuatro dimensiones estas dos cosas no son equivalentes, ya que rotar en el plano formado por los ejes x e y puede significar hacerlo en torno al eje z , pero también hacerlo en torno al antes inexistente eje w ; o en torno a ambos, o un poco en torno a cada uno de ellos. Uno puede formalizar la circularidad del argumento de Leibniz sobre la “verdad geométrica” de la tridimensionalidad advirtiendo que en un espacio n -dimensional son n las rectas perpendiculares entre sí, de igual manera a como son $n(n-1)/2$ los planos perpendiculares. Un objeto que rota en nuestro espacio tridimensional – pensemos en una esfera girando– siempre lo hace en torno a un único eje, pero en un espacio n -dimensional, con n mayor que 3, este puede rotar en torno a $n-2$ ejes simultáneamente. En un espacio bidimensional, por otro lado, un objeto no puede rotar en torno a nada ya que el eje transversal no pertenece al espacio mismo. Entonces, uno concluye que la noción de rotar en torno a un eje solo tiene sentido, por accidente, en el espacio tridimensional, mientras que en dimensiones mayores lo único que tiene sentido es rotar en un determinado plano. Vemos aquí ya cómo una de nuestras verdades geométricas se debe, en realidad, a un accidente, a una peculiaridad privativa de la tridimensionalidad.

Otra idea simple e importante es la relación entre reflexión, rotación y la noción de identidad de un objeto geométrico. Esto se relaciona directamente con el argumento de Wittgenstein. Por ejemplo, pensemos en un espacio unidimensional, un mundo en el que solo tiene sentido moverse hacia adelante o hacia atrás, pero no de derecha a izquierda ni de arriba abajo. Este mundo estaría poblado de seres tipo lombrices a los que ni siquiera les sería posible ondular, ni adelantarse unos a otros, sino solo moverse en hilera de adelante hacia atrás o viceversa. Supongamos que uno de esos seres se lanza a la exploración de ese mundo y, en su andar, se topa con un extraño objeto, algo parecido a una flecha que apunta hacia la izquierda (un ejemplo similar al que emplea Wittgenstein en el *Tractatus*). Luego, decide aventurarse hacia

el lado opuesto hasta que topa con otro objeto, una flecha que apunta hacia la derecha. Nuestro ser-lombriz, nacido y educado en su mundo unidimensional, percibirá a las dos flechas como objetos de naturaleza distinta, como si una fuera la inversión especular de la otra, su reflexión, pero nunca advertirá que las dos podrían ser, de hecho, el mismo objeto, mediante una simple rotación en el plano que es incapaz de concebir. Su intuición no se forjó en un marco de familiaridad con la existencia de una segunda dimensión espacial, por lo que no puede imaginar a una de las flechas como rotación de la otra. Un ser bidimensional¹²⁰, en cambio, lo encontraría evidente: en efecto, las dos flechas son el mismo objeto, aunque dispuesto en dos posiciones diferentes; una flecha hacia la derecha es el resultado de haber rotado 180° en el plano otra flecha que apuntaba hacia la izquierda, de la misma manera en la que el símbolo del número 6 es el mismo que el del 9, pero habiéndolo rotado. Así, lo que en una dimensión corresponde a dos imágenes especulares distintas, en dos dimensiones serían tan solo dos posiciones – de las infinitas posibles– del mismo objeto. Ahora bien, ¿qué ocurre si en lugar de comparar el símbolo del número 6 y el del 9, le pidiéramos al ser-plano que intentara relacionar las letras b y d? Pues, fracasaría al tratar de obtener una como rotación de la otra, ya que está confinado en el plano y, por ende, no le es accesible rotar despegándose del mismo. Ni siquiera puede concebir que una tercera dimensión lo haga posible. Su intuición no está preparada para ello. Así, mientras el ser-plano reconocería fácilmente que la letra d y la letra p sí pueden ser pensadas como el mismo dibujo rotado en 180°, su cerebro chato no podría relacionar de la misma manera las letras b y d, a las que clasificaría como imágenes especulares, como contrapartes incongruentes. Por el contrario, un ser tridimensional, como el que presumiblemente lee estas líneas, se verá libre de rotar la letra b en el espacio, despegándola de la hoja de papel e invirtiéndola mediante un imaginario giro en el aire, como el que se hace al pasar la página, y así concluirá que las letras b y d son tanto la misma cosa como lo son los números 6 y 9; el mismo garabato que simplemente ha sido rotado. Imaginar esa rotación que obliga a salirse de la hoja no es complicado, porque se trata de una operación tridimensional que ya es parte del acervo de nuestra intuición. Surge de inmediato la pregunta siguiente: ¿qué ocurre con los objetos que en nuestro mundo tridimensional percibimos como imágenes especulares, *i.e.* quirales, tales como la mano derecha de la que habla Kant, que no puede ser rotada para obtener la fisonomía de una mano izquierda? ¿Es un zapato izquierdo la rotación de un zapato derecho en un mundo 4-dimensional aun cuando en nuestro universo

¹²⁰ Es imposible evitar la referencia a los hombres planos que Edwin Abbott describía en su *Flatland*, de 1884.

tridimensional nos sea imposible concebirlo? La respuesta es sí. Le debemos tal descubrimiento a Möbius. Así, tal como Gottfried Plattner, el personaje del cuento de Herbert G. Wells, quien luego de una travesía por la cuarta dimensión regresa a nuestro mundo con su corazón del lado derecho, la geometría nos enseña que si pudiéramos lanzar nuestro guante hacia la cuarta dimensión entonces este podría volver siendo el de la mano equivocada. A esto refería, pues, Wittgenstein con su sucinta refutación a Kant. Existe una relación íntima entre rotación, reflexión y la posibilidad de considerar objetos de apariencia diferente como manifestaciones diversas del mismo objeto; y acabamos de explicar cómo la dimensionalidad del espacio juega un papel relevante en ella. Es decir, la dimensionalidad es crucial a la hora de admitir o no la identidad entre objetos.

Siguiendo el argumento de Wittgenstein, uno se ve obligado a concluir que no es posible derivar el carácter absoluto del espacio, tal como pretendía Kant, a partir de la existencia de objetos con quiralidad opuesta. Toda prueba ontológica de la existencia del espacio absoluto que aspire a tener una robustez que esté a la medida de la importancia del problema debe tener en cuenta las construcciones geométricas de las que nuestra mente es capaz, en especial si la noción de espacio absoluto cuya existencia se pretende concluir es la de una abstracción, como Kant afirmaba.

Hacia finales del período precrítico

El cauce de nuestra discusión nos ha llevado lejos. Nos encontramos discuriendo acerca del contenido de los textos kantianos de 1768 y 1770. Estamos acercándonos al final del período precrítico del pensamiento de Kant. Con *Disertación inaugural*, en 1770, la característica doctrina kantiana del espacio y el tiempo como formas autónomas de la intuición sensible comienza a articularse y se perfila su filosofía trascendental (cf. Friedman, 1992, p. 29), y aunque nosotros seamos de la idea de que no necesariamente existe un quiebre en la metafísica de Kant tan marcado como el que lecturas parciales de su obra llevaron a afirmar, es este un buen momento para concluir esta primera parte del trabajo.

Hasta aquí nos hemos limitado a discutir la primera parte de la filosofía natural de Kant, aquella del comienzo del período precrítico. En las secciones precedentes nos enfocamos en su primer libro, *Ideas de la verdadera valoración de las fuerzas vivas*, de 1747, y tratamos de argüir que ese libro es de una riqueza difícil de sobreestimar en cuanto no solo anticipa sino también habilita muchos componentes de la filosofía ulterior de Kant. En particular, la filosofía natural de la época crítica mantendrá mucho del contenido metafísico presente en sus primeras

obras, sin que ello implique que no haya esta tomado nuevos tintes y alcanzado un nivel más elevado de precisión.

La sofisticación que la física de Kant tomará en el período crítico, sin embargo, no atentará contra el carácter altamente especulativo que caracteriza toda su filosofía natural. Más adelante, en la Tercera Parte de este trabajo, veremos que el contenido de su *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza*, de 1786, es prueba de ello. Debido a ser contemporáneo de la *Crítica*, *Principios metafísicos* sirve como testimonio de los compromisos ontológicos (en un sentido lato) adoptados por Kant acerca del espacio y el tiempo en ese estadio de su filosofía y aún dentro de los lindes de su filosofía trascendental. Más aun, diremos que los *Principios metafísicos* se vuelven imprescindibles para completar la filosofía kantiana de la *Crítica*; hay elementos importantes que no son incluidos en la *Crítica* y su ciencia natural se vuelve, así, complementaria. Kant lo expresa de manera precisa: “La movilidad no ha podido ser incluida en la *Crítica de la razón pura* por mediación de los conceptos puros del entendimiento; además, este concepto empírico no podía encontrar lugar más que en una ciencia de la naturaleza” (*Ak.*, IV, 481 ss.; Kant, 1991 [1786], p. 22).

Pero antes de entrar de lleno al estudio de la filosofía natural en el período crítico y de las continuidades en su metafísica de la naturaleza, debemos dar un paso atrás y regresar en el tiempo a la década de 1750 para completar la tarea de analizar los aspectos fundamentales de la física kantiana del período precrítico. En efecto, quedaron afuera de las discusiones de las secciones precedentes trabajos muy importantes de Kant sobre filosofía natural. El caso más notable es el de *Historia natural universal y la teoría de los cielos*, su magnífico libro de 1755 en el que Kant detalla su modelo cosmológico, modelo cuya conexión con los temas tratados aquí resulta muy interesante. Dedicaremos la Segunda Parte de este trabajo a estudiar ese libro con detenimiento y a elaborar, a partir de su lectura, acerca de los temas de nuestra investigación. Analizaremos también su *Monadología física*, de 1756, texto en el que Kant presenta su teoría sobre la materia, teoría que desarrollará más adelante en la época crítica.

Recapitulando

De nuestro análisis del primer libro de Kant, *Ideas para la verdadera valoración de las fuerzas vivas*, deseamos enfatizar tres conclusiones. En primer lugar, encontramos importante detenernos en la inversión realizada por Kant al supeditar los atributos del espacio, y en especial su tridimensionalidad, a las formas en las que las fuerzas actúan. Esto establece una jerarquía ontológica en la que la fuerza está antes del espacio. Afirma Kant que sin fuerza no habría ni conexión ni orden, y sin orden no habría espacio (*cf.* 1749, §9). Según esta doctrina, la

tridimensionalidad deriva de las formas en las que las fuerzas actúan, y no viceversa; más precisamente, la tridimensionalidad del espacio *se debe a* la cadencia cuadrática con las que las fuerzas ceden al aumentar la distancia entre los cuerpos, y no viceversa (§10). En segundo lugar, hemos puesto nuestra atención sobre cómo la contingencia de la tridimensionalidad del espacio lleva a Kant a concluir la posibilidad de existencia de otros mundos, una hipótesis que sostendrá a lo largo de todo el período precrítico, al menos hasta 1770. La contingencia de la tridimensionalidad es una conclusión inevitable a la que Kant arriba luego de evaluar la circularidad o la condición *ad hoc* de los argumentos por demostrar la necesidad de ese atributo del espacio. Luego, es la perfección de la obra de Dios lo que lleva a Kant a concluir que, de ser la tridimensionalidad contingente, tal como su imposibilidad para demostrar su necesidad se lo sugiere, entonces esos otros mundos con otras formas geométricas han de ser realizados en alguna parte (*cf.* §11). En tercer lugar, resaltamos la afirmación de Kant de que la imposibilidad que notamos nosotros para representar un mundo de una dimensionalidad distinta se debe a que nuestra mente está constituida de una manera tal que solo interactúa con las sustancias mediante aquellas mismas fuerzas de las que deriva la tridimensionalidad del espacio (§10). Estas afirmaciones habilitan y anticipan elementos de la filosofía crítica. La forma en la que nuestra mente se encuentra preconstituida le permite ser afectada y afectar a las sustancias que interactúan de una dada forma específica – con la ley del cuadrado de la distancia– y la tridimensionalidad del espacio nace de esa cualidad. Otras fuerzas de la sustancia darán lugar a otras dimensionalidades, a otros mundos; mundos que nuestra alma [*Seele*] se encuentra imposibilitada de figurar debido a su propia naturaleza.

Como acabamos de ver, la dimensionalidad organiza la cosmogonía kantiana a lo largo de todo el período precrítico: es la contingencia de la dimensionalidad del espacio lo que habilita a Kant a establecer la jerarquía ontológica entre fuerza y espacio, asociando una propiedad de la fuerza newtoniana con una propiedad del espacio que vivenciamos. De esto nace su teoría sobre la afección de las sustancias sobre el estado de nuestra alma, su hipótesis sobre la posibilidad metafísica de muchos mundos, su discusión sobre la contingencia de las leyes de la naturaleza. La dimensionalidad del espacio aparece también en otros problemas planteados por Kant durante el período precrítico, aunque no siempre lo haga de manera evidente. El problema de las contrapartes incongruentes es el mejor ejemplo de ello. En la Segunda Parte de esta tesis discutiremos la cosmología kantiana de mediados del período precrítico, lo que nos permitirá resaltar de qué manera la universalidad de la ley de la inversa del cuadrado, razón de la tridimensionalidad del espacio, desempeña un papel central en la filosofía natural de Kant,

desde su teoría de los cielos a su teoría constitutiva de la materia. Luego, en la Tercera Parte de esta tesis estudiaremos cómo la dimensionalidad del espacio desempeña también un papel esencial en el período crítico. En ese período Kant dejará de preguntarse sobre la contingencia de la tridimensionalidad y dejará de lado las afirmaciones sobre la posibilidad de existencia de otros mundos; pero eso no implica en absoluto que la dimensionalidad haya dejado de ser importante para la organización de su filosofía: por el contrario, sostenemos que su filosofía crítica es deudora de esas primeras meditaciones metafísicas acerca del hecho de que nuestra mente se encuentra preconstituida de una manera especial para ser afectada por las fuerzas de la substancia, una afección sobre nuestra alma que en el período crítico tomará la forma de ese contenido nouménico. La tridimensionalidad del espacio nace de esa afección; no es antes que ella; no pertenece al mundo de las cosas en sí, sino que nace de la forma de esa interfaz entre nuestra mente y las substancias.

RESUMEN DE LA PRIMERA PARTE

En esta Primera Parte nos hemos enfocado principalmente en el análisis de la dimensionalidad del espacio en la primera obra de Kant, *Ideas* (1749). Asimismo, recorrimos otras obras del período precrítico (1749-1770) a efectos de mostrar la continuidad de muchos elementos de la metafísica kantiana de la ciencia de la naturaleza a lo largo de todo ese período. Podemos resumir los resultados principales de nuestro análisis de la siguiente manera: La primera conclusión a la que llegamos es que la pregunta por la contingencia de la dimensionalidad del espacio organiza toda la metafísica kantiana de la ciencia de la naturaleza del período precrítico. Mostramos que esa pregunta por la contingencia de la tridimensionalidad se conecta directamente con la pregunta por la necesidad o contingencia de las leyes que gobiernan las fuerzas de la naturaleza. Esto lleva a Kant a su hipótesis de los muchos mundos, la que, como hemos mostrado, difiere substancialmente de las ideas de Leibniz acerca de los muchos mundos posibles, en cuanto Kant considera que los mundos de diferente dimensionalidad probablemente existen, aunque estén esos desconectados del nuestro debido a una imposibilidad matemática de conexión (*i.e.* la distinta dimensionalidad).

La pregunta por la tridimensionalidad del espacio también habilita a Kant a pensar al espacio como una noción derivada de algo aún más fundamental: las fuerzas entre las substancias, y entre las substancias y la mente. Advertimos entonces que el problema de la afección mutua (correlación) entre mente y materia es abordado por Kant ya desde inicios de su obra.

Argumentamos que eso delinearía ideas que más tarde, en su madurez, condensarían en su teoría del conocimiento.

Otro elemento que podemos recoger en el resumen de esta Primera Parte es la conexión entre el problema kantiano de las contrapartes incongruentes, tratado por primera vez por Kant hacia 1769, y el problema de la dimensionalidad del espacio. Esta conexión ha sido inadvertida por muchos; por ejemplo, por Deleuze cuando subestimó el interés de la dimensionalidad en Kant. Otros pensadores, como Wittgenstein, sí supieron ver esa conexión y su relevancia. Discutimos eso con detalle explicando el argumento que Wittgenstein presenta de manera escueta en el *Tractatus*.

Por último, cabe sumar a este resumen de la Primera Parte otra observación: La continuidad de la metafísica kantiana a lo largo de todo el período precrítico es tal que, incluso hacia 1770, cuando en su *Dissertatio* Kant ya comienza a perfilar elementos que más tarde devendrían su filosofía crítica, la hipótesis de muchos mundos de diferentes dimensionalidades sigue estando presente en su obra. Esto muestra la compatibilidad de su metafísica especulativa con su por entonces germinal filosofía trascendental.

Kant, hacia 1768, estudió ese problema (...) Rehusar la cuarta dimensión es limitar el mundo; afirmarla es enriquecerlo.

Jorge Luis Borges
La cuarta dimensión, 1934.

Segunda Parte

Esquema de la Segunda Parte

Si la Primera Parte de esta tesis se enfocó en el contenido metafísico de la filosofía natural kantiana de comienzos del período precrítico, en especial en lo vertido en su primer libro (1749), esta Segunda Parte hace foco en el contenido físico de la obra de Kant hacia mediados de ese período; más precisamente, estudiaremos aquí la filosofía natural de las obras de Kant en torno a mediados de la década de 1750. La física que Kant expondrá en su libro de cosmología (1755) y en su libro sobre la estructura de la materia (1756) tendrá, también, a la dimensionalidad del espacio como tema central de su metafísica, aunque esto no sea necesariamente evidente y demande de un análisis cuidadoso para advertirlo. Haremos ese análisis: gran parte de nuestro trabajo será mostrar dónde la cuestión de la dimensionalidad del espacio entra en la física kantiana. Por ejemplo, mostraremos en qué sentido su *Monadología física* (1756) hace uso implícito del hecho de que el mundo es tridimensional para explicar la impenetrabilidad de la materia y las formas funcionales de las fuerzas que le dan a esta su extensión.

Al igual que en la Primera Parte, en la que aquí comienza también nos valdremos de secciones y subsecciones, y algunas de estas últimas serán identificadas como “*digressio*” y pueden ser omitidas en una primera lectura del texto. Hacemos esto a efectos de que la densidad teórica del texto y la necesidad de aposiciones técnicas no obstan una lectura fluida del argumento central.

Estudiaremos la cosmología kantiana en la primera sección (VI) de esta Segunda Parte. Tanto el contenido meramente físico de su libro de cosmología (1755) como el contenido metafísico que rezuma en ese texto serán analizados en detalle. Así, hablaremos tanto de las digresiones de Kant sobre la constitución fisicoquímica de los astros como también sobre el carácter

universal y sempiterno de las leyes que, según intuía él, dominan dicha estructura fisicoquímica. En el camino también haremos observaciones que mostrarán la vigencia de muchas intuiciones de Kant acerca de la estructura del cosmos. La ley universal de la gravitación de Newton es el elemento organizativo de la cosmología kantiana, como el de toda cosmología de la época, y eso se relaciona estrechamente con el problema central de esta tesis: la dimensionalidad del espacio. Explicaremos cómo.

En la segunda sección (VII) de las que componen esta Segunda Parte nos abocaremos al estudio de la monadología kantiana, una *Monadología física* que presenta una teoría para la materia; es decir, una teoría acerca de la estructura de las sustancias naturales. Kant describe la estructura de la materia en términos de fuerzas, aquellas mismas fuerzas que en su primer libro aparecían mediando la interacción entre las sustancias y la mente. Se ve aquí también, aunque ya no sólo a escalas cosmológicas, la convicción metafísica de la universalidad de las leyes naturales. Explicaremos también en qué sentido esas leyes, que dan a la materia su extensión y a la mente su posibilidad de ser afectada por la materia, se relacionan estrechamente con la (tri)dimensionalidad del espacio.

VI. COSMOLOGÍA KANTIANA: LEYES DE LAS FUERZAS COMO UNIVERSALES

Desde una metafísica cosmológica

Del análisis que hicimos del libro sobre las fuerzas vivas en las primeras secciones de la Primera Parte de este trabajo deriva una serie de conclusiones importantes. Por un lado, aparece en ese libro de manera implícita la teoría de Newton de la gravitación universal. Argumentamos ya que, en el período en el que ese libro fue escrito (entre 1744 y 1747) la referencia a una ley que decae como el cuadrado de la distancia, ley que organiza la física kantiana, no podía sino referir a la teoría de Newton. Como veremos a continuación, la referencia a la teoría de Newton se haría más explícita en los trabajos futuros de Kant sobre filosofía natural. Señalamos la importancia que la teoría de Newton tendría a lo largo de toda la obra de Kant, y varias de nuestras observaciones en las secciones anteriores venían a enfatizar que esto se ve expresado ya en su primer libro. Debido a la importancia que adquiere la teoría de la gravitación universal en el contexto de la física kantiana, hemos dedicado una subsección entera de la sección III a revisar los antecedentes históricos y desarrollos posteriores de la ley de la inversa del cuadrado de la distancia, ley que aparece como ejemplo antonomástico en la obra de Kant no solo a lo

largo del tiempo sino también a lo ancho del temario que esta cubre, de la filosofía natural a la trascendental. La fuerza de atracción gravitatoria le sirve a Kant como ejemplo de una de las leyes fundamentales de la naturaleza, que junto con las fuerzas que dotan a la materia de su impenetrabilidad y capacidad de expansión, vienen a conectar las substancias, a explicar las propiedades de la materia, y, así, terminan por componer el mundo.

En esta sección iremos más allá del limitado escenario en el que los cuerpos que nos rodean interaccionan entre sí y con nosotros. Junto con Kant, nos aventuraremos a especular sobre cómo las mismas fuerzas, la de la gravitación universal y la de expansión de la materia, componen el cosmos en su totalidad, desde nuestro sistema solar hasta los confines del universo observable. El alma [*Seele*], las galaxias, el universo [*Weltbaut*], en una descripción unificada de la naturaleza. Es eso lo que un conocimiento “universal” de las leyes de la física significaría para Kant. Las mismas leyes fundamentales de la mecánica gobernándolo todo. En relación con esto, y a efectos de ponderar la importancia que la universalidad de las leyes físicas tendría más tarde, en tiempos de la filosofía trascendental, reparemos el siguiente fragmento de los *Prolegómenos*:

Si vamos aún más lejos, a saber, a las doctrinas básicas de la astronomía física, se manifiesta una ley física que se extiende sobre toda la naturaleza material, la ley de atracción recíproca, cuya regla (...) parece yacer como necesari[a] en la naturaleza misma de las cosas y, por lo tanto, *a priori* (Kant, 2015 [1783], pp. 184-185).

Kant describe su empresa cosmológica en el prefacio de su libro de 1755 de la siguiente manera:

He elegido un proyecto que, tanto por su dificultad inherente como por su relación con la religión, es capaz de influir en el lector para que adopte un prejuicio desfavorable desde el principio. Descubrir el sistema que conecta las grandes partes de la creación en toda la extensión del infinito, derivar la formación de los propios cuerpos celestes y el origen de su movimiento a partir del primer estado de la naturaleza a través de leyes mecánicas: ideas como estas podrían parecer ir mucho más allá de los poderes de la razón humana. (...) Me he atrevido a emprender un viaje peligroso sobre la base de una ligera suposición y ya veo las estribaciones de nuevas tierras. Aquellos que tengan el coraje de continuar la exploración, pisarán esas tierras y tendrán el placer de otorgarles su propio nombre (Kant, 1755; Watkins, 2015, p. 194).

Este tipo de teoría unificada, en la que las leyes que rigen el movimiento de los astros distantes resultan las mismas que las que son razón de la dinámica de los cuerpos cercanos y

de nuestra percepción de ellos era esencial para Kant. Era eso lo que un conocimiento universal de las leyes del mundo significaría. Una teoría unificada de tales características, por otro lado, no era rara en los tiempos en los que Kant escribe su *Historia natural universal*. Si el siglo XVII había sido aquel en el surgieron las primeras teorías unificadas de la física, resumidas estas en la afirmación newtoniana de que todo orbitar es caer, el siglo XVIII venía a llevar esa búsqueda de una descripción matemática global de la naturaleza mucho más allá. El siglo XVIII fue el que vio nacer al demonio de Laplace, esa entidad capaz de conocer el futuro por tan solo haber sabido, en un dado instante inicial, la posición y la velocidad exactas de todos los componentes del mundo. El determinismo de Laplace¹²¹, o el de otros, como Bosković, descansaba en la certeza de que el continuo actuar de leyes naturales era, no solo necesario, sino también suficiente para describir exacta y completamente la historia del universo. Toda distinción substancial entre pasado y futuro queda así disuelta, y es por eso que la discusión cosmológica en los siglos XVII y XVIII resultaba inescindible de problemas metafísicos tales como el problema del libre albedrío o el de la injerencia episódica de Dios en la historia del mundo. También se entrelaza con esto la pregunta genealógica acerca del surgir de las leyes naturales, que, en cuanto pregunta sobre el origen, desemboca en aquella sobre la finitud del tiempo. Por su parte, la pregunta sobre la (in)finitud del espacio también adquiere nuevas formas hacia mediados del siglo XVII, y lo hace a partir de la discusión sobre la necesidad y contingencia de las leyes naturales: la necesidad de que las leyes sean, y la necesidad de que las leyes sean aquellas que son. Así, la pregunta sobre la unicidad del mundo y la plausibilidad de realización de otros mundos – con otras leyes– se vuelve ineludible. Esto exigió un refinamiento de la ontología, siendo la prueba más notable de ello la forma elevada que el debate acerca del poder de elección de Dios adquiere a partir de mediados del siglo XVII. La discusión sobre la contingencia de la dimensionalidad del espacio en la *Teodicea* representa un claro ejemplo de esto. El contenido metafísico de las ciencias de la naturaleza se volvió, incluso desde antes de la indeleble contribución de Leibniz en esta materia, inseparable de la discusión sobre la forma del espacio. Las preguntas sobre la conectividad, la continuidad, la dimensionalidad y la finitud del espacio cobraron, a partir de entonces, formas que jamás serían abandonadas del todo en la física futura.

¹²¹ Pierre-Simon, marqués de Laplace (1749-1827) fue un ingeniero, político, matemático, físico, filósofo y astrónomo francés, considerado uno de los más grandes científicos de todos los tiempos.

Hacia una cosmología metafísica

A comienzos del período precrítico Kant mostraba abrazar la piadosa idea de que la metafísica bastaría para develar, no solo los aspectos cualitativos de las leyes de la naturaleza, sino también las causas subyacentes de estas. Hacia 1755, su física se volvería más sólida y, al menos en apariencia, menos dependiente de muchos de sus suposiciones metafísicas. Esto no se debe a que la física kantiana hacia mediados del período precrítico resultara incompatible en sentido alguno con las especulaciones metafísicas de su juventud, sino que responde a una maduración de sus conocimientos científicos, lo que le permitió prescindir de ciertos presupuestos injustificados.

Aun así, como decíamos, su cosmología se mantendría en concordancia, aunque por momentos indiferente, con los fundamentos metafísicos presentes en su primer libro, *Ideas de la verdadera valoración de las fuerzas vivas*. Schönfeld sostiene que con *Historia natural universal*, al igual que con su *Monadología física*, Kant buscaba unificar la ciencia y la metafísica en una filosofía sistemática de la naturaleza.

Historia natural universal y teoría de los cielos

En 1755 aparece el libro de Kant sobre el cosmos, *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels*, escrito presumiblemente durante los dos años anteriores. En castellano, el título completo sería *Historia natural universal y teoría de los cielos o un intento de explicar el origen constitucional y mecánico del universo sobre los principios newtonianos*.

Fechado el 14 de marzo de 1755, el libro aparece de manera anónima. Fue editado por Johann Friedrich Petersen, quien sufrió el infortunio de quebrar al poco tiempo de que el libro de Kant fuera impreso. Esto fue muy desafortunado para Kant, dado que los ejemplares de libro fueron confiscados junto con los activos de la casa editorial, lo que llevó a que su libro de cosmología se mantuviese prácticamente desconocido por, al menos, cuatro décadas.

Al momento de terminar su libro, Kant se decidía a acabar sus estudios universitarios y se disponía a recibir una licencia para dictar clases como *privatdozent* en la Universidad de Königsberg. El 12 de junio de 1755 recibe el doctorado en filosofía, y el 27 de septiembre recibe la *venia legendi* para enseñar. Se disponía, pues, a regresar a su *alma mater* y emprender su carrera académica luego de casi una década de trabajar como tutor. Es por esto que podemos decir que su libro de cosmología es escrito en un momento decisivo de su vida y de su carrera, un momento que marcaría un punto de inflexión también en su filosofía.

A *Historia natural universal* le habían precedido otros textos de filosofía natural, ensayos brevísimos en los que Kant estudia aspectos de geología a escala planetaria: la rotación de la Tierra (1754) y su edad según una perspectiva científica (1754). En 1755 también aparece su disertación sobre el fuego, *Meditationum quarundam de igne succinta delineatio*, que puede considerarse su tesis doctoral, supervisada por Teske. Su estudio de terremotos y las causas físicas de estos vendrían de la misma época¹²², circa 1756, aunque continuaría con sus investigaciones de geología y geografía física más adelante. También de 1756 es su *Monadologia Physica*, o bien, *Metaphysicæ cum geometrica iunctæ usus in philosophia naturali, cuius specimen I. continet monadologiam physicam*.

Los temas tratados por Kant eran de gran actualidad. Durante la segunda mitad del siglo XVIII se sucedieron importantes descubrimientos de geología y astronomía, y se lograron formulaciones abarcadoras de los fenómenos naturales. Son de ese período las primeras meditaciones sesudas sobre la composición química de los cuerpos celestes, que nacen de la aceptación amplia de la idea de que los astros se componen de materia ordinaria. Esta hipótesis posibilitó el aventurarse a inferir las propiedades físicas de los astros distantes – *e.g.* sus densidades– en términos de la física aprendida en los laboratorios. También datan de ese período grandes avances en el entendimiento de la composición del interior terrestre, los intentos por explicar la dinámica tectónica en términos mecánicos, el estudio de los vientos como fluidos de gran superficie, las especulaciones sobre volcanes en otros astros. Las preguntas sobre el microcosmos, entre las que cabe resaltar la especulación acerca de la estructura íntima de la materia y el debate sobre la composición corpuscular de la luz, acompañaron esa renovadora mirada física del macrocosmos.

Es probable que hacia 1753-1755 Kant haya abrazado la idea de que la publicación de un texto de cosmología de una audacia como la de su *Historia natural universal* le allanaría el camino hacia una posición más encumbrada en la academia. Su libro, en el que la formación de los astros del sistema solar, la composición y habitabilidad de los planetas distantes, la existencia de otros sistemas solares en otras galaxias, y la evolución del universo son tratados en un esquema unificado consistente con la teoría universal de la gravitación y con las propiedades conocidas de la materia, podría sin lugar a dudas haber llamado la atención del claustro si no se hubiesen sucedido los hechos aciagos que llevaron a su olvido.

¹²² El 1 de noviembre de 1755 tuvo lugar el gran terremoto de Lisboa, episodio decisivo para muchos y en muchos aspectos, y en especial para aquellos que habían dedicado tiempo al estudio de la incipiente disciplina geofísica. Kant dedicó un estudio a este episodio, que publicó en 1756.

Historia natural universal y teoría de los cielos recién se haría ampliamente conocido hacia fines de la década de 1790; más precisamente, en 1797, momento de su primera edición oficial. Dos reediciones aparecieron poco más tarde, en 1798 y 1808. – El libro no se tradujo al inglés sino hasta 1900.– La edición de 1797 aparece tan solo un año después de la publicación de la *Exposition du système du monde* de Laplace. Se ha especulado varias veces con que el interés tardío por la obra de cosmología de Kant pudo haber sido provocado por la aparición del celebrado libro de Laplace (cf. Shea, 1986).

La comparación entre los tratados de cosmología de Laplace y de Kant resulta interesante. Muestra tanto diferencias como coincidencias en muchas apreciaciones sobre la estructura del universo y, en particular, sobre la formación y composición de los astros. Las concepciones teológicas y filosóficas de ambos autores también quedan expuestas en sendos escritos¹²³. Además del caso de Laplace, puede resultar provechoso comparar los temas de investigación de Kant hacia 1754-1756 con los de otros notables científicos del siglo XVIII. Un caso particularmente interesante es el de John Michell, a quien ya mencionamos al hablar de la historia de la ley de la inversa del cuadrado. Al igual que Kant y Laplace, Michell se abocó a la piadosa tarea de inferir la composición de los astros distantes a partir de las propiedades físicas que nos son familiares en la Tierra. Esta fortísima hipótesis epistemológica, educada a la luz de la llama aún encendida por los eventos científicos del siglo anterior, vendría a renovar de manera irreversible la forma en la que se pensaría el cosmos.

Una teoría de los cielos en el siglo XVIII

Como adelantábamos, *Historia natural universal y teoría de los cielos* no se publicó en inglés sino hasta comienzos del siglo XX, cuando William Hastie lo tradujo¹²⁴ en 1900. Hoy existen al menos otras tres traducciones al inglés. Existen también traducciones al castellano, como la que hiciera Pedro Merton a partir de la edición alemana de Meiner, Leipzig, y que apareciera en 1946 (Kant, 1946 [1755]). Nosotros emplearemos la traducción al inglés que hiciera Olaf Reinhardt (cf. Watkins, 2015) y presentaremos nuestra propia traducción al castellano de varios fragmentos importantes a partir de esta.

¹²³ A menudo se cita la anécdota de Laplace afirmando, ante la pregunta de Napoleón acerca el lugar que ocupaba el Creador en su modelo cosmológico, que la hipótesis de Dios no le era necesaria. Por su parte, para Kant la existencia de Dios se manifiesta en el mundo, no debido a su intervención en él, sino precisamente por la perfección que exhibe una obra que no necesita de dicha intervención para que emerja tal armonía.

¹²⁴ La traducción original de Hastie incluye solo partes del libro. La tercera parte se publicaría en inglés más tarde.

Aunque circuló de manera limitada antes de su publicación de 1797, su libro de cosmología no alcanzó repercusión a la altura de las expectativas de Kant. Aun así, los expertos han señalado en reiteradas oportunidades que se trata de un texto notablemente más maduro que los otros escritos científicos que Kant produjo en su juventud. Cassirer lo elogió, diciendo que en *Historia natural universal* se encuentra “una mirada intelectual libre y el juicio maduro sobre la totalidad de los problemas científicos” (cf. Cassirer, 2018, p. 50).

El carácter científico de los temas tratados en su libro de cosmología no sería suficiente para que Kant abandonara su estilo cualitativo. Kant no era un matemático brillante, y ni siquiera podría decirse que la física se encontraba entre sus habilidades más destacables. Su maestría radicaba en su intuición. A eso se debe la carencia de detalles cuantitativos en *Historia natural universal*, más allá de algunas estimaciones generales y no necesariamente bien justificadas. Esto contrasta con la precisión que sí encontramos en otros filósofos naturales de esos días dedicados a temas similares; por ejemplo, en Laplace y Michell. En el libro de Kant abundan las analogías y las estimaciones heurísticas informales. Aun así, muchos de sus argumentos resultan válidos y muchas de sus conclusiones terminaron siendo correctas. Un ejemplo notable es su explicación cualitativa del origen del sistema solar mediante un mecanismo de aglutinación de masa a partir de una materia original en acreción, *i.e.* la llamada hipótesis nebulosa. También sus especulaciones acerca de la naturaleza de las nebulosas resultan adecuadas, incluso desde una perspectiva actual. Otras de las afirmaciones que aparecen en su libro han sido descartadas, lo que a nadie debe sorprender dada la “dificultad inherente” del tema. El libro trata del comienzo del sistema solar, de la estructura y movimiento de la Vía Láctea, de la densidad de los planetas, de la disposición y movimiento de estos, de la posibilidad de otros mundos, de la longevidad de la Tierra y la composición del Sol, de la infinitud del espacio, del final del mundo. El contenido es casi tan maravilloso como lo es el hecho de que muchas de sus conclusiones hayan sido acertadas.

Otro tema que aparece en varias partes del libro es la discusión acerca de la correcta interpretación de los rasgos de la perfección de Dios identificados en las leyes del universo. Sobre esto último, escribe Friedman:

Las opiniones de Kant sobre la físico-teología [se] expresan en la *Historia universal y teoría de los cielos* de 1755 y más tarde, en una forma más completa y desarrollada, en *La única base posible para una prueba de la existencia de Dios* de 1763. La idea básica de Kant es que el orden y la armonía manifestados en el universo material no surgen ni de una intervención divina especial ni de un arreglo divino especial mediante el cual Dios adapta el mundo a fines útiles a través de su sabiduría providencial. Más

bien, el orden y la armonía del universo material pueden explicarse completamente por las leyes fundamentales de las interacciones materiales (...) que determinan una evolución ordenada de la estructura del universo a partir de un caos primordial. Sin embargo, esta explicación puramente mecanicista es en sí misma la mejor prueba de un origen divino del universo; porque es Dios, y solo Dios, quien ha establecido estas leyes fundamentales de interacción (1992, p. 11).

Historia natural universal concluye con una serie de especulaciones acerca de la posibilidad de habitar otros mundos y ver otros cielos, sobre la posibilidad de existencia de seres en astros lejanos, y sobre las posibles formas de vida allí.

La constitución sistemática del universo

Al momento de escribir su *Historia natural universal* Kant se encontraba fuertemente influenciado por la cosmología de Thomas Wright, autor de la *Original Theory or New Hypothesis of the Universe* (1750), obra que también impactaría a otros racionalistas que se dedicarían al estudio del cosmos durante la segunda mitad del siglo XVIII, como Herschel y Laplace. Wright fue el primero en reconocer las nebulosas como galaxias distantes, similares a nuestra Vía Láctea. Esos otros mundos de naturaleza aparentemente similar al nuestro, esos tantos otros conjuntos de soles, invitaban a pensar en la universalidad de las reglas naturales, en una visión unificada de todo lo que existe bajo el ajustado funcionar de esas mismas leyes universales, severas, precisas, continuas, sempiternas. Los nombres importantes que aparecen en el tratado de Kant, nombres de filósofos, físicos, naturalistas y astrónomos de cuyas observaciones se valió, dejan asentada una exquisita lista de influencias de las cuales sus meditaciones abrevaban. Descuellan los nombres de Maupertuis¹²⁵ y Halley, pero sin duda es Newton el director de tan delicado concierto. Tal como lo expresó Schönfeld, *Historia natural universal* es el trabajo en el que Kant declara definitivamente su adhesión al sistema newtoniano de mundo.

Kant tuvo la pretensión de una cosmología en la que la ley universal de la gravitación y las leyes que rigen las fuerzas internas de la materia determinarían la forma de todo el mundo, entendiendo por mundo todo nuestro tridimensional, infinito y conexo cosmos en el que las substancias se afectan mutuamente a distancias siderales. Este concierto de fuerzas compone un universo que evoluciona, que se va formando a partir de un caldo primordial. La materia en

¹²⁵ Pierre Louis Moreau de Maupertuis (1698-1759) fue un matemático, filósofo y escritor francés. Fue director de la *Académie des Sciences* y presidente de la Academia de Ciencias de Prusia, por invitación de Federico el Grande.

acreción forma torbellinos gigantes de desordenada substancia que va aglutinando grumos. En millones de años esos grumos serán mundos, serán planetas orbitando soles. Los cometas y los planetas que orbiten en torno a esos soles a grandes distancias de ellos serán ligeros y, en función de esas distancias, comenzarán a sublevarse y a liberarse del plano orbital que heredaran del disco informe que les donó su substancia.

Con esto, Kant elaboraba sobre la hipótesis nebular acerca del origen de nuestro sistema solar, hipótesis que ya otros, como Swedenborg, habían contemplado poco antes. Mas es legítimo decir que Kant logró una sofisticación notable de esa idea, algo a lo que más tarde aportaría también Laplace.

Para valorar el aporte de Kant en esta materia, cabe revisar la historia de la hipótesis nebular; es decir, la teoría de que nuestro sistema solar – y acaso todos los sistemas estelares– se formó a partir de una distribución difusa de substancia. Los antecedentes históricos de ideas reminiscentes se remontan a la antigüedad, y sin demasiado esfuerzo llegaríamos hasta Demócrito, quien desarrolló la teoría de que el mundo se había originado en una vasta región en la que los átomos giraban formando un gran remolino. Según ese modelo geocéntrico del universo, la vorticidad llevó a la materia más ligera a alejarse de la Tierra y formar los astros. En todo caso, fue Emanuel Swedenborg¹²⁶ quien, en su *Prodromus Principiorum Rerum Naturalium*, de 1734, propuso por primera vez la forma moderna de una hipótesis tal, según la cual todos los astros del sistema solar formaron parte alguna vez de un sol primigenio, seminal y nebuloso, y luego fueron individuándose hasta llegar a ser los planetas y lunas que hoy conocemos.

Kant conocía la teoría de Swedenborg y elaboró sobre ella en su libro de 1755. Hacia 1778, el conde de Buffon¹²⁷ consideró una variación vesánica del origen del sistema solar y, junto a otros naturalistas del siglo XVIII, desafió la genealogía que el arzobispo Ussher¹²⁸ había propuesto para el origen de la Tierra basándose en una exégesis de las sagradas escrituras. Si el siglo XX fue aquel en el que aprendimos que mirar al cielo es mirar al pasado, fue en el siglo XVIII cuando aprendimos que mirar al cielo es mirar la Tierra: los astros, incluso los más distantes, no son sino grandes cúmulos de materia constituidos por substancias comunes cuya

¹²⁶ Emanuel Swedenborg (1688-1772) fue un teólogo, filósofo y científico sueco, cuyos escritos se encuentran teñidos de misticismo.

¹²⁷ Georges-Louis Leclerc (1707-1788), conde de Buffon, fue un naturalista, matemático, astrónomo y erudito francés. Los más de treinta volúmenes de su *Histoire Naturelle* influyeron en las siguientes generaciones de naturalistas franceses.

¹²⁸ James Ussher (1581-1656) fue el arzobispo de la Iglesia de Irlanda. Fue un prolífico escritor, erudito y líder de la iglesia.

física está sujeta a las mismas leyes con las que nos es dado experimentar aquí en la Tierra. Así, por ejemplo, la velocidad de enfriamiento del hierro probado en los laboratorios nos diría sobre los tiempos geológicos del enfriamiento de nuestro planeta, y la volatilidad que medimos para los gases nos hablaría de la composición de Saturno. Solo esta forma de pensar el universo haría posible saber algo de lo inmensamente distante. El escrutinio de la descomposición espectral de la luz proveniente de las estrellas lejanas nos permitiría estar ahí sin estarlo.

La hipótesis nebular de Swedenborg y Kant fue modificada por Laplace en 1796. La historia de los avances teóricos y observacionales logrados en los siglos XIX y XX que llevaron a la ampliamente aceptada teoría actual del modelo nebular solar no son materia en la que necesitemos detenernos. No obstante, quizá sí merezca la pena decir que incluso cien años después de la formulación de la hipótesis de Swedenborg y Kant, el tema se debatía en los claustros. A mediados del siglo XIX, algunos renombrados científicos aún se oponían a la idea de que nuestro sistema solar se hubiera formado de una nebulosa original. James Clerk Maxwell¹²⁹, por ejemplo, argumentaba contra ello; también lo hacía con encono Sir David Brewster. No fue sino hasta 1969 que una teoría satisfactoria compatible con la versión laplaciana de la hipótesis nebular fue finalmente obtenida y el consenso alcanzado. Esto muestra la osadía de las meditaciones cosmológicas de Kant hacia 1755. Más de doscientos años serían necesarios para que su idea sobre el origen de los sistemas estelares fuera aceptada.

Contenido de la Historia natural universal de Kant

Epiluguemos el libro de cosmología de Kant (1755) para entender cómo este viene a articular su metafísica presente en su primer libro (1749) con lo que más tarde serían sus trabajos sobre filosofía natural en la época crítica (1786).

Declara el autor en el prefacio que pretende “descubrir el sistema que conecta las grandes partes de la creación en toda la extensión del infinito” (Kant, 1755; Watkins, 2015, p. 194). Se propone “derivar la formación de los propios cuerpos celestes y el origen de su movimiento a partir del primer estado de la naturaleza a través de leyes mecánicas”.

El libro comienza con una digresión teológico-metafísica acerca de la injerencia de Dios en el mundo. Adelantándose al debate que podría suscitar una visión mecanicista y autosuficiente

¹²⁹ James Clerk Maxwell (1831-1879) fue un físico escocés conocido por la formulación de la teoría electromagnética, *i.e.* la teoría clásica de campos que permite aunar en un único marco teórico los efectos eléctricos, magnéticos y ópticos. Esta teoría es considerada la segunda gran unificación de la física, siendo la primera la unificación de los fenómenos gravitatorios realizada por Isaac Newton. Su estudio de la radiación electromagnética y de la termodinámica le valieron el lugar de uno de los científicos más importantes de la historia.

de la naturaleza, Kant oficia de abogado del diablo: “Si el universo [*Weltbau*] con todo su orden y belleza es simplemente un efecto de la materia dejada a sus leyes generales de movimiento, si el ciego mecanismo de los poderes de la naturaleza sabe cómo desenvolverse de manera tan magnificente y con tal perfección, [entonces] la naturaleza [sería] suficiente en sí misma, el gobierno divino [sería] superfluo”, pre-argumentaría (p.194). Nos dice que, en tal caso, “una filosofía impía pisotea la fe, que entrega a esa filosofía una luz brillante para iluminarla”. Es precisamente en el acuerdo entre su sistema y la religión donde Kant encuentra la confianza para sostener su modelo de mundo. Escribe:

Si las leyes universales de causalidad de la materia son también un resultado del plan más elevado, entonces presumiblemente no pueden tener otro propósito que el que se esfuerza por cumplir por sí mismas ese plan que la sabiduría suprema se ha propuesto (p. 195).

Para Kant, el rasgo de perfección de la obra de Dios es precisamente ese funcionar mecánico, preciso, perfecto, según unas leyes suficientes que no requieren de su intervención. “[Solo] la materia básica en sí, cuyas propiedades y fuerzas subyacen a todos los cambios, es una consecuencia directa de la existencia divina”, escribe (p. 263). Kant habla del universo empleando palabras como “edificio” [*Gebäude*] y “arquitecto” [*Werkmeister*]:

La teoría que hemos propuesto nos abre una perspectiva sobre el campo infinito de la creación y presenta un indicio de la obra de Dios que es apropiado para la infinitud del gran arquitecto (p. 222).

Incluso la misma evolución del cosmos es parte de ese mecanismo de arquitectura refinada. No tuvo necesidad Dios de echar a funcionar el gnomónico mecanismo¹³⁰ en su estado actual, sino que el estado actual del mundo se alcanza a partir de un caos original precisamente por gracia de esas perfectas leyes que determinaron su evolución hacia la magnificencia que hoy le reconocemos:

Veo que la materia se forma de acuerdo con las leyes de atracción establecidas y modifica su movimiento a través de la repulsión. Sin la ayuda de inventos arbitrarios, disfruto del placer de ver la creación de un todo bien ordenado gracias a las leyes de

¹³⁰ Kant reserva las siguientes palabras para describir la obra de Newton en relación con su físico-teología: “Newton, ese gran admirador de las cualidades de Dios desde la perfección de su mundo, que combinó los conocimientos más profundos sobre la excelencia de la naturaleza con la mayor reverencia hacia la revelación de la omnipotencia divina” (p. 269).

movimiento establecidas, que se parece tanto al sistema del mundo que tenemos ante nuestros ojos que no puedo evitar considerarlo igual a este (p. 197).

Vemos aquí que no solo la fuerza gravitatoria es necesaria para la física kantiana, sino también lo son las fuerzas internas de la materia, que dotan a esta de su volatilidad, de sus presiones internas, de su impenetrabilidad y de su tendencia expansiva. A lo largo de *Historia natural universal* la discusión de la composición de la materia cobra un peso importante. La densidad de los planetas, la tendencia de la materia a organizarse a partir de una densa masa primigenia, y muchos otros asuntos le exigen a Kant inmiscuirse en la cuestión de la hechura de las substancias:

No negaré que la teoría de Lucrecio o la de sus predecesores, Epicuro, Leucipo y Demócrito, tiene mucho en común con la mía. Como esos filósofos, postulo un primer estado de la naturaleza como una dispersión universal del material original de todos los cuerpos del mundo, o átomos, como ellos los llaman. Epicuro postuló una pesadez que provoca la caída de estas partículas elementales y esto no parece ser muy diferente a la atracción newtoniana, la cual acepto; también les concedió una cierta desviación del movimiento en línea recta de su caída, aunque tenía nociones absurdas de sus causas y efectos: esta desviación corresponde en cierta medida al cambio en la caída recta que atribuimos a la fuerza repulsiva de las partículas (p. 198).

Kant se confiesa atomista, aunque evita dar detalles de una teoría microscópica la materia. Abordaría la cuestión de la materia en más detalle recién al año siguiente, en su *Monadología física* (1756). Más tarde, en *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* (1786), su teoría sobre la constitución íntima de la materia se volvería más precisa, aunque manteniendo algunos de los rasgos de la audaz idea que bosquejaba en 1756: Kant postula la existencia de al menos dos fuerzas fundamentales de la naturaleza: la fuerza gravitatoria, tendiente a la agrupación de la materia y la unión de los cuerpos, y otra fuerza que viene a avivar el movimiento de los átomos. Al hablar de esta segunda fuerza, Kant refiere a las “nociones absurdas” que Epicuro tenía al respecto, refiriéndose sin duda al *clinamen*, esa substancia hipotética que, según Epicuro, venía a zamarrear a los átomos en el aire, propinándoles su movimiento browniano, otorgándoles no solo su vida sino también su indeterminado devenir. Pero no hay lugar en la física kantiana para devenires inciertos ni para átomos díscolos que siguen trayectorias indeterminables. En contra de la desviación “sin ninguna razón” que Epicuro consideraba para los átomos, Kant escribe: “En mi teoría (...) encuentro que la materia está ligada a ciertas leyes necesarias. En su completa disolución y dispersión, veo que un todo

hermoso y ordenado se desarrolla de forma bastante natural” (pp. 198-199). Para Kant, la materia “[n]o está en libertad de desviarse de este plan de perfección” (p. 199). Ese perfecto plan es el que ordena a cada componente del mundo a ceñirse a las leyes naturales: “La materia, que es el material original de todas las cosas, está así sujeta a ciertas leyes, y si se deja libremente a [merced de] estas leyes, necesariamente debe producir bellas combinaciones” (p. 199). Ese plan es, para Kant, causa y razón de la perfección: “[Un] Dios existe precisamente porque la naturaleza no puede comportarse de otra manera que no sea de una manera regular y ordenada, incluso en el caos” (p. 199).

Los Principia: paráfrasis y extrapolación (digressio)

La fuerza de la gravitación universal de Newton, *i.e.* la ley de la inversa del cuadrado de la distancia, explica las trayectorias de los astros en el cielo: secciones cónicas cuya forma y dinámica son compatibles con las tres leyes de Kepler. Dos de las leyes de Kepler vuelven a la de la inversa del cuadrado una ley *necesaria*. Newton lo demostraba de manera apodíctica en el Libro 1 de sus *Principia*. Es precisamente debido a ello que, más tarde, en el período crítico, Kant parecería seducido por la idea de poder incorporar la ley de la gravitación universal como un *a priori*. Este riesgoso movimiento, que discutiremos *in extenso* cuando tratemos el contenido físico de los *Prolegómenos*, nunca llegó a concretarse del todo, sino que simplemente aparece en la obra crítica de Kant como una insinuación. Incorporar las fuerzas fundamentales como leyes *a priori* o, tal como lo interpretara Friedman, como leyes con un *status* mixto, demanda un giro inteligente que Kant emprende al intentar designar al entendimiento como mediador entre el espacio y la fuerza, entre las verdades geométricas y las leyes concordantes con estas. Nos detendremos en el período crítico más adelante, en la Tercera Parte de este trabajo; por el momento, regresemos a 1755 y a la extrapolación que Kant hacía entonces de la teoría newtoniana.

En una paráfrasis de los *Principia* de Newton, con tono propedéutico, Kant escribe:

[Una] fuerza tiene que impulsar continuamente al planeta a través de toda su órbita hasta el punto central del Sol. Entonces, esta fuerza descendente, que se aplica a todo el sistema planetario y se dirige hacia el Sol, es un fenómeno establecido de la naturaleza, y la ley por la cual esta fuerza se extiende desde el centro hasta los confines del espacio ha sido igualmente probada de manera confiable. Siempre disminuye en proporción inversa al cuadrado del aumento en la distancia desde el centro. Esta regla fluye de una manera igualmente infalible a partir del tiempo requerido por los planetas para sus órbitas a diferentes distancias. Estos tiempos son siempre las raíces cuadradas

del cubo de las distancias medias al Sol, de las cuales podemos deducir que la fuerza que atrae a estos cuerpos celestes al centro de sus revoluciones debe disminuir en proporción inversa al cuadrado de la distancia (p. 213).

Preparando el terreno para proponer la universalidad de su sistema, agrega:

Precisamente la misma ley que se aplica entre los planetas en la medida en que orbitan alrededor del Sol, también se encuentra en los sistemas pequeños, a saber, los constituidos por lunas que orbitan alrededor de sus planetas principales. Las duraciones de sus órbitas son proporcionales a las distancias exactamente de la misma manera (...) (*ibid.*).

La ley de la gravitación es una ley fundamental para la cosmología kantiana. Para Kant, esa ley está incorporada a la esencia misma de la materia, y esa convicción lo llevaba a concluir que la gravedad debería ser ilimitada (*cf.* p. 217). “El Sol no limita la extensión de su fuerza de atracción a la región estrecha del sistema planetario. A todas las apariencias, lo extiende hasta el infinito”, escribe. La creencia de que la ley de la gravitación de Newton tenía un alcance infinito y de que los astros extendían sus influjos hasta los confines remotos del cosmos no era poco frecuente entre los astrónomos de la época. Etribaba en esa creencia la idea de que era posible obtener un modelo cosmológico en el que el universo apareciera como una gran composición de todas sus partes:

Entonces, ¿esa relación sistemática que consideramos antes en todas las partes por separado ahora se extenderá al todo y abarcará el universo entero, todo en la naturaleza, en un solo sistema a través de la combinación de atracción y fuerza centrífuga? Yo digo sí; si solo hubiera galaxias separadas que, entre ellas, no tuvieran conexión unificada con el infinito, se podría mantener a estos sistemas a salvo de la destrucción con la que los amenaza la atracción recíproca interna. Sin embargo, esto requeriría una determinación medida con tanta precisión en las distancias equilibradas de acuerdo con la atracción, que incluso el más mínimo desorden provocaría la destrucción del universo y lo llevaría al colapso en largos períodos que, en última instancia, aún tendrían que llegar a un final. Una constitución mundial que no podría sostenerse sin un milagro no tiene el carácter de permanencia que es una característica de la elección de Dios; por lo tanto, es mucho más apropiado si tuviéramos que hacer un sistema de toda la creación, uno que relacione todos los mundos y órdenes de mundos que llenan la totalidad del espacio infinito a un solo punto central (p. 264).

Una fuerza de dominio infinito interconecta todos los soles distantes. Solo ante la presencia dominante de un astro central en cuyas inmediaciones se ubican mundos nos es permitido hablar de que esos mundos orbitan *su* sol. Mas sepamos que se trata de una ilusión. En realidad, todos los mundos sienten *todos* los soles y, de alguna manera, los orbitan. A su vez, los soles danzan en conjunto y forman galaxias, que forman cúmulos, que se distribuyen en filamentos de aspecto neuronal. Kant sabía de las galaxias [*Weltgebäude*]; las sabía lejanas en distancia, y las intuía próximas en naturaleza. Sobre la nuestra, supo decir:

Cualquiera que mire el cielo lleno de estrellas en una noche despejada será consciente de la banda brillante que, por la gran cantidad de estrellas que se concentran allí más que en otros lugares y por el hecho de que en las enormes distancias ya no pueden ser visto como estrellas individuales, exhibe una luz uniforme, a la que se le ha dado el nombre de Vía Láctea (p. 216).

Kant entendía que la Vía Láctea, esa estructura lechosa que surca el firmamento, no era sino la danza de muchos millones de soles, en torno a los que giran planetas, en torno a los que giran lunas. “Todos los soles del firmamento tienen movimientos orbitales alrededor de un punto central universal o alrededor de muchos”, escribía (Kant, 1755; *cf.* Watkins, 2015, p. 217). Esa franja en el cielo sería un teselado compuesto por sistemas solares. Su ancho aparente se expresaría, también, como una sublevación de soles ante el infructuoso intento de las fuerzas por someterlos a un plano ecuatorial de escalas inimaginables. Esto conforma lo que Kant llama *Systematische Verfassung des Weltbaues*; es decir, la constitución sistemática del universo.

Pero las enormes distancias no son el infinito. De ser infinita la acción de las leyes, habría otras galaxias más allá de la nuestra. Kant también habló de ellas. Con timidez, las llamó “otras vías lácteas”. Afirmó que era natural pensar que las nebulosas, esos objetos del cielo de aspecto difuso, son también conjuntos de estrellas y no estrellas individuales de una enormidad inusual, tal como lo sugerirían el tamaño aparente que tienen y la distancia a la que inferimos que se encuentran. Escribe sobre esto:

Es mucho más natural y concebible que [las nebulosas] no sean estrellas únicas de tal tamaño, sino sistemas de muchas estrellas, cuya distancia de nosotros las exhibe como si estuvieran en un espacio tan estrecho que la luz, que es imperceptible desde cada una individualmente, se vuelve un pálido uniforme que reluce con su inconmensurable número (p. 221).

También escribe:

Todas las estrellas fijas que el ojo descubre en la profundidad hueca de los cielos y que parecen demostrar una especie de extravagancia, son soles y puntos centrales de sistemas similares. La analogía, pues, no deja lugar a dudas aquí de que estos se formaron y generaron de la misma manera que en la que nos encontramos, a partir de las partes más pequeñas de materia elemental que llenaban el espacio vacío, esa extensión infinita de presencia divina. (...) Ahora bien, si las estrellas fijas constituyen un sistema cuya extensión está determinada por las esferas atractivas del cuerpo en el centro, ¿no habrán surgido más sistemas solares y, por así decirlo, más caminos en el campo ilimitado del espacio? (pp. 260-261).

Mostraba así Kant su certeza de que la Vía Láctea era un gran conjunto de estrellas, y le sumaba a ello su especulación acerca de que muchas de esas estrellas formarían sistemas solares individuales.

Ya en 1610 Galileo había logrado resolver con su telescopio las estrellas individuales que forman la Vía Láctea. Teniendo esto en cuenta, quizá la idea de que formamos parte de un conjunto compuesto por millones de sistemas estelares como el nuestro no resulte tan sorprendente. Mas la idea de que las nebulosas distantes sean también galaxias sí es de una osadía que es importante ponderar.

Dijimos ya que fue Thomas Wright el primero en identificar las nebulosas como galaxias distantes. Eso ocurrió hacia 1750, unos años antes de que Kant escribiera su *Historia natural universal*. Sin embargo, hasta la década de 1920 era ampliamente extendida entre astrónomos la idea de que la Vía Láctea contenía la totalidad de estrellas del universo. Así fue al menos hasta el 26 de abril de 1920, cuando tuvo lugar el llamado “gran debate”. Se llevó a cabo en el Museo Smithsonian de Historia Natural y tuvo como protagonistas a los astrónomos Harlow Shapley y Heber Curtis. Mientras Shapley sostenía que las nebulosas distantes eran objetos estelares relativamente pequeños que poblaban la periferia de la Vía Láctea, Curtis defendía la idea de que esas nebulosas eran, en realidad, galaxias independientes. Esto último implicaba que debían esas ser enormes y distantes. La controversia se cerró más tarde con las observaciones de Edwin Hubble, que dejaban en claro que la Vía Láctea era solo una de las muchas estructuras que comparten su fisonomía.

Esto deja en claro cuán genial resultaba aquella intuición de Kant acerca de la estructura replicada e infinita del mundo, en la que muchas vías lácteas concurren y se entrelazan tendiendo invisibles hilos newtonianos que cumplen con tejer el cosmos.

Nuestra galaxia, enorme estructura que no es sino una más de muchas. Nuestro sol, uno de los cientos de miles de millones de soles que la componen. Si en un acto de justicia poética nos

fuera dado asignarle una estrella a cada alma que haya existido, aun quedarían en nuestra galaxia decenas de miles de millones de estrellas sin alma. Espiral gigantesca con un diámetro visible de cientos de miles de años luz, escoltada por galaxias satélites que acompañan su viaje. La Vía Láctea es parte del llamado grupo local de galaxias, que a su vez es parte del supercúmulo de Virgo, que, junto a otros cientos de miles de galaxias, componen el supercúmulo Laniakea. Esto viene a confirmar una cosmología similar a la que Kant ya intuía en su *Historial natural universal*.

Más allá de su osadía y de sus aciertos, Kant no abandonaría su cautela. Siendo consciente del carácter especulativo de muchas de sus afirmaciones, y tal como lo hiciera en tantas otras oportunidades, afirmaría su preferencia por presentar sus pensamientos sobre el origen y constitución del mundo “en forma de hipótesis” (cf. p. 227).

Un retorno al problema de la materia

Entre los trebejos de los que dispone la cosmología kantiana, hay más fuerzas que la gravitatoria. Como dijimos, están también las fuerzas de la materia, que dotan a esta de su naturaleza expansiva, de su impenetrabilidad, de su volatilidad. Dice Kant al respecto:

La naturaleza, sin embargo, tiene todavía otras fuerzas reservadas que se expresan principalmente cuando la materia se disuelve en sus partículas, fuerzas por las cuales pueden repelerse entre sí y, por su conflicto con la fuerza de atracción, producir ese movimiento, es decir, por así decirlo, una vida continua en la naturaleza (pp. 228-229).

Esta concurrencia de fuerzas sería desplegada en su *Monadología física* (1756) y en su posterior *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* (1786) con mayor detalle y generalidad. Sobre las fuerzas de la materia, escribe:

A través de esta fuerza repulsiva, que se revela en la elasticidad de los vapores, en la emisión de cuerpos de olor fuerte y en la dispersión de toda la materia espirituosa, y que es un fenómeno indiscutible de la naturaleza, se desvían los elementos que descienden a sus puntos de atracción, desde la línea recta de su movimiento hacia un lado, y el descendente vertical finalmente cambia a movimientos orbitales que abarcan el punto central del descenso (p.229).

Si bien en *Historia natural universal*, el interés está mayormente puesto en el cielo, debemos recordar que para Kant y sus contemporáneos el cielo se rige por una física idéntica a la de nuestro entorno, aun cuando las escalas sean tan diferentes. Así, por ejemplo, Kant describe el movimiento browniano de la materia con la firme convicción de que una física idéntica aplicará

en los otros orbes del sistema solar, cuyas diferencias con la Tierra se explicarían por la contingencia o por la dinámica, mas no por la validez de leyes distintas allí¹³¹. Es por eso que su conocimiento de las propiedades de las sustancias comunes lo habilita a hablar de la acreción de sustancia que forma los astros, y de las distintas composiciones de los mundos. Incluso, Kant ensaya una hipótesis acerca de la razón por la que los planetas más lejanos del Sol tienen composiciones tan volátiles en comparación a la de los planetas como el nuestro: “Los planetas no tienen por qué tener, todos, la misma densidad”, señala Kant con razón (cf. p. 233), y se aboca a discurrir acerca de la relación entre densidad y masa de los seis planetas conocidos del sistema solar.

La pregunta sobre la densidad de los astros sería de una tremenda importancia en la física de finales del siglo XVIII, aunque su importancia no se haría evidente sino hasta el siglo XX. Volveremos sobre esto más adelante.

*Contingencia de la cantidad de mundos*¹³²

Mencionamos arriba al pasar que, en sus digresiones sobre la composición de los planetas, Kant refería a los seis que eran conocidos en su tiempo. No obstante, Kant aceptaba abiertamente la posibilidad de que existiesen más planetas en el sistema solar. De hecho, afirma que sus consideraciones abarcan “desde Mercurio a Saturno, o tal vez, más allá de él si es que existen más planetas”.

Urano, el séptimo planeta del sistema solar, y el tercero en tamaño, no sería formalmente descubierto sino hasta el 13 de marzo de 1781, día en el que Herschel anunció su hallazgo. El planeta es visible a ojo desnudo, pero su lento movimiento y su baja luminosidad aparente llevaron a que no se lo identificara como planeta sino hasta finales del siglo XVIII. Algo similar ocurrió con el octavo planeta, Neptuno, descubierto en septiembre de 1846 tras una búsqueda bien fundamentada: los vaivenes de Urano delataban su presencia. Urano fue el único planeta

¹³¹ Kant presenta teorías similares sobre la elasticidad de la materia y sobre la volatilidad de ciertas sustancias en relación a muchos fenómenos y muy diversos. Algunos de esos fenómenos se encuentran en la Tierra; por ejemplo, su disertación sobre el fuego (Kant, 1755b) incluye una discusión sobre las fuerzas de agregación de la materia similares a las expuestas en su libro de cosmología. También en el caso de fenómenos de escala intermedia (e.g. fenómenos atmosféricos), Kant exponía ideas en las mismas líneas (cf. Kant 1764). No hay duda de que Kant consideraba que las leyes que gobernaban los estados de agregación de la materia eran de validez universal, las mismas leyes en las distintas escalas físicas y en escenarios físicos muy diferentes.

¹³² La palabra “mundo” en este contexto cosmológico adquiere un significado distinto. No refiere a la posibilidad de “otros mundos” en el sentido metafísico del que se habla en *Ideas de la verdadera valoración de las fuerzas vivas*, sino a otros sistemas planetarios y estelares en nuestro universo.

descubierto durante la vida de Kant, con la excepción notable del pequeño planetoides Ceres¹³³, descubierto el primer día de 1801. – Hace miles de millones de años, un Júpiter celoso expulsó del sistema solar a aquellos cuerpos que aspiraban a ser planetas y rehusaban fundirse con sus hermanos mayores. Mas uno luchó hasta quedarse: Ceres huyó de los gigantes y se refugió tras las rocas, en el cinturón de asteroides, entre Marte y Júpiter—.

El descubrimiento de nuevos planetas ha tenido siempre una enorme importancia para la filosofía natural. Esto se debe a que la existencia de nuevas masas orbitando el Sol nos permite evaluar hipótesis de contingencia o de necesidad de ello, e incluso nos permite descartar teorías sobre las leyes que rigen el orden del cosmos. Un ejemplo conocido es el modelo expuesto por Kepler en su *Mysterium cosmographicum* (1597), según el cual la cantidad y distribución de intersticios entre las órbitas planetarias estaba en concordancia con la posibilidad de inserción de sólidos platónicos entre las esferas celestes. Esta teoría es refutada por la existencia de un séptimo planeta. Un segundo ejemplo es el de la llamada ley de Titius-Bode, que merece ser comentado debido a que involucra a Hegel: la ley de Titius-Bode fue un modelo, posteriormente refutado, acerca de la disposición de los distintos planetas en el sistema solar¹³⁴. Se escribía como una fórmula matemática recursiva para la distancia entre el n -ésimo planeta y el Sol, aceptando ya la posibilidad de que muchos de ellos existieran. Si bien esta ley acertó correctamente las órbitas de Urano y de Ceres, se mostró falsa cuando, en 1846, Neptuno apareció, díscolo, donde quiso estar, desobedeciendo totalmente esa ley.

Hacia 1801, Hegel escribió su *Dissertatio philosophica de orbitis planetarum*, donde criticaba la búsqueda de nuevos planetas basada en la ley de Titius-Bode. Ese mismo año Ceres era descubierto en el quinto lugar de la serie. Esta historia suele referirse erróneamente como un error de Hegel; pero no es que haya él negado la existencia de otros planetas, tal como se suele afirmar, sino que su crítica se dirigía, con acierto, al método con el que esos nuevos mundos estaban siendo buscados:

[A]lgunas observaciones sobre las relaciones de los desplazamientos planetarios, que parecen ser solo una cuestión de la experiencia. [N]uestra búsqueda de las leyes de la naturaleza, y nuestro conocimiento de ellas, se basa en nada más que la creencia

¹³³ Ceres es un planeta enano de nuestro sistema solar. Ubicado en el cinturón de asteroides, entre Marte y Júpiter, Ceres es el asteroide más grande (unos 950 kilómetros de diámetro) de los que existen entre el Sol y Neptuno. Debido a su gran masa (aproximadamente el 1,2% de la masa de la Luna), alcanzó el equilibrio hidrostático y a eso debe su esfericidad. Ceres fue descubierto el 1 de enero de 1801 por el astrónomo italiano Giuseppe Piazzi, sacerdote católico de la Academia de Palermo, Sicilia.

¹³⁴ La ley fue formulada por Johann Titius (1766) y por Johann Bode (1772). Fórmulas similares habían sido consideradas por David Gregory (1715) y por Christian Wolff (1724).

de que la naturaleza está formada por la razón y que estamos convencidos de la identidad de todas las leyes naturales. Siempre que aquellos que buscan leyes a través de la experiencia y la inducción se encuentran con algo que parece ser una ley, se regocijan con su hallazgo y la identidad de la naturaleza y la razón que hay allí, y cuando otras apariencias son difíciles de acomodar, sienten algunas dudas acerca de los experimentos anteriores e intentan por todos los medios de establecer armonía entre los hallazgos. Nuestro tema, las órbitas de los planetas, ofrece un ejemplo de esto: Si bien los desplazamientos [las posiciones respecto del Sol] de los planetas sugieren una progresión aritmética en la que, desafortunadamente, ningún planeta de la naturaleza corresponde al quinto lugar de la serie, se supone que realmente existe entre Marte y Júpiter, sin que lo sepamos, un planeta que se mueve a través del espacio exterior. Ahora se está buscando con impaciencia (Hegel, III, 2009 [1801]).

El descubrimiento de Ceres constituye una desafortunada casualidad para la *Dissertatio* de Hegel. Estaba él en lo cierto¹³⁵ al sospechar de la mera contingencia de la fórmula de Titius-Bode. La aparición del planetoides en el sitio donde la falaz fórmula criticada por Hegel predecía la existencia del quinto planeta más cercano al Sol pareció quitarle su razón. Hegel murió quince años antes del descubrimiento oficial del planeta Neptuno, el primero que se atrevió a violar la fórmula de Titius-Bode. Es así que el descubrimiento de Neptuno, además de su evidente importancia científica, tuvo un contenido epistemológico nada despreciable, en cuanto vino a echar por tierra falaces interpretaciones de hechos contingentes y exponer la dialéctica de un caso en el que tales interpretaciones parecían incluso haberse confirmado¹³⁶.

Decíamos antes que el descubrimiento de Neptuno, al igual que el de Urano, podría haberse anticipado largamente. En efecto, los dibujos realizados por Galileo el 28 de diciembre de 1612 y el 27 de enero de 1613, fieles trasuntos de lo que habrían sido algunas de sus primeras observaciones a través de un telescopio, contienen unos puntitos intrigantes que coinciden con

¹³⁵ Aunque Hegel estaba en lo cierto acerca de la fórmula de Titius-Bode, la teoría que él mismo sugiere al final de su *Dissertatio* basándose en relaciones pitagóricas es también errónea y carece de toda justificación científica, incluso para el conocimiento científico de su época. La teoría de Hegel acerca de la ubicación de los planetas es una hipótesis *ad hoc* basada en observaciones del *Τίμαιος* de Platón, y en algún sentido puede ser comparada a la teoría que el joven Kepler expone en su *Mysterium cosmographicum*.

¹³⁶ Acerca de esto, cabe atender a lo que Kant escribe sobre la posibilidad de que ciertas leyes naturales aparentes no sean verdaderas leyes –leyes necesarias– sino mera contingencia. En el prólogo a la segunda edición de la *Crítica de a razón pura*, Kant escribe: “los investigadores de la naturaleza [c]omprendieron que la razón solo entiende lo que ella misma produce según su plan; que ella debe tomar la delantera con principios de sus juicios según leyes constantes, y debe obligar a la naturaleza a responder a sus preguntas, mas no debe solo dejarse conducir por ella como si fuera llevada del cabestro; pues de otro modo observaciones contingentes, hechas sin ningún plan previamente trazado, no se articulan en una ley necesaria, que es, empero, lo que la razón busca y necesita” (KrV, B XIII; cf. Kant, 2014 [1787], p. 19).

lo que, según sabemos ahora, habría sido la posición del por entonces desconocido Neptuno en aquellos días. Neptuno se encontraba en conjunción con Júpiter en el cielo nocturno de esas fechas. En ambas ocasiones, Galileo parece haber confundido a Neptuno con una estrella fija¹³⁷, y es por esto que no se le atribuye a él su descubrimiento. Más de doscientos años debían pasar para que supiéramos de Neptuno. Estudios de historiadores sugieren que Galileo había incluso advertido el sutil movimiento de aquella estrella. Estuvo él, entonces, a muy poco de descubrir el octavo planeta.

La pregunta por el fin y la cuestión del espacio infinito

Uno de los temas más interesantes que Kant trata en su libro de historia universal y teoría de los cielos de 1755, aunque no se detiene demasiado en ello, es la pregunta por el fin. Deriva esta de su modelo evolutivo del cosmos. Si el universo fluye según sus leyes hacia la magnificencia que hoy le reconocemos, habiendo partido de un caos inicial, tan antiguo y tan distinto, es inevitable preguntarse a dónde nos llevará ese devenir cósmico. Esta pregunta se entrelaza con la cuestión de la finitud del tiempo, sobre la que Kant escribe:

Todo lo que es finito, que tiene un comienzo y un origen, tiene en sí mismo la cualidad de su naturaleza limitada; debe pasar y tener un final. La duración de una estructura mundial [*Weltgebäude*] tiene, gracias a la excelencia de su disposición, una constancia que se acerca a una duración infinita en términos de nuestros conceptos. Quizás mil, quizás un millón de siglos no lo destruyan, pero debido a que la vanidad que se adhiere a las naturalezas finitas está trabajando constantemente en su destrucción, la eternidad contendrá todos los períodos posibles y, por decadencia gradual, traerá el tiempo de su destrucción (p.269).

Y como si pretendiese aliviar el tono atribulado de sus propias palabras, agrega:

Sin embargo, no debemos lamentar el fin de una estructura mundial [*Weltgebäude*] como la verdadera pérdida de la naturaleza. La naturaleza muestra su generosidad en una especie de extravagancia que, aunque algunas partes rinden homenaje a la fugacidad, se mantiene independientemente a través de innumerables creaciones nuevas en la extensión mundial de su perfección. Qué incontable masa de flores e insectos no destruye un solo día frío; pero, ¡qué poco los echamos de menos, aunque son espléndidas obras de arte de la naturaleza y pruebas de la omnipotencia divina!

¹³⁷ Su lento andar por el cielo le sirve a Neptuno de camuflaje; es fácil confundirlo con una estrella. De todos modos, mejor camuflaje encontró Neptuno cuando, a partir de 1613, se ocultó detrás de Júpiter. Púdico ante la popularidad que el telescopio iba tomando en Europa, Neptuno no reapareció en el cielo sino hasta 1707.

En otro lugar, esta pérdida se reemplaza nuevamente con abundancia. Los seres humanos, que parecen ser la obra maestra de la creación, no están excluidos de esta ley (p. 270).

Esa pregunta sobre el devenir cósmico también se entrelaza con aquella sobre la infinitud del espacio:

Todo lo que es finito, que tiene sus límites y una relación determinada con una unidad, está igualmente distante del infinito. Ahora bien, sería una tontería postular a la deidad como activa en una parte infinitamente pequeña de su capacidad creativa y considerar su fuerza infinita (...) La eternidad es insuficiente para captar las manifestaciones del ser superior si no se relaciona con la infinitud del espacio (p. 263).

Estas consideraciones de Kant acerca de la infinitud del espacio contrastan, por supuesto, con las que uno encuentra en el análisis que él hace de ese mismo problema en la *Crítica de la razón pura*, al tratar las antinomias de la razón. Allí, Kant sostendrá que no es posible afirmar que el universo es infinito, tanto en lo que respecta al tiempo y al espacio, ya que el concepto de infinitud es empíricamente imposible y, por lo tanto, es absolutamente imposible también con respecto al mundo entendido como objeto de la experiencia (*KrV*, A520/B548, cf. Kant, 2014, pp. 583-584). Este contraste en la teoría cosmológica universal kantiana del período precrítico y la cuestión de la totalidad del mundo en las antinomias ha sido revisado por muchos estudiosos. En su libro *Kant's Cosmology: From the Pre-Critical System to the Antinomy of Pure Reason*, Brigitte Falkenburg (2020) discute *in extenso* la conexión entre la filosofía natural de Kant de la década de 1750 y la filosofía del período crítico. En la opinión de Falkenburg, fue un supuesto colapso del proyecto precrítico por establecer una cosmología universal lo que lleva a Kant a la construcción de su filosofía crítica. Sin que esto implique que adherimos completamente a la perspectiva propuesta por Falkenburg, la cual desatiende ciertas continuidades entre el período precrítico y el crítico, nos interesa señalar que ella parece coincidir con nosotros en que la obra del período crítico es deudora del proyecto precrítico.

Kant aborda en su libro otras cuestiones específicas sobre la física de los astros. Habla, por ejemplo, de una posible explicación para la especial rotación de la Luna, que la compele a darnos siempre la misma cara (cf. p. 245); habla de la ligereza de los planetas y su distribución relativa respecto al Sol; habla sobre de la habitabilidad de otros mundos. Se trata de un libro maravilloso, un texto que no es solo un documento más de una época en el que un naturalismo racionalista se armaba con optimismo de nuevos instrumentos para extender nuestro

conocimiento del mundo tanto en lo macro como en lo micro; se trata de una obra esencial, en la que se hace manifiesta la idea de que es posible una concepción global de la naturaleza en la que ese macromundo y ese micromundo se encuentran unificados.

Sobre la cuestión de la densidad de los mundos y lo invisible

Dijimos ya que la pregunta sobre la densidad de los astros, a la que Kant dedica parte importante de su *Historia natural universal*, fue de gran relevancia para la física de finales del siglo XVIII. Dijimos también que resultaba interesante comparar los temas de investigación de Kant sobre cosmología con los de otros científicos de su época dedicados a temas relacionados. El problema de la densidad de los astros nos proporciona un punto de contacto que facilita ese análisis comparativo.

Hablamos ya de John Michell, filósofo natural nacido en Inglaterra en la navidad de 1724. Michell fue un físico notable. Hizo aportes en geofísica, geología, óptica, física experimental y astronomía. Entre otras cosas, Michell fue la primera persona en proponer la existencia de los astros que hoy conocemos como *agujeros negros*, incluso antes de que lo hiciera su joven colega francés, el celeberrimo marqués de Laplace¹³⁸. Se abrió con eso la posibilidad de, ya no solo estudiar la física de lo inaccesiblemente distante, sino también la física de lo inmanentemente invisible.

Hoy sabemos que los agujeros negros existen. A partir del trabajo de Karl Schwarzschild (1916) aprendimos que los agujeros negros son predicciones de la teoría general de la relatividad de Einstein (1915), y de hecho constituyen los objetos más intrigantes del universo. Su física es desconcertante, en cuanto su existencia tiene algo de paradójal: si bien se trata de objetos astrofísicos oscuros, fríos y silentes, terminan estando aparejados con los fenómenos más violentos, energéticos y luminosos del universo. Los agujeros negros desafían nuestra intuición hasta niveles asombrosos, y todas las nociones básicas de la física, como espacio y tiempo, se distorsionan cerca de ellos. Estos astros también desafían nuestra ontología ya que, desde una perspectiva moderna, es posible decir que, al menos para toda consciencia externa a

¹³⁸ Laplace habló de los agujeros negros en una de las ediciones de su *Exposition du Système du Monde*, II (1796). En otras ediciones, esas especulaciones serían omitidas debido a que descansaban fuertemente en la hipótesis de la naturaleza corpuscular de la luz, materia que se encontraba en debate en ese momento (cf. Montgomery *et al.* 2009); es interesante comparar con ediciones subsiguientes de *Exposition du Système du Monde*; por ejemplo, con la sexta edición de la parte II, de 1836.

ellos, los agujeros negros son la ausencia misma del espacio en el que *son*, e incluso existen en un tiempo que *aún* no es¹³⁹.

John Michell imaginó esos astros oscuros ya en 1783, el mismo año en el que se le atribuye haber diseñado la balanza de torsión que luego, en 1797, desembocaría en el famoso experimento llevado a cabo por su amigo Cavendish para medir con precisión la fuerza gravitatoria. El trabajo de Michell sobre la existencia de las estrellas negras – que no recibieron el nombre de agujeros negros sino hasta 1964– se publicaría al año siguiente, en 1784, en las *Philosophical Transactions of the Royal Society* de Londres¹⁴⁰. Su trabajo, sin embargo, fue tristemente ignorado hasta no hace tanto tiempo. Aun así, y sin mucho reparo, se reconoce a John Michell como el precursor de la idea de esos astros masivos y oscuros que hoy nos fascinan y cuyo estudio nos ocupa.

En 1783, Michell especulaba ya sobre la posibilidad de que existieran en el cosmos astros con masas enormes, capaces de generar cerca de ellos un campo gravitatorio tan intenso que imposibilitara incluso a la luz de escapar de su superficie. En palabras de Michell,

De existir en la naturaleza algún cuerpo de densidad no menor a la del Sol y cuyo diámetro sea mayor que 500 veces el diámetro del Sol, dado que su luz no podría alcanzarnos, [...] no podríamos tener información luminosa de ellos (Michell, 1784).

Michell no solo pensaba que esos astros podrían existir, sino también que podríamos llegar a tener algún día evidencia de su existencia.

Por supuesto, en el siglo XVIII él no tenía a su disposición la teoría general de la relatividad, *i.e.* la teoría de la gravitación de Einstein, que no aparecería sino hasta 1915. Por lo tanto, Michell realizó su trabajo valiéndose de la teoría de la gravitación de Newton. Esto le fue suficiente: resulta que, debido a una afortunada casualidad numérica, la teoría de Newton arroja resultados similares a la de Einstein cuando se trata de calcular ciertos parámetros de un agujero negro, parámetros tales como el cociente entre su masa y su diámetro. – Aunque la explicación física de los fenómenos es substancialmente distinta en ambas teorías–. Esto le permitió a Michell obtener resultados no solo cualitativa sino también cuantitativamente acertados. Calculó la masa y el radio que debería tener una estrella para que la velocidad que un objeto necesitaría para escapar de su influjo gravitatorio fuera la velocidad de la luz. Sus cálculos

¹³⁹ Suele decirse de ellos, o más precisamente de sus superficies, denominada “horizontes de eventos”, que se trata de objetos teleológicos. No ahondaremos en los detalles técnicos aquí, pero podemos dirigir la atención del lector interesado a Giribet G., (2020), *Hacia una fenomenología de lo inmanentemente invisible*, Umática 3 (2020), pp. 15-29 [Revista de creación y análisis de la imagen, Universidad de Málaga].

¹⁴⁰ Más precisamente, Michell J. (1784), *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 74, pp. 35-57.

arrojaron como resultado valores de masa descomunales. Eso no detuvo sus especulaciones: después de todo, ¿por qué no habría uno de especular con astros de tal suerte en un cosmos tan vasto? Sin una teoría sobre la composición de las estrellas ni una teoría adecuada sobre la composición de la materia, a Michell no le quedó más alternativa que suponer que las otras estrellas del cosmos tenían una composición y densidad similar a la de nuestro Sol.

El problema de la composición de los astros, y en especial la posibilidad de diferentes densidades de ellos, es discutida por Kant en el capítulo 2 de la segunda parte de las que componen *Historia natural universal*. Aunque Kant dedica la mayor parte de esa discusión de la composición a los planetas y a la posible distribución de estos en torno a la estrella central, también dedica un apéndice a discutir su teoría sobre la composición del Sol. Kant piensa al Sol como una esfera ardiente. Lo sabe de una densidad relativamente baja, y piensa en la composición de su atmósfera. Concluye que debe tener aire¹⁴¹ para hacer posible y sostenible su fuego. Imagina una dinámica procelosa, en la que esbeltas columnas de humo se elevan acarreado partículas que más tarde precipitarán en forma de lluvias de lava y azufre. Es claro que Kant y sus contemporáneos veían a las otras estrellas como astros de similares características.

Así, Michell supuso que un astro de la densidad del Sol¹⁴² pero de muchísimo más tamaño podría existir. Calculó cuánto más grande debería ser ese astro para que la luz no pudiera escapar a su propia gravitación, y obtuvo un valor enorme: cerca de 500 veces más grande que el Sol, sus cálculos decían. – Esta manera de pensar suponía, ciertamente, adoptar una posición particular en el debate que se daba entonces acerca de la naturaleza de la luz. La hipótesis de una composición corpuscular de la luz sustentaba la idea de que esta sería afectada por la gravedad–. El radio del Sol es aproximadamente 700.000 kilómetros, lo que para Michell implicaba que sus hipotéticas estrellas negras – agujeros negros–, de existir, serían gigantescas: diámetros de cientos de millones de kilómetros, estimaba. Hoy sabemos que, de hecho, agujeros negros de tales tamaños existen en el universo; e incluso los hay más grandes y más masivos; colosales astros oscuros que someten gravitatoriamente a su propia luz y ejercen su influencia gravitatoria también sobre los otros astros. Michell vio en esto una manera de observar el fenómeno; pensó en cómo el influjo de las estrellas negras sobre los otros astros

¹⁴¹ La composición del Sol se entendería mucho más tarde. La presencia de helio en el Sol, siendo ese elemento el segundo en abundancia, no fue descubierto sino hasta 1868, cuando Janssen y Lockyer observaron su línea espectral. El helio fue encontrado en nuestro planeta en 1881 por Palmieri. Pensar al Sol como una enorme bola de gas compuesta en más de un noventa por ciento por hidrógeno estaba lejos de las posibilidades de Kant.

¹⁴² La densidad del Sol es 1,41 g/cm³.

nos permitiría saber de su existencia: aunque oscuros, aunque invisibles, esos astros enormes generarían un campo gravitatorio que afectaría el movimiento orbital de los cuerpos celestes que estuvieran cerca de ellos, y si esos otros cuerpos sí fueran luminosos entonces podríamos inferir de su extraño comportamiento la presencia de la enorme estrella oscura:

[P]odríamos tener indicio [de su existencia] si se diera que algún otro cuerpo luminoso orbitara en torno a ellos, cuyos movimientos no pudiéramos explicar mediante otras hipótesis (Michell, 1784).

Es precisamente este fenómeno lo que hoy vemos, por ejemplo, en nuestra galaxia: el agujero negro del centro de la Vía Láctea, el gigantesco Sagittarius A*, es invisible a los ojos, pero el comportamiento de las estrellas cercanas a él, sometidas a su gravedad, termina delatándolo.

También hacia fines del siglo XVIII, de manera independiente y simultánea a Michell, Pierre-Simon Laplace imaginó la existencia de las estrellas negras. Lo hizo unos pocos años después, en las primeras ediciones de su *Exposition du Système du Monde*, aparecidas en 1796, pocos años después de la muerte de su colega inglés. Los detalles de los cálculos de Laplace aparecerían poco más tarde, en un trabajo¹⁴³ de 1799. A diferencia de Michell, Laplace consideraba en su *Exposition* la hipótesis de astros más densos, con densidades comparables a la de la tierra (5,5 g/cm³). Fue así como los diámetros de las estrellas negras pensadas por Laplace eran la mitad de los estimados por Michell. Laplace escribía:

La atracción gravitatoria de una Estrella con un diámetro 250 veces más grande que el diámetro del Sol y de una densidad comparable a la de la Tierra sería tan grande que la luz no podría escapar de su superficie (Laplace, 1796).

Sugirió incluso que, debido a esto, “[l]os cuerpos más grandes en el universo podrían, entonces, ser invisibles debido a sus propias magnitudes”; o, tal como el marqués lo expresara: “*il est donc possible que les plus grands corps lumineux de l’univers, soient par cela même, invisibles*”.

La hipótesis de que los agujeros negros tuvieran la densidad de astros conocidos, como el Sol o la Tierra, era por supuesto piadosa. El bestiario de objetos astronómicos es rico y variado, por lo que esa hipótesis no está justificada y, de hecho, resultó incorrecta. También era incorrecta la idea de que la luz emitida por uno de esos astros dejaría por un lapso breve la

¹⁴³ Ver Laplace P-S. (1799), *Allgemeine Geographische Ephemeriden*, 4, pp. 1-6; Montgomery C., et al. (2009), *Journal of Astronomy History and Heritage* 12, pp. 90-96.

superficie antes de volver a caer sobre sí misma: los agujeros negros no emiten luz en absoluto. Aun así, la intuición de Michell y Laplace, tan osada cuanto oscura, fue genial. Hoy tenemos evidencia incontestable de que su predicción más importante era cierta: “Los cuerpos más grandes en el universo [son] invisibles”. Sin necesidad de ir más lejos, en el centro de nuestra propia galaxia existe uno de esos enormes astros invisibles. Kant conjeturó la existencia de ese astro y se preguntó sobre la posibilidad de verlo. Escribió:

Si los centros de todos los grandes sistemas mundiales son cuerpos ardientes, con mayor razón se puede suponer lo mismo del cuerpo central de aquel inmenso sistema que forman las estrellas fijas. Pero este cuerpo cuya masa debe estar relacionada a la magnitud de su sistema, ¿no se destacaría ante los ojos, si fuera un cuerpo de luz propia o un sol, con extraordinario brillo y tamaño? Sin embargo, no vemos lucir en el ejército celeste ninguna estrella fija que se distinga especialmente.

Acaso porque Kant identificó erróneamente ese astro central con la estrella Sirio¹⁴⁴, propuso la siguiente explicación de su visibilidad: “no debe extrañarnos que no sea así [que no destaque ante nuestros ojos]. Pues aun cuando superase 10.000 veces nuestro sol en magnitud y si se supiese su distancia 100 veces mayor que la de Sirio, no podría aparecer con mayor tamaño y brillo que este”.

La existencia de un astro invisible en el centro de la Vía Láctea hoy es ciencia cierta: la mitad del premio Nobel de física de 2020 se les otorgó a Reinhard Genzel y a Andrea Ghez por el descubrimiento de que el movimiento de estrellas en el centro de nuestra galaxia delata la presencia de Sagittarius A*, un astro invisible cuya masa es 4.000.000 de veces superior a la de nuestro sol. El centro de la Vía Láctea se ubica, visto desde aquí, en la constelación de Sagitario, a unos 25.000 años luz de nuestro sistema solar. La presencia de un astro allí fue conjeturada por Kant y fue anticipada de manera donosa por Edgar Allan Poe en su *Mellonta Tauta*, esa hermosa bitácora imaginada de un viaje galáctico:

El movimiento evidente de nuestro sistema en los cielos fue (¡extraño decirlo!) referido a una órbita alrededor de una estrella prodigiosa en el centro de la galaxia. Acerca de esta estrella, o en todo caso acerca de un centro de gravedad común a todos los globos de la Vía Láctea (...) Este orbe central, sin embargo,

¹⁴⁴ Sirio (*Alpha Canis Majoris*) es la estrella más brillante del cielo. Acaso por su luminosidad, Kant llegó a creer que Sirio se trataba de un sol enorme y distante que yacía en el centro de la Vía Láctea. Se trata, en realidad, de un sistema estelar binario relativamente cercano: a unos 8,6 años luz de distancia de nuestro planeta, miles de veces más cerca que el centro galáctico.

dinámicamente, debería haber sido más grande que todos los orbes circundantes tomados en conjunto. Entonces, podría haberse hecho la pregunta: “¿Por qué no lo vemos?” (...) Pero incluso admitiendo que el orbe central no fuera luminoso, ¿cómo arreglárselas para explicar que no se hiciera visible por la incalculable hueste de gloriosos soles que deslumbraban en todas direcciones a su alrededor? (Poe, 1849).

La intuición de Kant resultó correcta: los centros de todos los grandes sistemas contienen cuerpos con masas relacionadas a sus enormes magnitudes. Las galaxias con núcleos activos que iluminan el cielo son, como Kant aventuraba, grandes sistemas mundiales con centros ardientes de masas comparables a las de miles de millones de soles. Esos centros ardientes, sin embargo, cobijan celosamente astros centrales que son invisibles.

Ética cosmológica (digressio)

Como tantos otros territorios, los textos también se van fragmentando a medida que acaban, y en el caso de *Historia natural universal* esos fragmentos nos traen deliciosas especulaciones de Kant acerca de la habitabilidad de otros planetas y de las formas de vida allí. “No es precisamente necesario afirmar que todos los planetas deben estar habitados, aun cuando sería una incongruencia negarlo con respecto a todos o a la mayoría de ellos”, sostiene Kant, y se lanza a especular sobre seres livianos y sutiles que viven en los planetas exteriores del sistema solar. Allí, según nos dice Kant, la mortalidad y las pasiones se adherirían menos a las almas de los habitantes, tanto más espirituales que nosotros. Al igual que la gravedad, el calor decrece con la ley del cuadrado de la distancia, y la temperatura de los mundos sería un factor importante para templar el espíritu de esos seres. Su digresión alcanza perfiles éticos y esto lleva a Kant a concluir sobre el especial lugar del universo en el que nos ha tocado ser, una zona apacible para el desarrollo, pero no lo suficientemente fría como para superar del todo las pasiones. Cerca del Sol gobernaría un desenfreno del que los seres de los planetas exteriores nada saben. Los habitantes de los planetas exteriores serían espíritus elevados y racionales, mientras que los seres de los mundos cercanos al Sol estarían dominados por sus impulsos apetitivos. El pecado, que nace de la tensión entre esos extremos, es solo posible aquí, en la Tierra, o acaso también en Marte (*cf.* Bilbao, 1978).

Vemos, pues, que, en la cosmogonía kantiana, incluso la ética es plausible de explicaciones en términos de fuerzas universales que actúan en el espacio. Esto nos muestra, además, cuán abarcadora era la idea de “seres dotados de razón” que Kant contemplaba desde temprano en su filosofía.

Metafísica cosmológica (digressio)

Dado que estamos en los terrenos más especulativos de la filosofía natural kantiana de mediados de su etapa precrítica, quizá sea pertinente detenernos a discutir cuál es el rol de la cautela y de la especulación para Kant hacia esa etapa de su pensamiento. Pocas formas más precisas de tratar este punto se nos ocurren que citar sus propias palabras: al momento de emprender su digresión acerca de la habitabilidad de los mundos en *Historia natural universal*, Kant opina que “sería deshonorar el carácter de la filosofía si se la usara para afirmar con una especie de ligereza libres divagaciones del ingenio con alguna verosimilitud”, y agrega que, debido a ello, se limitará a presentar en su ensayo solo proposiciones que realmente “puedan contribuir a ampliar nuestro conocimiento y cuya probabilidad esté al mismo tiempo tan bien fundada que no se podrá menos que reconocerlas”.

En la advertencia del riesgo de las “libres divagaciones del ingenio con alguna verosimilitud”, podríamos ver germinar lo que sería su descubrimiento, hacia el año 1769, de los giros de la razón pura, cuya máxima expresión quedarían evidenciadas por las antinomias, *i.e.* la posibilidad de demostrar, mediante las divagaciones del puro ingenio, tanto ciertas proposiciones como sus opuestas. En esto consisten las ilusiones del entendimiento de las que se ocuparía tanto más tarde¹⁴⁵. También nace de esto la importancia de la sensibilidad.

En *Monadología física*, texto de 1756 sobre el que hablaremos a continuación, Kant se expresaba acerca de las divagaciones de una manera similar, pero en ese caso lo hace preparando un contraataque metafísico. Comienza escribiendo allí: “Los filósofos más sutiles que se afanan en la investigación de la naturaleza concuerdan unánimemente en que ha de evitarse diligentemente que en ciencia natural se deslicen ficciones temerarias y conjeturas licenciosas” (Kant, 1756, p. 475). Mas luego, en una oda a la especulación metafísica, escribe:

Como apenas es posible para un mortal avanzar con paso firme por el recto camino de la verdad, sin desviarse aquí y allá hacia un lado o el otro, hay quienes favorecen esta norma hasta el punto que casi no se atreven a aventurarse en aguas profundas en busca de la verdad, juzgan preferible navegar pegados a la costa y no admiten sino aquello que se conoce de modo inmediato por el testimonio de la experiencia. Por esta vía podemos sin duda poner de manifiesto efectivamente las leyes de la naturaleza, mas no el origen de las causas de las mismas. Quienes solo van tras los

¹⁴⁵ Y que culminaría con su dialéctica trascendental.

fenómenos de la naturaleza distan siempre tanto de la comprensión recóndita de sus causas primeras y están tan lejos de alcanzar jamás la ciencia de la naturaleza misma de los cuerpos como quienes trepando cada vez más alto hacia la cima de una montaña se persuadiesen de que al cabo van a tocar el cielo con la mano (p. 475).

Inmediatamente después, afirma: “Solo la metafísica, de la que muchos creen poder cómodamente prescindir en el terreno de la física, puede aquí prestar ayuda y encender la luz”. Esto habilita a Kant a zambullirse de lleno en las profundidades de la materia, para especular sobre la íntima relación entre la fuerza y las sustancias, tema que será central en su *Monadología*.

VII. MONADOLOGÍA FÍSICA Y EL PROBLEMA DE LA MATERIA

El problema de la indivisibilidad del espacio y la sustancialidad de los cuerpos

Del año siguiente a *Historia natural universal* es *Monadología física*, libro en el que Kant aborda principalmente el problema de cómo la divisibilidad *ad infinitum* del espacio no entra en conflicto con la sustancialidad de los cuerpos materiales. El libro es publicado en Königsberg, y aparece en 1756, momento en el que Kant aspiraba a suceder a Martin Knutzen en la cátedra de matemática y filosofía. Knutzen había muerto en 1751 y la cátedra aún permanecía vacante.

El análisis del problema de la indivisibilidad del espacio y la sustancialidad de los cuerpos lleva a Kant a proponer un modelo para la materia; es decir, una hipótesis acerca de la constitución de las sustancias materiales y de la forma en la que actúan las fuerzas que dotan a la materia de su extensión, persistencia y sustancialidad. *Mutatis mutandis*, este modelo de la materia sería desarrollado más tarde en *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* (1786). Se ha dicho que la teoría constitutiva de la materia sugerido por Kant en *Monadología física* (1756) es esencialmente el modelo que Bosković expusiera en su *Teoría de la filosofía natural* (1758); no obstante, esta afirmación ha sido cuestionada en la literatura (cf. Smith, 2013) y en otros sitios (Pecere, 2022). Friedman, por su parte, considera que “*Monadología física* (...) intenta reconciliar la filosofía natural de Newton con los principios básicos de la metafísica leibniziano-wolffiana” (1992, p. 2).

En los párrafos que siguen, cribaremos el contenido de *Monadología física* en busca de los principales núcleos de sentido del texto, deteniéndonos en aquellos aspectos que entrelazan contenido con *Principios metafísicos*, del que nos ocuparemos más tarde, al estudiar el período

crítico de la filosofía kantiana, en la Tercera Parte de este trabajo. No obstante, cabe aclarar que hacia el período crítico Kant había tomado distancia de la hipótesis monadológica, aun cuando muchos elementos de su teoría de la materia permanecieron invariantes, *e.g.* la concurrencia de una fuerza que actúe según la ley de la inversa del cubo que compite con la fuerza gravitatoria.

Comencemos diciendo que el problema de la indivisibilidad del espacio y la sustancialidad de los cuerpos está indisolublemente ligado a un problema de conciliación entre la filosofía trascendental y la geometría. Kant expone este problema señalando que mientras la filosofía trascendental¹⁴⁶ “niega obstinadamente que el espacio sea divisible” (p. 475), la geometría lo afirma. Asimismo, la física trascendental “sostiene que el espacio vacío es necesario para el movimiento libre” mientras que la geometría lo rechaza. Señala también que la filosofía trascendental y la geometría tampoco coinciden en la afirmación de que es prácticamente imposible explicar la atracción de la gravitación universal mediante causas mecánicas, sino que hacerlo demanda pensar que la gravitación “procede de fuerzas ínsitas de los cuerpos” (p. 476). Con su monadología física, Kant dedica un esfuerzo a saldar esta disputa entre ambas disciplinas (*cf.* Jiménez Rodríguez, 2020).

Kant comienza introduciendo su definición de “mónada”, a la que también se refiere como substancias simples, elementos de la materia, o partes primitivas de los cuerpos. Cabe recordar a Leibniz: “La mónada (...) no es otra cosa que una substancia simple, que forma parte de los compuestos; simple, es decir, sin partes” (Leibniz, 1983, p. 21). Según Kant, la mónada es una substancia simple que “no consta de pluralidad de partes tales que una de ellas pueda subsistir separada de las otras” (Kant, 1756, p. 476). Es decir, las mónadas son irreducibles, indivisibles. Los cuerpos constan de mónadas, afirma, y dice que, habiendo descompuesto un cuerpo completamente, las partes que restan y ya no tienen composición serán las mónadas. “[C]ada cuerpo consta de partes primitivas [irreducibles] absolutamente simples”, *i.e.* las mónadas; y “cada cuerpo consta de un número definido de elementos simples” (p. 479). La irreductibilidad de las mónadas no implica, y Kant así lo advierte, que deba tomarse a las mónadas como partes infinitamente pequeñas del cuerpo.

A diferencia de los cuerpos, el espacio que estos ocupan, *i.e.* el espacio llenado por los cuerpos, es divisible *ad infinitum* y, por lo tanto, no consta de mónadas. Se ve nuevamente aquí

¹⁴⁶ Kant emplea aquí el término “trascendental”, aunque debemos advertir que en 1756 ese término no tenía el significado que le daría más tarde. Aquí “filosofía trascendental” debe entenderse como “metafísica”; aunque, más precisamente, “filosofía trascendental” es una distinción que aparece en la metafísica wolffiana y que tiene el significado general de “universal”, aunque también de “aquello que tiene que ver con la esencia”.

una afirmación sobre la insustancialidad del espacio. En efecto, Kant enuncia el siguiente teorema que viene a generalizar esta última afirmación. Dice: “Un compuesto divisible *ad infinitum* no consta de partes primitivas o simples” (cf. Prop. IV, p. 479). El espacio “carece totalmente de sustancialidad y es el fenómeno de la relación externa de las mónadas unidas”, y este no se agota “ni siquiera mediante una división continuada hasta el infinito”.

Ahora bien, las mónadas, para Kant, ocupan un volumen finito en el espacio¹⁴⁷. No son puntuales; no es su locus un volumen infinitesimal en el espacio, sino un volumen finito. Afirma que cada mónada “no solo está en el espacio, sino que llena un espacio, sin perjuicio de su simplicidad” (cf. Prop. V, p. 480). Sobre esto, dice:

En la investigación de los elementos ninguna tesis ha dificultado tanto el matrimonio de la geometría con la metafísica como aquella opinión preconcebida, aunque no suficientemente examinada, según la cual la divisibilidad del espacio que ocupa un elemento revela una división del elemento mismo en partes sustanciales (p. 480).

Derrite así Kant la soldadura que une al espacio ocupado por el cuerpo con el cuerpo mismo, dando libertad al espacio, en cuanto ente insustancial, a tener propiedades como la de la divisibilidad infinita sin que esto implique una propiedad tal para la materia.

La impenetrabilidad de la materia

Una cuestión a la que hay que atender cuando se propone una teoría metafísica de esta naturaleza es la de cómo conciliar que un elemento irreducible ocupe un volumen finito. Kant afirma que la opinión de que un elemento absolutamente simple no puede llenar un espacio sin perjuicio de su simplicidad es absolutamente errónea (cf. p. 480). El espacio no es una substancia, aclara Kant; el espacio es “un fenómeno de la relación externa de las substancias”.

En la monadología kantiana una mónada determina el pequeño espacio de su presencia por una “esfera de actividad”. Estas esferas de actividad les impiden a las mónadas acercarse infinitamente unas a las otras, estipulando un radio de acercamiento mínimo. Ese radio es pequeño pero finito¹⁴⁸. Las mónadas llenan un espacio determinado. Kant afirma que la fuerza con que un elemento simple de un cuerpo ocupa su espacio es lo que llamamos

¹⁴⁷ En este sentido, la monadología de Kant tiene conexión clara con la de Wolff, para quien las mónadas no llenan un espacio mas tienen un volumen finito, no nulo de influencia, por lo que, a pesar de puntuales, las mónadas producen la extensión de la materia por agregación de esos volúmenes de influencia.

¹⁴⁸ En relación con esto, en la cuarta parte de esta tesis haremos una comparación entre la monadología física de Kant y la teoría de supercuerdas.

impenetrabilidad, y solo pensando a esta propiedad de la materia en términos de una fuerza es posible darle sentido.

Ahora bien, la sola acción de la fuerza repulsiva que es razón de la impenetrabilidad no es capaz de explicar que los cuerpos tengan un volumen. Otra fuerza, una atractiva, debe existir para determinar, junto a la anterior, la extensión de la materia. La extensión de los cuerpos nace del compromiso entre dos fuerzas que actúan en sentidos opuestos.

El análisis de esta cuestión lleva a Kant a desarrollar una teoría sobre la constitución de la materia en la que la concurrencia de esas distintas fuerzas viene a dar forma a la substancia¹⁴⁹. Kant advierte que una única fuerza no bastaría, dado que “si se postula solo una fuerza repulsiva no puede entenderse la coligación de los elementos (...) pero si solo se postula una atractiva, puede entenderse la coligación mas no la extensión definida en el espacio” (Kant, 1756, p. 476). Así, la constitución de la materia y la cuestión de esta ocupando el espacio se vuelven centrales.

Kant piensa la fuerza repulsiva de impenetrabilidad también como una fuerza cuya acción merma con el incremento de la distancia. Esa dependencia con la distancia, sin embargo, no es la misma que la de la fuerza atractiva gravitatoria, sino que cumple una ley distinta. Kant propone que, en lugar de cumplir con la ley de la inversa del cuadrado, la fuerza repulsiva debería cumplir la ley de la inversa del cubo. Esto deriva de que esa fuerza nace del seno de la materia, que está siempre distribuida en un volumen. Lo explica así

La fuerza distribuida desde un punto no puede revelarse eficaz en una esfera determinada a menos que llene actuando todo el espacio comprendido bajo el dado diámetro. (...) Si concebimos una fuerza que emana según líneas rectas de una superficie dada [*i.e.* siguiendo la ley de la inversa del cuadrado], como la luz o como la misma fuerza de atracción – conforme la opinión de Keill¹⁵⁰– la fuerza ejercida de este modo será proporcional a la multitud de las líneas que pueden trazarse desde esa superficie, esto es, proporcional a la superficie del propio agente. Por esto, si la superficie es infinitamente pequeña también la fuerza será infinitamente pequeña, y si es un punto será nula. En consecuencia, desde un punto no puede difundirse por líneas divergentes una fuerza a la que pueda asignarse una magnitud positiva a cierta

¹⁴⁹ Para apreciar la empresa que emprende Kant en su *Monadología física* quizá convenga recordar las palabras de Schönfeld al respecto de esta obra. Schönfeld sostiene que *Monadología física*, contribuía a la búsqueda de Kant por unificar la ciencia y la metafísica en una filosofía sistemática de la naturaleza.

¹⁵⁰ Kant refiere aquí a John Keill, a quien mencionaría más de una oportunidad en su ensayo. Keill (1671-1721) fue un matemático y físico escocés que desarrolló sobre las bases de la teoría newtoniana, convirtiéndose en un gran defensor de Isaac Newton.

distancia de este punto. Ni se revelará eficaz a menos que llene todo el espacio en que actúa. Pero los espacios esféricos son entre sí como los cubos de las distancias. Por lo tanto, como la misma fuerza al difundirse por un espacio mayor disminuye en proporción inversa a los espacios, la fuerza de impenetrabilidad será inversamente proporcional al cubo de las distancias desde el centro de su presencia (p. 484).

El argumento geométrico de Kant no es correcto, pero la idea que lo motiva es interesante. Kant supone que, al ocupar los cuerpos un volumen determinado, la fuerza repulsiva que realiza su impenetrabilidad debe estar en razón a su volumen, en cuanto toda la substancia contenida en ese volumen contribuye a la acción repulsiva. Vemos que, también aquí, la dimensionalidad del espacio está en relación directa con la forma funcional de las leyes planteadas. El cubo de la distancia, *i.e.* la potencia $n=3$ que Kant propone para el denominador de la ley de la fuerza repulsiva, viene del hecho de que es 3 la dimensión del espacio. Un análisis detallado de este argumento lleva a una ley funcional distinta¹⁵¹ a la de la inversa del cubo propuesta por Kant; no obstante, resulta interesante la idea de que una dependencia funcional diferente a aquella de la fuerza atractiva vendría a competir y a establecer un radio de equilibrio que diera cuenta de la extensión del cuerpo. Si la fuerza de repulsión y de atracción tuvieran la misma dependencia con la distancia entonces sería más difícil que su competencia terminara determinando un tamaño de equilibrio; se cancelarían las dependencias con la distancia en la ecuación de equilibrio de fuerzas. Kant vislumbro esto, y tal es su teoría sobre la extensión de la materia. Escribió:

[C]omo la atracción es una acción del mismo elemento pero dirigida en sentido contrario, la superficie esférica en la cual la atracción se ejerce a una distancia dada será su extremo inicial [*terminus a quo*]; como la multitud de los puntos de esa superficie desde los cuales pueden trazarse líneas hasta el centro de la tendencia y, con ella, la cantidad de atracción están definidas, será posible asignar una magnitud a la fuerza, la cual disminuirá en proporción inversa a las superficies esféricas [*i.e.* siguiendo la ley de la inversa del cuadrado] (p. 484).

En resumen: Para Kant la fuerza de atracción sigue la ley de Newton, la de la inversa del cuadrado de la distancia, mientras que la fuerza repulsiva de impenetrabilidad sigue la ley de la inversa del cubo de la distancia. Eso da forma extensión a los cuerpos:

¹⁵¹ Nos referimos a una dependencia lineal con la distancia. Volveremos sobre esto cuando discutamos el problema de la materia en *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza*.

Si se establece que la fuerza repulsiva es inversamente proporcional al cubo, en algún punto del diámetro la atracción y a repulsión tendrán que ser iguales. Este punto determinará el límite de la impenetrabilidad y el ámbito del contacto externo, o sea, el volumen. Pues vencida por la atracción, la fuerza repulsiva no actúa más allá (pp. 484-485).

La intuición de Kant es correcta. La competencia entre fuerzas atractivas y repulsivas es lo que dota a muchos sistemas físicos de su extensión, al establecerse un equilibrio entre esas fuerzas para un dado volumen. Un ejemplo simple de sistema físico que cumple con una descripción de esta naturaleza es el de las estrellas, cuya presión interna, debida a reacciones termonucleares que tienen lugar en su interior, compensa, al menos en ciertos regímenes y en ciertas escalas de tiempo, la fuerza auto-gravitante del astro. Incluso muchos modelos decimonónicos de la constitución de la materia contemplaban una idea cualitativamente similar a la de Kant. No obstante, fallaba él en los detalles de su descripción. Una vez más, la intuición de Kant superaba ampliamente sus habilidades matemáticas. Es fácil señalar como errores que la dependencia con la inversa del cubo no deriva de sus argumentos de los volúmenes, y que el equilibrio entre fuerzas atractivas y repulsivas incluso se daría si otras fueran las formas funcionales de las leyes de repulsión supuestas. Luego está, por supuesto, el hecho de que Kant jamás podría haber anticipado los detalles de la descripción atómico-molecular de las sustancias (aún si hubiera vislumbrado la posibilidad de que las fuerzas de la materia tuvieran un origen eléctrico).

En el resto del ensayo *Monadología física*, Kant continúa hablando de las propiedades de la materia. En particular, habla de la masa, a la que se refiere como “fuerza de inercia”. La masa sería una propiedad inmanente de los elementos: “La fuerza de inercia es en cada elemento una cantidad determinada, que puede ser sumamente distinta en distintos elementos” (cf. Prop. XI, p. 485). Agrega: “La diversidad específica de la densidad de los cuerpos observables en el mundo no puede explicarse en absoluto sin una diversidad específica de la inercia de los elementos mismos” (Prop. XII. p. 486).

Habla también Kant de las propiedades de elasticidad, las que ya había mencionado en *Historia natural universal* al hablar de las propiedades de la materia que dan cuenta de la constitución de los planetas. Afirma que los elementos de los cuerpos gozan de una fuerza elástica, que toda fuerza que irradia de un punto decrece mediante alguna ley natural con la distancia a ese punto, y habla de que la impenetrabilidad de los elementos es “perfecta”, en el sentido de que es posible condensar un cuerpo, aplastarlo, hundir sus huecos internos, mas no lo es penetrar sus constituyentes fundamentales.

La teoría de la materia que Kant comienza a desarrollar en *Monadología física* en 1756 y que elaborará treinta años más tarde es interesante: plantea una lucha de fuerzas antagónicas de cuya síntesis nace la extensión de los cuerpos. En la Tercera Parte de esta tesis discutiremos el problema de la materia en el período crítico, donde veremos esta misma teoría de la materia reaparecer, aunque en una versión que toma distancia de la hipótesis de mónadas, o, al menos, de la interpretación usual de las mónadas como entidades yuxtapuestas constituyentes.

RESUMEN DE LA SEGUNDA PARTE

En esta Segunda Parte hemos revisado con mucho detalle la ciencia natural kantiana de mediados del período precrítico. Hemos analizado el contenido de su libro de cosmología, *Historia natural universal* (1755), y su libro sobre la constitución de la materia, *Monadología física* (1756). En particular, mostramos cómo la dimensionalidad del espacio, aunque de manera que no es evidente, subyace en la descripción que Kant hace de cómo está constituida la materia y cómo la substancia adquiere su atributo de extensión. La competencia de fuerzas que, según Kant, tiene lugar en las entrañas de toda substancia depende de la tridimensionalidad del espacio. Se hace evidente así que las propiedades de la substancia, por ejemplo, su extensión, serían muy otras en otro de los muchos mundos que Kant hipotetiza posibles. Hemos mostrado también cómo muchas de las cuestiones que Kant tratará más tarde en el período precrítico estaban ya presentes como problemas filosóficos en el período precrítico. Es el caso de aquellas cuestiones que Kant tratará en las antinomias de la razón de la *dialéctica trascendental* en la *Crítica de la razón pura*, como la cuestión de la infinitud del espacio o de la indivisibilidad *ad infinitum* de la materia. Esto permite comenzar a vislumbrar continuidades, ya no sólo en diferentes subperíodos del período precrítico, sino también entre el período precrítico y el período crítico. Es debido a esto que en la próxima parte de esta tesis nos dedicaremos al estudio del período crítico.

Tengo una mente terrenal euclidiana, y ¿cómo podría resolver problemas que no son de este mundo? Y te aconsejo que tampoco pienses nunca en eso, mi querido Alyosha, especialmente en Dios, si existe o no. Todas esas preguntas son completamente inapropiadas para una mente creada con una idea de solo tres dimensiones.

Fiódor Dostoievski
Los hermanos Karamazov, 1880.

Tercera Parte

Esquema de la Tercera Parte

Como se anticipa ya de lo tratado en la Primera y la Segunda Parte de esta tesis, hay muchos rasgos de continuidad entre el contenido de la obra precrítica de Kant y su filosofía posterior. Si bien es cierto que a lo largo de la obra kantiana hay giros, cambios de ritmo, abandono de hipótesis, etcétera, es también cierto que hay continuidades a las que es necesario atender. En gran medida, la contribución de esta tesis es advertir sobre continuidades que han pasado desapercibidas anteriormente, probablemente debido a la poca atención que se había prestado a la obra precrítica hasta hace relativamente poco tiempo. Un ejemplo de esas continuidades es el problema de la interacción entre mente y materia, tratado por Kant ya en su primer libro (1749). Otro ejemplo es la aparición de la idea del espacio como un elemento que no es fundamental, una idea que también aparece en ese primer libro. Un tercer ejemplo es la formulación de una teoría sobre estructura de la materia en términos de fuerzas compitiendo, algo que Kant ya había introducido en 1756 y sobre lo que regresará en el período crítico, hacia 1786. También podemos mencionar la pregunta sobre la finitud del espacio y la pregunta por la posibilidad de la divisibilidad *ad infinitum* de la materia, dos temas que trata en 1755-1756 y sobre lo que también volverá en su *dialéctica trascendental* de la *Crítica de la razón pura* al tratar as antinomia de la razón. Todos estos son ejemplos concretos de elementos de continuidad. Y cabe enfatizar que ya no se está hablando aquí de una continuidad a lo largo de las dos décadas que definen el llamado período precrítico, sino que hablamos de una continuidad a lo largo de toda la obra kantiana: desde el comienzo del período precrítico hasta la época del idealismo trascendental. Es debido a esto que en esta Tercera Parte nos

involucraremos con el período crítico de la filosofía kantiana. Propondremos una lectura de los textos claves de ese período desde una perspectiva particular que nos permita recoger los contenidos relevantes para nuestro análisis. Nos dedicaremos a estudiar con detenimiento la *Crítica de la razón pura* (1781/1787), los *Prolegómenos a toda metafísica futura* (1783) y los *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* (1786). En especial, dedicaremos mucha atención a la *dialéctica trascendental*. Esto último puede resultar sorprendente debido a que, dado que esta tesis trata sobre el espacio, esto podría llevar a pensar que entonces la misma se encuentra más relacionada con los problemas que Kant trata en la *estética trascendental*. No obstante, debemos advertir que, como vimos, a lo largo del período precrítico Kant se involucró también con problemas metafísicos tales como la contingencia de las leyes de la naturaleza, la posibilidad o imposibilidad de la divisibilidad de la materia *ad infinitum*, la finitud o infinitud del mundo, y estas son todas cuestiones que hacen al contenido de la *dialéctica trascendental* y las antinomias de la razón discutidas allí. Es por eso que esta Tercera Parte plantea una lectura de toda la obra crítica con una perspectiva metafísica determinada (esta lectura incluye no sólo la *Crítica de la razón pura* sino también un libro de suma importancia para nuestro propósito: *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza*). Comenzaremos en la sección VIII con un análisis de la obra del período precrítico. Pasaremos luego a estudiar en dos secciones (XIX-XX) el contrapunto que existe entre el orden ontológico entre materia, fuerza y espacio, expresado por Kant a comienzos del período precrítico, y el orden trascendental entre espacio, fuerza y materia que Kant considerará como principio coordinativo en el período crítico. Luego, en la sección XXI, analizaremos el contenido de la *Crítica de la razón pura*, comenzando con la *estética trascendental*, siguiendo con la *analítica trascendental*, y finalmente con la *dialéctica trascendental*. Mostraremos cómo la dimensionalidad del espacio sigue organizando la filosofía natural kantiana en el período crítico. En la sección XXII nos abocaremos al estudio detallado de la otra gran obra del período crítico: *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza*. Allí también la dimensionalidad del espacio desempeña un papel central; en especial, en lo que hace a la estructura de la materia, su extensión y a la interacción entre las substancias.

VIII. LA OBRA DEL PERÍODO CRÍTICO

El período precrítico y el período crítico de la filosofía kantiana

Es innegable que el lapso entre finales del período precrítico (1770) y comienzo del período crítico¹⁵² (1781), ese hiato entre los dos momentos de gran actividad intelectual de Kant, expone un plano de clivaje en su pensamiento. Tres son las razones que confluyen para que así lo parezca, y esas tres razones habilitan a hablar de un período pre-crítico y uno crítico de su filosofía. En primer lugar, entre los dos momentos de producción filosófica de Kant, cada uno de los cuales duró veintitrés años¹⁵³, se produjo un período de retracción y meditación en el que, por casi una década, y salvo por alguna obra feble¹⁵⁴, Kant se mantuvo en silencio, prácticamente sin publicar. El registro epistolar de esa década silenciosa, bien documentado en la literatura dedicada a la biografía de nuestro filósofo, nos habla de un Kant enfocado en sus descubrimientos y en la construcción de una teoría del conocimiento que, como él ya intuía, estaría llamada a ser su obra más importante.

En segundo lugar, su *magnum opus*, la *Crítica de la razón pura*, exhibe un grado de sofisticación y sistematicidad del que es difícil encontrar registro en sus trabajos previos. Esto responde a mucho más que a un mero cambio de estilo; representa un síntoma. Kant entendió hacia inicios del período crítico que la naturaleza misma del problema que estaba abordando, dada su complejidad e importancia, le exigía una exposición minuciosa, entramada, sistemática, y por momentos ásperamente taxonómica.

En tercer lugar, además del tiempo y del estilo, también contribuye a la posibilidad de demarcación de períodos el hecho de que Kant realizó en ese tiempo una serie de descubrimientos que, por un lado, lo llevarían, no solo a revisar hipótesis de su filosofía previa, e.g. la hipótesis monadológica en su teoría de la materia, sino también a abandonar ciertas convicciones metafísicas – mas no al abandono de la metafísica, como veremos más adelante al analizar su libro *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza*–.

De todas formas, y aunque estas tres razones dejan en claro que es posible hablar de dos etapas diferenciadas de la filosofía kantiana – el mismo título de esta tesis hace empleo de esa posibilidad–, cabe también señalar, como lo hicimos desde el comienzo de este trabajo, que

¹⁵² Esta separación en dos períodos es estándar, aunque muchos autores se han ocupado de señalar continuidades (cf. Torretti, 1980).

¹⁵³ Aunque es piadoso hitar su pensamiento, como el de cualquier otro filósofo, se nos concederá considerar que Kant tuvo dos períodos diferenciados de actividad. El primero, entre 1747 y 1770; el otro, entre 1781 y el año de su muerte, 1804.

¹⁵⁴ De la década de 1770 es su *Über die verschiedenen Rassen der Menschen* (cf. Kant, 1997b [1777]).

existen continuidades en el pensamiento de Kant que trascienden esa separación en períodos filológicos. Esto, por supuesto, no pretende de ninguna manera sugerir que la filosofía kantiana es la historia inconsútil de una construcción de un único sistema filosófico sino solo pretende llamar la atención sobre la evidencia de ciertos rasgos invariantes lo largo de toda la filosofía de Kant, rasgos a menudo inadvertidos pero que, aun así, se extienden desde su primer libro hasta sus obras posteriores a 1781. Como ya mencionamos, puede verse en el período precrítico la forja de piezas necesarias para la construcción de su filosofía futura. Esto se expresa en especial en relación con el espacio, y es sobre ello que nos enfocaremos aquí: en esta Tercera Parte de nuestro trabajo, analizaremos la concepción del espacio en el período crítico y la compararemos con las ideas de espacio bosquejadas en *Ideas de la verdadera valoración de las fuerzas vivas* (1749). Analizaremos también la teoría de la materia que Kant expusiera hacia 1786 en *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* en comparación con la ya expuesta en *Monadología física* (1756). Nos detendremos a discutir también otros tópicos de la filosofía kantiana del período crítico, como la necesidad de una metafísica de la naturaleza y la idea del espacio absoluto.

Esquema de nuestra exposición

Nuestro estudio de elementos del período crítico y su relación con los de la filosofía del joven Kant estará organizado en cuatro movimientos de la siguiente manera: primero, analizaremos brevemente la influencia del pensamiento de Hume en la obra madura de Kant. Discutiremos, en particular, las especulaciones acerca de cuál fue el momento exacto en el que la lectura del autor escocés impactó en el pensamiento de nuestro filósofo. Encontramos innecesario explicar aquí las razones por las que el estudio de la influencia del empirismo en la obra de Kant es imprescindible para entender adecuadamente sus virajes intelectuales. Estamos presuponiendo aquí cierto conocimiento básico de la filosofía crítica y sus circunstancias.

En un segundo movimiento, nos dedicaremos al estudio de los *Prolegómenos*, i.e. los *Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphysik, die als Wissenschaft wird auftreten können* (1783), la exotérica kantiana en la que se expone de manera sinóptica los puntos esenciales de la filosofía trascendental. La razón por la que elegimos discutir los *Prolegómenos* antes de discutir la *Crítica de la razón pura* (1781), invirtiendo aparentemente el orden cronológico de esos escritos, es doble: por un lado, los *Prolegómenos* contienen una exposición especialmente clara de un problema que nos es conveniente abordar rápidamente y que ya mencionamos: la aparente inversión del orden que fuerza y espacio toman en la jerarquía ontológica kantiana.

Nos es imprescindible abordar esta cuestión antes de pasar a elaborar sobre la noción de espacio en la *Estética trascendental* de la *Crítica*. Por otro lado, los *Prolegómenos* aparecen en 1783, *i.e.* entre las dos versiones de la *Crítica* (*KrV*, A, 1781; *KrV*, B, 1787), y dado que en nuestro análisis de la *estética trascendental* compararemos las dos versiones y nos detendremos en algunas de las diferencias entre ellas, discutir los *Prolegómenos* en primer término se vuelve adecuado.

El tercer movimiento de nuestro análisis será, precisamente, el estudio de la *Crítica de la razón pura*. Enfocaremos nuestra atención sobre el tema principal de nuestro estudio: la dimensionalidad del espacio y el orden ontológico entre espacio y fuerza. Estudiaremos los elementos de la *Estética trascendental* y de la *Analítica trascendental* que podrían darnos indicios de cómo entender el problema de la dimensionalidad del espacio desde las coordenadas de la filosofía crítica.

Crinar el pelaje hirsuto de la *Crítica de la razón pura* en búsqueda de elementos que pudiesen hablarnos de la dimensionalidad del espacio es una tarea difícil. Esto se debe principalmente a dos razones: por un lado, mucho se ha escrito sobre la *Estética trascendental*, lo que ha llevado a una sedimentación de doctrinas que fueron formando un cuerpo calloso de ortodoxia, a menudo refractario a toda idea que sugiera la incompletitud del tratamiento del espacio en la filosofía crítica. Afortunadamente, encontramos a Kant de nuestro lado en esta justa. Tan pronto como, con él, señalamos que problemas caros al del espacio, como el problema de la movilidad, quedan afuera del análisis de la *Crítica*, nos sentimos habilitados a buscar contenido más allá de esta, en la marginalia de la obra kantiana, en sus principios metafísicos. Por otro lado, la naturaleza misma del objeto de estudio de la filosofía trascendental, y por razones que trataremos al discutir la aparente inversión ontológica en los *Prolegómenos*, lleva en germen el carácter *a priori* de la tridimensionalidad.

Nuestra búsqueda en los márgenes, más allá de la *Crítica*¹⁵⁵, nos llevará al cuarto movimiento de nuestro análisis del período crítico. Este consistirá en una relectura muy detallada de *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* (1786), texto casi contemporáneo a la *Crítica de la razón pura* en el que, en particular, Kant elabora su teoría de la materia, que puede

¹⁵⁵ Notemos que aquí escribimos “más allá de la *Crítica*” y no “a espaldas de la *Crítica*”, ya que, aunque *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* trata de algunos temas no abordados en la *Crítica de la razón pura*, es también posible pensar a *Principios* como la aplicación del método trascendental expuesto en la *Crítica*. Por lo tanto, no es adecuado pensar a estos dos libros como tratados de temas distintos que ocupaban a Kant en el mismo período del pensamiento (circa 1786), sino como textos complementarios que comparten el método trascendental.

ser considerada una versión no-monadológica de la ya bosquejada treinta años antes en *Monadología física* (1756).

Es menester no confundir la filosofía crítica de Kant con el período crítico de la filosofía kantiana. La filosofía natural del período crítico, y principalmente su obra *Principios*, permite, por un lado, tener acceso a las convicciones metafísicas de Kant hacia el período de las *Críticas*, en particular a propósito de problemas que, deliberada y explícitamente, Kant deja de lado en esas obras. En especial, el estudio de *Principios* permite mostrar cómo la dimensionalidad del espacio sigue organizando la física kantiana en el período crítico y, también, permite mostrar que la concepción de Kant acerca del problema de la materia, elemento importante de su jerarquía ontológica, mantendría un diálogo afectuoso con aquellas meditaciones de su juventud. De todas maneras, la *Crítica* y *Principios*, como es fácil suponerlo, son dos textos que conversan fluidamente entre sí: no sin más, es posible ver en el segundo de estos la aplicación del método trascendental a la filosofía natural.

Observaciones sobre las fuentes

En la preparación de los capítulos de esta Tercera Parte, dedicada al período crítico, nos valimos de diferentes ediciones de la *Crítica de la razón pura* [*Kritik der reinen Vernunft*], en castellano y en alemán. Tuvimos ante nosotros la edición en alemán de Meiner (Kant 1998), así también como cuatro ediciones en castellano¹⁵⁶: la edición de Gredos (*KrV*, Kant, 2010), la de Losada (Kant, 2003), la de Hyspamerica (Kant, 1984), y la edición de Colihue (Kant, 2014) con la traducción de Mario Caimi. Preferimos esta última traducción. En todo momento comparamos con la versión en alemán. Acerca de la forma de citar este texto, emplearemos el modo estándar para referir a la *Crítica de la razón pura* en los estudios especializados en Kant, *i.e.* indicaremos (*KrV*, A10) o (*KrV*, B33), y agregaremos a eso la cita a una edición en particular cuando lo consideremos necesario¹⁵⁷.

¹⁵⁶ Acaso podría ayudar tener aquí una guía de referencias entre las versiones; por ejemplo, los elementos de la *Estética trascendental* tenemos los siguientes mapas entre secciones: §1 (*KrV*, 1998, p. 93; 2003, p. 195; 1984, p. 113; 2014, p. 87), §2 (*KrV*, 1998, p. 97; 2003, p. 199; 1984, p. 115; 2014, p. 90), §3 (*KrV*, 1998, p. 100; 2003, p. 201; 1984, p. 116; 2014, p. 91), §4 (*KrV*, 1998, p. 106; 2003, p. 207; 1984, p. 120; 2014, p. 99), §6 (*KrV*, 1998, p. 108; 2003, p. 209; 1984, p. 121; 2014, p. 101), §8 (*KrV*, 1998, p. 116; 2003, p. 215; 1984, p. 125; 2014, p. 109). En la edición original de 1871 (A), la página de comienzo de este material corresponde a (*KrV*, A, p.10); en la edición segunda, de 1787 (B), la página de comienzo de este material corresponde a (*KrV*, 1787, B, p. 33).

¹⁵⁷ Decíamos que en todo momento comparamos la edición alemana de Meiner con las dos traducciones que aparecen en las cuatro ediciones en castellano consultadas. Nos hemos permitido realizar nuestra propia traducción cuando lo creímos adecuado. Dedicamos algunas notas al pie de las subsecciones que siguen a explicitar algunas sutilezas en las traducciones. Atendimos cuidadosamente al empleo de términos como *Seele* y *Gemüt* al comparar el contenido de la *Crítica de la razón pura* con el de los libros de juventud de Kant, dado que,

En el caso de *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* [*Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*], también nos valimos de diferentes ediciones: consultamos la edición en alemán de von Pfeffer, Leipzig, 1900; la edición en alemán de Meiner, 1997; la edición alemana de Suhrkamp, 1968; y algunas ediciones en castellano¹⁵⁸. Acerca del modo de citar este texto, emplearemos la nomenclatura *Ak.*, por la *Kantsgesammelte Schriften, Preussische Akademie*; citando a continuación el número de volumen en números romanos, y luego los números de página y línea en números arábigos. También emplearemos el acrónimo del título en alemán, *MAN*, usualmente empleado para referir a *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza*. En ocasiones nos referiremos a este libro como *Principios metafísicos* o simplemente *Principios* – cabe aclarar también que otra traducción

aunque se trata de términos de significado literal distinto, uno descubre que sus significados en este contexto están relacionados. Esto proviene de atender a lo que Kant consideraba “nuestra alma” en su filosofía primera. Incluso, como señalaremos en su momento, en la traducción de la edición de Hyspamerica (Kant, 1984 [1781/1787]) el término *Gemüt[s]* llega a traducirse a veces como “espíritu” y otras como “mente”, v.g. Caimi prefiere este último (cf. Kant, 2014 [1781/1787]). De manera recíproca a cómo términos de significado diferente como *Seele* y *Gemüt* pueden, para Kant, estar más relacionados de lo que podría parecer, ocurre que términos que podrían considerarse sinónimos son empleados en los textos de Kant para referir a cosas diferentes. Un ejemplo es el de los términos *Objekt* y *Gegenstand*, que pueden traducirse ambos como “objeto” pero que en *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* [*Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*] (1786) Kant usa en sentidos diferentes, a veces en un mismo párrafo. Para atender a esta sutileza, traduciremos *Objekt* y *Gegenstand* como “objeto”, pero cuando sea necesario agregaremos la palabra en alemán; haremos lo propio con otras palabras de significados relacionados, como la palabra *Ding*.

¹⁵⁸ En particular revisamos la edición en castellano de la editorial Tecnos, que presenta la traducción de José Aleu Benítez (Kant, 1991). Otra edición en castellano de este libro consultada por nosotros fue la de Alianza Editorial, que presenta la traducción de Carlos Másmela (Kant, 1989). Comparamos estas traducciones con la edición en alemán de Meiner (Kant, 1997). La de Tecnos se trata de una edición que, de hecho, está lejos de ser ideal. Debido a esto, su uso demanda de nuestra parte y de la del lector cierta cautela. En especial, debemos señalar que la edición de Tecnos (1991) contiene varios errores: entre estos, hay algunos errores de imprenta en fechas en el *Estudio preliminar* que acompaña al texto. Al tratarse de un error tipográfico, esto no comportaría mayor problema si no fuera porque la diferencia entre 1768 y 1786 en el contexto de la obra kantiana justamente puede inducir a grandes confusiones. Otros errores de la edición de Tecnos (1991), como el reemplazo de la palabra “mónadas” por “nómadas”, resultan simplemente bochornosos: la frase “...welches allerdings, wenn die Materie ans Monaden bestände, deren Realität in aller Beziehng einen Grad haben muss...” se traduce en la edición de Tecnos “... como acontecería si la materia se compusiese de ‘nómadas’ cuya realidad, en todo lo respecto, debería ...”. Es debido a esto que hemos doblado esfuerzos a la hora de cotejar este texto con la fuente en alemán (cf. Kant, 1900 [1787]). Otros errores tipográficos, en apariencia menores, son la omisión de paréntesis de cierre en algunas aposiciones. Tratándose de un texto engorroso, denso en contenido y en aclaraciones, esto puede dificultar la lectura. Enmendaremos esto. Más seria es la omisión de ciertas numeraciones en algunas proposiciones. Para dar un ejemplo de esto que corresponde a una parte que nos interesará, digamos que al final del capítulo segundo falta la enumeración 4 en la definición de la “mecánica” [*Mechanisch*], siendo la “elasticidad” [*Elasticität*] la correspondiente a la sección 3. Por razones que el mismo Kant explicara al final del prefacio, *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* está organizado emulando el formato empleado en matemática, presentando teoremas, demostraciones, definiciones y observaciones, por lo que la omisión de numeraciones puede desarticular un poco la lectura. Es por eso que en todo momento cotejamos con la edición en alemán de 1900, que tomamos como origen de coordenadas en el espacio de las traducciones. Seremos cuidadosos y enmendaremos también esas omisiones cuando sea necesario.

frecuente del título es *Fundamentos metafísicos de las ciencias naturales*—. En todo momento comparamos con la versión en alemán.

Nos valimos también de ediciones bilingües de algunas otras obras, lo que facilitó la comparación entre la fuente y las traducciones en muchos casos. Entre las versiones bilingües consultadas, está la de los *Prolegómenos a toda metafísica futura que haya de poder presentarse como ciencia*, en su edición de Ágora de Ideas, Istmo, que incluye la traducción de Mario Caimi al castellano junto a la versión original (Kant, 2015 [1783]). Otras ediciones y traducciones de los *Prolegómenos* han sido consultadas también (Kant, 1998 [1783]; Kant, 2006 [1783]). Otra fuente consultada en su edición bilingüe alemán-castellano fue *Los progresos de la metafísica*, que reúne textos póstumos (Kant, 2011 [1804]).

XIX. METAFÍSICA EN ÉPOCAS DEL ENCUENTRO CON EL EMPIRISMO

La pregunta acerca de la influencia de Hume

Comencemos con el análisis de la influencia que las ideas del empirismo tuvieron sobre Kant. Una cuestión interesante que podemos abordar primero es la de la coexistencia y la compatibilidad entre ciertas convicciones metafísicas de Kant, tales como la de la posibilidad de existencia de muchos mundos, y otras ideas de él que ya llevaban en germen su teoría trascendental futura y que presumiblemente ya se veían nutridas de su lectura de Hume. Podemos plantear la pregunta siguiente: ¿habían las ideas de Hume ejercido sobre Kant su influencia, aunque más no sea de manera incipiente, en los tiempos en que él todavía mantenía convicciones metafísicas fuertes como aquellas sobre de la existencia de muchos mundos?

Vimos ya que en torno a 1770, en su *Dissertatio [Disertación inaugural]*, Kant mostraba mantener intacta su idea de la plausibilidad de existencia de muchos mundos. Es esa una fuerte convicción metafísica. Cabe preguntarse, entonces, cuándo lee Kant a Hume. Si es que es allí, en la lectura de los empiristas, donde debemos buscar signos de cierta ruptura con su pensamiento metafísico precrítico, entonces esta pregunta se vuelve ineludible. En otras palabras, si es que hubo Kant alguna vez despertado del sueño dogmático que relató, es menester atender a los detalles de ese tránsito hacia la vigilia, de ese periplo hacia el terreno firme y cauteloso de la filosofía crítica. Esto reduce nuestra tarea a una más modesta y precisa, la de preguntarnos en qué momento exacto tuvo Kant contacto con la filosofía de Hume. Esto ha sido materia sujeta a un largo debate entre especialistas [cf. De Pierris *et al.* (2008)]. Para acercarnos a una respuesta a esta pregunta, podemos seguir la ortodoxia y buscar los indicios

de la influencia de Hume sobre Kant en los *Prolegómenos* y en las dos versiones de la *Crítica de la razón pura*.

Hume en los Prolegómenos y en la Crítica

Los *Prolegómenos* contienen una exposición clara de la contestación de Kant a la mirada escéptica que el empirismo echaba sobre el concepto de causalidad, concepto que cumple un rol esencial en la filosofía crítica. La causalidad es un concepto puro, una categoría del entendimiento que desempeña un papel fundamental en la *Crítica de la razón pura*. En el prefacio a los *Prolegómenos*, Kant afirma que “no ha ocurrido ningún evento que pudiera haber sido más decisivo para el destino de [la metafísica] que el ataque que (...) hizo David Hume”, y continúa diciendo que “Hume procedió principalmente de un concepto único pero importante de la metafísica; a saber, el de la conexión de causa y efecto”. Kant reconoce el ataque certero de Hume, y desdeña las defensas insatisfactorias que se habían ofrecido al problema. La famosa afirmación de Kant de que fue Hume quien, años antes, había interrumpido por primera vez su letargo dogmático dándole a sus investigaciones filosóficas un nuevo rumbo aparece precisamente allí, en los *Prolegómenos*. La objeción de Hume a la causalidad es tratada por Kant también en la *Crítica de la razón pura*, aunque se ha observado con frecuencia que es solo en la segunda edición de ese libro (1787) que se le concede a esa objeción un rol tan relevante. En la primera edición de la *Crítica* (1781), el nombre de Hume no aparece sino mencionado tangencialmente en la parte dedicada a la *Doctrina trascendental del método* (cf. De Pierris *et al.*, 2018). Los *Prolegómenos*, que se publican entre las dos ediciones de la *Crítica*, parecen ser, entonces, la fuente indicada para buscar indicios sobre la influencia de Hume.

Notemos que en los *Prolegómenos* Kant refiere que la influencia de Hume venía de “muchos años” atrás. Cabe preguntarse, entonces, a qué acontecimientos se refería Kant; cuándo había él estado expuesto a las ideas de Hume por primera vez; cuándo había tenido acceso a sus textos, a cuáles de sus textos, y cuándo maduró en él la idea de la importancia del contenido de ellos. Para tratar de responder a estas preguntas, atendamos al hecho de que Kant solo pudo haber leído una traducción de los textos de Hume al alemán. Esto acota nuestra búsqueda. Hume publica *An Enquiry Concerning Human Understanding* en 1748, trabajo en el que extiende su *A Treatise of Human Nature: Being an Attempt to Introduce the Experimental Method of Reasoning into Moral Subjects and Dialogues Concerning Natural Religion* (circa 1739). No obstante, la traducción al alemán del libro de Hume apareció recién en 1755 y, dada la popularidad que el libro del filósofo escocés adquirió en los círculos académicos de

Alemania, es probable que Kant lo haya leído durante la década de 1760, pocos años antes de que los pensamientos que luego devendrían su filosofía trascendental comenzaran a germinar. Este es, de hecho, un escenario posible. En tal caso, el encuentro entre aguas de océanos tan distintos se habría dado antes de que Kant escribiera su *Dissertatio* (1770), cuando aún reservaba él un lugar para hipótesis especulativas como la de muchos mundos en su cosmología. Incluso puede sugerirse que la influencia de Hume se revela en *Sueños de un visionario*, de 1766. De todas maneras, existe otro escenario: es también posible, aunque menos probable, que Kant haya leído el libro de Hume poco años más tarde, durante el transcurso de la década de 1770, y aún dentro del tiempo al que la expresión “muchos años [antes de los *Prolegómenos*]” podría referir. Hasta donde nos es dado saber, no hay consenso entre los estudiosos acerca del momento exacto de la lectura de la versión alemana de *An Enquiry Concerning Human Understanding*. Pero, independientemente de cuándo exactamente se haya dado el encuentro con Hume, nos es posible conjeturar que la influencia de las ideas del conspicuo empirista escocés sobre la filosofía de Kant fue dándose de manera paulatina. Tal como muestra el análisis comparativo de las dos versiones de la *Crítica*, las ideas de Hume fueron tomando territorios en el pensamiento kantiano posibilitando la transición del período precrítico al período crítico.

XX. JERARQUÍA ONTOLÓGICA EN LA FILOSOFÍA TRASCENDENTAL

Aparente inversión de la jerarquía ontológica

A partir del comienzo del período crítico se observa una aparente inversión del orden relativo entre fuerza y espacio en la jerarquía ontológica propuesta por Kant. Esto se ve con particular claridad en los *Prolegómenos*, y es por eso que continuaremos analizando ese texto un poco más. Sostendremos aquí que dicha alteración en la jerarquía ontológica, según la cual a partir de la década de 1780 en muchos textos de Kant el espacio parece venir antes que las fuerzas, siendo las propiedades funcionales de estas últimas justificadas por verdades geométricas, es meramente “aparente” y que de ninguna manera representa un cambio substancial en la ontología kantiana. Se trata de una apariencia, una distorsión que surge al restringir el objeto de estudio al de la filosofía trascendental. En otras palabras, la inversión en el orden ontológico entre fuerza y espacio se debe, en realidad, a un artefacto introducido por tal restricción. De hecho, es posible pensar que el orden ontológico materia-fuerza-espacio se encuentra intacto en la física kantiana incluso en el período crítico, aun cuando es cierto que, al dirigir la mirada

al problema del conocimiento, aparece un nuevo orden, el que podemos llamar “orden trascendental”, que antepone el espacio a la fuerza, (cf. Kant, 1968 [1786], p. 99).

En la filosofía trascendental, el entendimiento aparece como actor interviniente en la jerarquía ontológica, y actúa como intercesor, como un filtro. El entendimiento viene a reorganizar la imagen que esa escala jerárquica original proyecta sobre el restringido terreno de la filosofía trascendental. Las sombras y las imágenes proyectadas siempre nos ocultan los volúmenes y, yuxtaponiendo planos distintos, nos muestran coincidencias que en realidad no existen. Fuera de la caverna de la filosofía trascendental, en cuyas paredes se proyecta la sombra de una metafísica kantiana de más dimensiones, es posible pensar que el orden ontológico permanece inalterado. [Más preciso que hablar de una *alteración* del orden ontológico entre materia, fuerza y espacio, es hablar de un *reemplazo* del orden ontológico por otro orden, el trascendental. En el período crítico es el orden trascendental el que pasa a organizar la filosofía kantiana, y en especial la filosofía natural de Kant. En este último orden, el espacio es primero y se convierte en condición de posibilidad de la propagación de fuerzas en él.]

En los *Prolegómenos*, Kant parecía seducido por la idea de poder incorporar la ley de la gravitación universal, en cuanto ley fundamental de la naturaleza, como un *a priori*. Este riesgoso movimiento nunca llegó a concretarse del todo, pero aparece en la obra crítica de Kant como una fuerte insinuación. Incorporar las leyes fundamentales como leyes *a priori* le exige a Kant un giro inteligente: él pretende resolver el problema designando al entendimiento como mediador entre el espacio y la fuerza, *i.e.* el entendimiento intercede entre las verdades geométricas para el entendimiento y las leyes concordantes con ellas. Es precisamente el entendimiento el que vehicula esa inversión aparente entre espacio y fuerza, inversión que, insistimos, solo se da cuando restringimos la jerarquía ontológica al conjunto de la filosofía que se ocupa exclusivamente de las condiciones para que el conocimiento se dé.

El rol mediador del entendimiento en la jerarquía ontológica

Es solo cuando el entendimiento, en el sentido que se le da a esta facultad en la *Crítica*, se yergue como exclusivo rector del objeto de estudio que el espacio se vuelve ineluctablemente tridimensional y que sus propiedades se vuelven “verdades geométricas”. Ya en su primer libro Kant planteaba la propiedad constitutiva de nuestra mente que la hace capaz de interactuar con las sustancias a través de fuerzas de las que nacían el espacio y sus atributos. Kant afirmaba que la imposibilidad que notamos en nosotros de representarnos un espacio de más de tres dimensiones parece surgir de la circunstancia de que nuestra alma [*Seele*] también recibe

impresiones del exterior según la misma ley con la que la materia interactúa, y la naturaleza de nuestra alma está constituida en sí misma para interactuar de esa manera (cf. 1749, § 10). Nuestra alma es parte de ese mundo, mas no lo es de aquellos otros mundos cuya existencia en el sentido metafísico no entra en contradicción con la filosofía trascendental, en cuanto ni siquiera es algo de lo que esta última se ocupe. No escapa nuestro entendimiento de verse constituido, adaptado, afectado, definido según las leyes de ese mundo tridimensional, y, así, sus propiedades geométricas se vuelven ante él “verdades”. Esas propiedades geométricas devienen verdades geométricas, verdades *a priori*, se vuelven axiomas, y, como tales, explican el mundo y sus fuerzas *ab initio*; las exigen. Pero esto no debe engañarnos: tan pronto como nos adentramos en los fangosos terrenos metafísicos que bordean la filosofía trascendental, tan pronto como traspasamos los paréntesis que delimitan el dextro de esta última y, junto a Kant, nos aventuramos en esas ciénagas de conjetura y metafísica, vemos la jerarquía ontológica kantiana regresar, y reclama la fuerza su lugar, y vuelve esta a ser anterior al espacio. Para convencernos de ello, dediquemos la subsección siguiente a analizar detenidamente la aparente inversión ontológica en los *Prolegómenos* y los argumentos en torno a esta.

Interpretaciones de la inversión ontológica entre fuerza y espacio en los Prolegómenos

Lo que discutíamos arriba se relaciona directamente con la pregunta acerca del verdadero significado de una intrigante frase que aparece en los *Prolegómenos*, sobre la que ya reparamos en secciones anteriores: “El entendimiento no extrae sus leyes (*a priori*), sino que las prescribe a la naturaleza” (cf. Kant, 1999 [1783], §36, pp. 179-183)¹⁵⁹.

Ya otros señalaron lo desconcertante que resultan esta frase y las conclusiones que derivan de ella. Por ejemplo, Friedman dedica un capítulo entero de su libro *Kant and the exact sciences* a discutir sobre el significado de los apartados §36 y §38 de los *Prolegómenos* (cf. Kant, 2015 [1783], pp. 179-183). El apartado §38 de los *Prolegómenos* presenta un ejemplo de la afirmación general en §36 acerca de que el entendimiento no extrae sus leyes *a priori*, sino que “las prescribe a la naturaleza”. El ejemplo elegido por Kant en §38 es paradigmático; involucra la fuerza de gravitación universal de Newton: “Una ley física de atracción mutua que difunde sobre toda la naturaleza material, y cuya regla es que disminuye inversamente con el cuadrado de la distancia a partir de cada punto interactuante” (cf. Kant, 1999 [1783], §38, p. 185). Lo intrigante es que pasa a afirmar que ley tal “se basa solamente en la relación de superficies

¹⁵⁹ Esta idea se encuentra en los párrafos conclusivos de la deducción trascendental (1787).

esféricas de distinto radio” (p. 185), lo que parece sugerir que la ley de Newton es *necesaria*, *i.e.* es exigida por la tridimensionalidad del espacio. La oración completa es¹⁶⁰

Si vamos aún más lejos, a saber, a las doctrinas básicas de la astronomía física, se manifiesta una ley física que se extiende sobre toda la naturaleza material, la ley de atracción recíproca, cuya regla es que a partir de cada punto de atracción disminuyen en proporción inversa al cuadrado de las distancias del mismo modo que aumentan las superficies esféricas en las cuales se difunde esta fuerza; lo cual parece yacer como necesario en la naturaleza misma de las cosas y, por lo tanto, *a priori* (Kant, 2015 [1783], pp. 184-185).

Señala Friedman que, debido a la forma sucinta en la que el apartado §38 está escrito, su significado queda en la oscuridad. No obstante, no es difícil interpretar que Kant parece establecer allí una relación causal entre la forma funcional que gobierna la dependencia espacial de la ley de la gravitación y una simple verdad geométrica basada en cómo crece la superficie de las esferas concéntricas. La geometría aparece, así, como causa de la ley funcional de la fuerza. Surge así la pregunta: ¿qué quiere insinuar Kant cuando establece una relación directa entre una forma funcional de la ley y una verdad geométrica? ¿Acaso está afirmando que la ley de la gravitación es conocible *a priori*?, se pregunta Friedman (1992, p. 166). Si así fuera, esto implicaría que el espacio es antes que la fuerza dado que las verdades geométricas exigen la forma de esta última, y no al revés como el mismo Kant había afirmado años antes.

En el contexto de la filosofía trascendental esto puede ser muy claro: los juicios *a priori* incluyen las verdades geométricas del mundo que es nuestro, que es euclidiano y tridimensional, y tales verdades geométricas solo pueden encontrar sintonía con una fuerza cuya ley regente sea la de la inversa del cuadrado – que es la forma en la que nuestra mente, dada su constitución específica, puede verse afectada–. Podría parecer que esto entra en contradicción con las tantas afirmaciones del joven Kant acerca de que es la fuerza lo que exige el espacio y no viceversa. Dado que en su primer libro Kant había interpretado la tridimensionalidad del espacio como una consecuencia de la forma funcional de las leyes, el hecho de que en el apartado §38 de los *Prolegómenos* pretenda explicar la forma funcional de

¹⁶⁰ Dada la importancia de este párrafo, citemos la versión original: *Gehen wir von da noch weiter, nämlich zu den Grundlehren der physischen Astronomie, so zeigt sich ein über die ganze materielle Natur verbreitetes physisches Gesetz der wechselseitigen Attraction, deren Regel ist, daß sue umgekehrt mit dem Quadrat der Entfernungen von jedem ansiehenden Punkt Eben so abnimmt, wie die Kugelflächen, in die sich diese Kraft verbreitet zunehmen, welches als nothwendig in der Natur der Dinge selbst zu liegen scheint und daher auch als a priori erkennbar vorgetragen zu werden pflegt* (Kant, 2015 [1783], p. 184).

la ley de la gravitación *a partir* de una verdad geométrica del 3-espacio parece confuso o incluso contradictorio, en cuanto implica invertir la relación causal entre la cualidad de la fuerza y la cualidad del espacio. En otras palabras, si hacia 1747 parecía Kant sostener que el espacio es tridimensional debido a que la fuerza decae como el cuadrado de la distancia, hacia 1783 encontramos a nuestro filósofo afirmando la relación de implicancia inversa: el decaimiento de la interacción gravitatoria con el cuadrado de la distancia deriva de las propiedades de las 2-esferas en el 3-espacio euclidiano. Se deja ver aquí el rostro más desafiante de esa inversión de orden en la jerarquía ontológica entre fuerza y espacio.

Friedman ensaya una interpretación – o explicación– de esta aparente contradicción: la ley de la gravitación, en cuanto ley fundamental, tiene para Kant un “estado mixto”, sugiere. Esto es, esta ley derivaría de una combinación de las leyes *a priori* del entendimiento, leyes *a priori* de la sensibilidad, y datos *a posteriori* de la experiencia (p. 167). (Esto será expresado por Kant con mucha más claridad en *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza*). Así, la ley de la gravitación no sería puramente una ley *a priori* y, por lo tanto, no derivaría ni del entendimiento ni de la sensibilidad. Agrega luego Friedman que “propiedades de la atracción gravitacional (...) son vistas como condiciones necesarias de posibilidad de una noción objetiva de movimiento verdadero; ellas son en ese sentido *a priori* para Kant” (p. 174).

De acuerdo a la interpretación que Friedman hace de la forma en la que Kant ve la ley de la gravitación, esta ley es empírica y no se trata de un *a priori*. Aun así, dice Friedman, la forma en la que Kant argumenta sobre la ley de la gravitación invoca leyes *a priori* del entendimiento (p. 178). Esto lleva a Friedman a decir que una posible interpretación para el apartado §38 de los *Prolegómenos* es que se está planteando allí un “procedimiento de establecer leyes empíricas por medio de leyes *a priori* del entendimiento” (Friedman, 1992, p. 178). Es el entendimiento el que *prescribe* leyes a la naturaleza. Esto parece estar de acuerdo con lo que Kant escribe en la *Crítica de la razón pura*:

Aunque aprendemos muchas leyes a través de la experiencia, estas no son sino solo determinaciones especiales de leyes aún más elevadas, entre las cuales las más elevadas se originan *a priori* en el propio entendimiento, y no se toman prestadas de la experiencia, sino que meramente proveen la apariencia de ese estar gobernado por leyes, y precisamente debido a eso hacen la experiencia posible (*KrV*, A126).

Con esto, Friedman propone interpretar como un ejercicio de síntesis aquello que parecería ser una contradicción.

Sin condenar la interpretación de Friedman ni adherir a ella de manera acrítica, nos limitaremos a señalar que existe otra forma de expresarla: la aparente contradicción de Kant podría explicarse por la aparición, hacia el período crítico, del entendimiento como nuevo actor en la jerarquía ontológica. Lo que era tímidamente anunciado en *Ideas de la verdadera valoración de la fuerza viva* y que correspondía al contenido más especulativo de su primer libro, parece adquirir substancia en la época crítica. Ya en 1747 Kant mencionaba que el alma y las substancias interactuaban según la misma ley, y que el alma estaba constituida para así hacerlo. De este modo, nuestro entendimiento del mundo no es sino nuestro entendimiento de este concierto de cuerpos en un 3-espacio euclidiano cuyas propiedades geométricas nos resultan las únicas asequibles, cognoscibles, naturales, pero, debido a todo eso, también se nos presentan como *necesarias*. Esto explica la sintonía de nuestra alma con las leyes de ese 3-espacio euclidiano: solo ese mundo (euclidiano y tridimensional) puede ser *conocido* por nuestra mente humana (constituida para interactuar con las substancias mediante una ley de fuerzas de la que la tridimensionalidad del espacio deviene). – Cabe aun lugar para la existencia de otros mundos, con sus otras dimensiones, con sus otras leyes, con sus otras verdades geométricas, verdades geométricas que acaso serán los *a priori* de otros seres¹⁶¹, diría algún metafísico heredero de aquel espíritu precrítico—. En este, en nuestro mundo, las leyes *a priori* de la sensibilidad, las de la geometría euclidiana tridimensional, se encuentran en consonancia con la forma funcional de una ley de fuerzas de la inversa del cuadrado que nos es dado sentir, de la que deriva la tridimensionalidad del mundo. No hay aquí inversión alguna del orden ontológico entre espacio y fuerza, sino la mera formalización de lo que en *Ideas* Kant vagamente llamaba “la forma en la que la naturaleza de nuestra alma está constituida”. Encontramos que esa forma en la que el alma está constituida y que le permite afectar o verse afectada por las substancias externas constituye, precisamente, el mecanismo mediante el cual emergen las reglas *a priori* de la sensibilidad (cf. Kant, 1749, §10, pp. 12-13). No podemos *sentir* otra fuerza, no interactuamos mediante ella, y de aquí que no podamos sino ver como *a*

¹⁶¹ Es posible sostener que Kant admite cierta contingencia trascendental; es decir, cierta contingencia acerca de cómo está configurada la estructura formal de nuestro sujeto o razón. En la *deducción trascendental* de la *Crítica* Kant sostiene que “no se puede dar razón de la peculiaridad que nuestro entendimiento posee – y que consiste en realizar a priori la unidad de la apercepción solo por medio de categorías y solo por medio de este tipo y este número de categorías–, como no se puede señalar por qué tenemos precisamente estas y no otras funciones del juicio o por qué el tiempo y el espacio son las únicas formas de nuestra intuición posible” (*KrV*, B145-146). Es decir, Kant no excluye aquí la posibilidad de que haya otras formas de racionalidad y, por tanto, otras experiencias, ya que si la estructura de la razón no puede probarse *a priori* entonces esta estructura es un *factum* trascendental y, en ese caso, sería contingente. [Le agradezco a Oscar Esquisabel por una discusión importante acerca de este punto].

priori los atributos de este espacio. Aquí sigue siendo la fuerza antes que el espacio, aunque nos sea posible partir de la forma *a priori* del espacio euclidiano y tridimensional e inferir a partir de esto que la fuerza primera de la que todo deriva – incluso el espacio– es aquella que sigue la ley de la inversa del cuadrado de la distancia.

Resumen de nuestro argumento: orden trascendental versus orden ontológico

A modo de corolario, y debido a que somos conscientes de la dificultad conceptual que puede comportar la discusión de este punto, resumamos una vez más cómo entendemos nosotros que se resuelve la aparente contradicción que surge al comparar los *Prolegómenos* con los textos kantianos de filosofía natural pre- y post-críticos.

Comencemos resumiendo una vez más de qué se trata la aparente contradicción: en primer lugar, Kant afirma en los *Prolegómenos* que la ley universal de la gravitación, cuya regla es la de la inversa del cuadrado de la distancia, “parece yacer como necesaria en la naturaleza misma de las cosas y, por tanto, suele ser presentada como cognoscible *a priori*”. Esto sugiere la posibilidad de que una ley natural, en cuanto universal y necesaria, sea cognoscible *a priori* [*als a priori erkennbar*] (cf. Kant, 1783, §38). En segundo lugar, Kant afirma que esta ley natural “se basa solo en la relación de superficies esféricas de distinto radio”, lo que sugiere que la ley de fuerzas de la inversa del cuadrado de la distancia tiene su razón de ser en verdades geométricas del 3-espacio euclidiano, como si la fuerza derivara de las propiedades del espacio y no al revés tal como él mismo afirmara en *Ideas para la verdadera valoración de las fuerzas vivas*.

Nuestra observación es que, aunque pueda parecerlo, no existe una verdadera contradicción en esto. Interpretar que hacia 1747 Kant pensaba que la fuerza daba lugar al espacio mientras que hacia 1783 él pensaba que la fuerza derivaba de la geometría es apresurado. No hay evidencia incontestable de lo segundo. En efecto, no debemos pasar por alto que la verdadera afirmación en los *Prolegómenos* es que “no podría pensarse (...) ninguna otra ley de la atracción” más allá de la de la inversa del cuadrado de la distancia. Mas esta afirmación no se trata de una afirmación ontológica sino una afirmación trascendental; no es una afirmación de lo que las leyes *son* o pueden ser, sino una afirmación acerca de la posibilidad de que las leyes puedan o no ser *pensadas*. El rol que el entendimiento adquiere como mediador entre el espacio y la fuerza es lo que lleva a Kant a subordinar la fuerza a la geometría tridimensional; pero de ninguna manera cabe interpretar que el orden ontológico sugerido en los *Prolegómenos* vale para Kant más allá de su filosofía trascendental. El orden ontológico y el orden trascendental no son necesariamente equivalentes, y la jerarquía entre fuerza y espacio en sendos registros

es prueba de ello. El sometimiento (reducción) de la metafísica kantiana a su propia teoría del conocimiento es innecesario.

Teniendo esto en consideración, podemos sumar otro apotegma: si lo trascendente es aquello que se encuentra más allá de toda experiencia posible, mientras que lo trascendental es aquello que refiere necesariamente a la experiencia y sus condiciones de posibilidad, entonces podemos concluir que, para Kant, la pregunta sobre la dimensionalidad del mundo se trata de una pregunta trascendente – en cuanto la pluridimensionalidad solo es posible bajo la hipótesis de muchos mundos– mientras que la tridimensionalidad es una respuesta trascendental – en cuanto solo es posible encontrar una razón para la tridimensionalidad si se remite a la forma en la que nuestra mente es afectada–.

XXI. LA DIMENSIONALIDAD DEL ESPACIO Y LA CRÍTICA DE LA RAZÓN PURA

Sobre la crítica de la razón pura

Se ha señalado que con *Disertación inaugural* (1770) la doctrina kantiana del espacio y el tiempo como formas autónomas de la intuición sensible comienza a articularse y se perfila su filosofía trascendental (cf. Friedman, 1992, p. 29). El descubrimiento de la importancia de la sensibilidad, ocurrido presumiblemente hacia 1769, el “año de la luz”, sentaba las bases para lo que luego sería la filosofía crítica de Kant, que formalmente se inicia en 1781 con la publicación de la primera edición de la *Crítica de la razón pura*.

La *Crítica de la razón pura* habla de un universo y de sus leyes. Ese universo es el de lo sensible. Epítome cúlmine de las destrezas intelectuales de las que Kant supo valerse a lo largo de toda su obra, el giro y la síntesis, la *Crítica de la razón pura* se presenta, precisamente, como la síntesis entre el racionalismo y el empirismo. Se ubica y se acobia allí, en el cisma abierto entre las dos disposiciones intelectuales que, hasta Kant, parecían las únicas que podían ser adoptadas frente a la pregunta de si es posible una ciencia de la metafísica. Ante este escenario, la filosofía crítica de Kant es el despertar y es el rescate: es el despertar del letargo en el que nos sumía un racionalismo dogmatismo y es, al mismo tiempo, lo que viene a rescatar a la necesidad y a la universalidad de las fauces de un escepticismo que nacía de las lecturas menos creativas del empirismo radical. Ante la obra de Kant, los mosaicos abigarrados y los sueños dogmáticos se fragmentan y se disuelven para pasar a formar parte de la substancia que orbita en torno al sujeto. Giro copernicano de la teoría del conocimiento, culminación del iluminismo, herencia de la escolástica alemana, síntesis habilitadora de toda fenomenología futura, la

Crítica admite tantas adjetivaciones cuantos puntos importantes del pensamiento le ha sido dado revolucionar.

El descubrimiento de la sensibilidad y el poder del entendimiento

Comenzaremos nuestra exposición de las ideas fundamentales de la *Crítica de la razón pura* discutiendo el descubrimiento de la importancia del rol desempeñado por la sensibilidad [*Sinnlichkeit*] en la generación de conocimiento. Este tema ha sido expuesto de manera notable por Mario Caimi (2021), por lo que intentaremos aquí seguir el orden de su exposición. Así, partiremos de la afirmación de que los conceptos racionales puros son, *per se*, vacíos, y que no es sino en la aplicación de esos conceptos a los datos sensibles que el conocimiento se produce¹⁶². La sensibilidad, entendiendo por ello la capacidad de una mente de generar representaciones cuando es afectada, cumple un rol fundamental en la teoría kantiana del conocimiento. Según esta teoría, toda mente dotada de sensibilidad recibe contenido sensible de manera pasiva. Debe entenderse que

[e]ntre lo sensible contamos no solo aquello cuya representación se considera en relación con los sentidos, sino también aquello cuya representación se considera en relación con el entendimiento, siempre que los conceptos puros de este último sean pensados en su aplicación a objetos de los sentidos (*cf.* Kant, 2011 [1804], p. 7).

Superando la concepción racionalista, según la cual existía la capacidad de generación de conocimiento por medio de la pura razón, Kant muestra que la producción de conocimiento necesita ineluctablemente de la articulación entre la razón y la sensibilidad. Es así, pues, que nos es dado conocer: no conocemos las cosas en sí, sino solo conocemos las cosas tal como son presentadas a nosotros a través de nuestra sensibilidad. Esto es el *fenómeno*. Y el objeto será aquello en cuyo concepto lo múltiple de una intuición dada es resumido.

Las formas de la sensibilidad son el espacio y el tiempo. Estas son formas *a priori*. Todo lo que percibimos lo percibimos *en* el espacio y *en* el tiempo, y lo múltiple de la sensibilidad no es sino lo múltiple de sus formas: la multiplicidad de lugares para el espacio, la multiplicidad de instantes para el tiempo. Nuestro entendimiento, *i.e.* facultad de los conceptos en el conocimiento, sintetiza la multiplicidad de lugares e instantes para dar lugar al espacio y al tiempo como un entramado unificado y ordenado. Esa trama emerge a partir de un conjunto

¹⁶² Es el momento de recordar el famoso apotegma kantiano, devenido lugar común pero ineludible: “Pensamientos sin contenido son vacíos, intuiciones sin conceptos son ciegas” (*KrV*, A51/B75).

aleatorio de lugares e instantes (cf. Caimi, 2021) sin orden en el espacio ni tricotomía en el tiempo. En otras palabras, el entendimiento opera sintetizando la multiplicidad de las formas de la intuición y produce, a partir de un mosaico desordenado, un espacio-tiempo que es contenido unificado y continuo. Esto es decir que el espacio y el tiempo se configuran a partir de una operación de síntesis.

La síntesis, *i.e.* ese *ordenar el* espacio, se convierte en algo mucho más importante que el *orden del* espacio tan pronto como advertimos que la operación de ordenamiento presupone un espacio previo que es caótico, desordenado, indiferente. Es justamente ese espacio desordenado lo que hace posible el carácter universal de la geometría: las reglas de la geometría son las reglas de ese espacio primero, y son, así, en todo sitio, universales. Lo mismo ocurre con el tiempo y la aritmética.

En el conocimiento de ellas, las cosas adquieren las formas del espacio y del tiempo, las adoptan, y adoptan con ellas las leyes de la geometría. La sensibilidad aporta el contenido, mientras que el entendimiento se constituye en la facultad de síntesis lógico-formal. Se suma a esto la necesidad de la unidad de la consciencia, en cuanto solo si las representaciones son sintetizadas por una consciencia única, consciente de un “yo pienso”, es el conocimiento posible. Ese “yo pienso” debe poder acompañar todas mis representaciones. Tal es la importancia de ese acto de apercepción. La unidad de la conciencia es imprescindible para que haya sentido. Todo lo cognoscible se combina en un único mundo, un único universo; universo que es, asimismo, plausible de ser compartido intersubjetivamente. El sujeto es, pues, esa “unidad trascendental de la percepción”.

La estética trascendental

La *Crítica de la razón pura* es un libro que parte de una pregunta acerca de la metafísica. Más precisamente, parte de la pregunta de la posibilidad de la metafísica como ciencia¹⁶³. El mero planteo de esta pregunta exigió de parte de Kant una reconsideración de los fundamentos

¹⁶³ Le agradezco a Mario Caimi la observación de que, si bien esto es cierto, cabe una afirmación aún más fuerte: la *Crítica de la razón pura* es un libro en el que el énfasis está puesto en la metafísica, lo que queda expresado en el hecho de que el volumen que ocupa la dialéctica trascendental sea tanto mayor al que ocupa la analítica. Kant rescata las preguntas de la metafísica como preguntas válidas a incluso centrales de la filosofía, y no debe verse en el carácter incognoscible de sus cuestiones centrales, alma, mundo, Dios, un elemento de juicio contra la importancia de esas cuestiones. Las preguntas metafísicas siguen siendo válidas para Kant en el período crítico. Le agradezco a Caimi también que me haya hecho notar que la intención de Kant por rescatar la metafísica se ve más claramente en sus textos póstumos sobre *Los progresos de la metafísica* (Kant, 2011 [1804]).

mismos de la teoría del conocimiento y, con ello, una revisión del estudio de las condiciones de posibilidad de todo conocimiento necesario y universal.

Kant parte de la afirmación de que todo conocimiento comienza *con* la experiencia, mas no todo en el conocimiento surge *de* la experiencia (*cf.* Kant, 1787, *KrV*, B1). En el acto de conocer concurren, también, elementos que son independientes de la experiencia y aun de todas las impresiones de los sentidos. Esos son los *a priori* kantianos.

Esta lograda crítica de la razón conduce a la ciencia, mientras que el uso dogmático de la razón conduce a afirmaciones sin fundamento, a las que pueden oponérseles otras igualmente verosímiles, acaso igualmente demostrables, *i.e.* antinómicas. Este vicio de la razón, este exceso, desemboca en el escepticismo como reacción (*cf.* B 22).

La experiencia es el primer producto de nuestro entendimiento. En palabras de Kant, “*Erfahrung ist ohne Zweifel das erste Produkt, welches unser Verstand hervorbringt, indem er den rohen Stoff*⁶⁴ *sinnlicher Empfindungen bearbeitet*” (A1), *i.e.* la experiencia es, sin duda, el primer producto que produce nuestra mente al trabajar la materia prima de la sensación sensual. Mas la experiencia no es lo único que asiste en nuestro conocimiento. Pensemos, pues, en los conocimientos universales, *i.e.* aquellos conocimientos que tienen el carácter de ser intrínsecamente necesarios, y que deben ser ciertos en sí mismos. Tales conocimientos no pueden depender de la experiencia (*cf.* A2) y son necesarios para que la ciencia sea posible. Esos conocimientos vienen dados *a priori*.

Kant llama conocimiento trascendental al que se ocupa de nuestros conceptos *a priori* de los objetos, y no al que se ocupa de los objetos *per se* (*cf.* A12). La filosofía trascendental kantiana no es sino el sistema de tales conceptos *a priori*.

Decíamos, pues, que todo conocimiento comienza con la experiencia, pero entendemos ahora que no es en la experiencia que nuestro conocimiento se agota (*cf.* B1). No surge nuestro conocimiento solo de ella. Concurren también los conocimientos *a priori*, aquellos que, como ya dijimos, son independientes de la experiencia “y aun de todas las impresiones de los sentidos” (B2). Incluso el sentido común no carece de conocimiento *a priori*, afirmará Kant (B3).

La necesidad y la universalidad son señales inequívocas de un conocimiento *a priori* (*cf.* B4). Y esto no solo incluye a los conocimientos de la geometría y la aritmética, sino también a los de la física. De aquí que Kant haya sugerido en los *Prolegómenos* que la ley universal de la

⁶⁴ El término “*rohen stoff*” puede traducirse como materia prima, aunque el término empleado usualmente para esta es “*Rohstoff*”. Caimi lo traduce como “materia bruta” (*cf.* Kant, 2014 [1781], p. 45).

gravitación, en cuanto ley que gobierna una fuerza fundamental de la naturaleza y organiza la cosmología kantiana, podría venir – en esa artificiosa inversión ontológica que ya discutimos– exigida *por* las verdades geométricas del espacio euclidiano tridimensional.

Lo cierto es que, para Kant, hay en el entendimiento humano juicios puros *a priori* (B5). La física contiene en sí, como principios, juicios sintéticos *a priori*. La causalidad es el ejemplo antonomástico de un juicio tal: “Todo cambio [en el estado de movimiento de un cuerpo] tiene una causa”, dirá Kant. Ahora bien, no solo los juicios pueden tener un origen *a priori*, y el espacio y el tiempo son ejemplos de ello. Escribe:

[N]o solamente en juicios, sino incluso en conceptos, se pone de manifiesto un origen *a priori* de algunos de ellos. Eliminado poco a poco de vuestro concepto empírico de un cuerpo, todo lo que en él es empírico: el color, la dureza o blandura, el peso, incluso la impenetrabilidad; queda, sin embargo, el espacio que [el cuerpo], que ahora ha desaparecido por completo, ocupaba; y a este no podéis eliminarlo (*KrV*, B5-B6; cf. Kant, 2014 [1787], p. 63).

Kant hace así evidente la necesidad de una ciencia que determine “la posibilidad, los principios y el cauce de todos los conocimientos *a priori*” (*KrV*, B36). La ciencia de todos los principios de la sensibilidad *a priori* es lo que Kant denomina *estética trascendental*.

La *Estética trascendental* forma parte, junto a la *Lógica trascendental*, de la *Doctrina trascendental de los elementos*, que constituye la primera parte de la *Crítica de la razón pura*. Suele decirse que es en la *Estética*, en cuanto ciencia abocada a la sensibilidad, donde el espacio y el tiempo son tratados en la *Crítica*. Esto podría sugerir que es suficiente restringir nuestro análisis, en cuanto análisis enfocado en el problema de la tridimensionalidad del espacio, al estudio de la primera parte de la *Doctrina trascendental de los elementos*. No obstante, el espacio y el tiempo desempeñan también un rol importante en la *Analítica trascendental*. Para convencernos de ello, alcanza con pensar en el tiempo y lo importante que este se vuelve para las categorías; pensemos por ejemplo en la causalidad (cf. A189/B232), que requiere de la sucesión; pensemos también en la substancia¹⁶⁵ (cf. A182/B223), que requiere de la permanencia:

[P]ara suministrar algo permanente en la intuición que corresponda al concepto de substancia (y para mostrar de ese modo la realidad objetiva de este concepto), necesitamos una intuición *en* el espacio ([una intuición] *de* la materia) ya que solo el

¹⁶⁵ Podemos también pensar en la teoría kantiana del esquematismo, si preferimos ejemplos más sofisticados de la importancia del espacio y el tiempo más allá de la estética trascendental.

espacio está determinado de modo permanente, pero el tiempo, y con él todo lo que está en el sentido interno, fluye incesantemente (B291).

Por lo tanto, es necesario no limitar nuestro análisis del espacio en la filosofía crítica al estudio de la *Estética trascendental* – aunque por allí comencemos–; es imprescindible que hurguemos también en la *Analítica trascendental* en búsqueda de elementos que puedan hablarnos del espacio, su dimensionalidad y sus otros atributos.

Exposiciones metafísica y trascendental del concepto de espacio

Comencemos respigando en el terreno de la *Estética trascendental* y recolectando allí afirmaciones que nos serán de utilidad para nuestro análisis del espacio. En la sección primera de la *Estética*¹⁶⁶, titulada esta *Del espacio*, en la *Exposición metafísica del [concepto de espacio]* (§2, B37), encontramos el siguiente párrafo:

Mediante el sentido externo (propiedad de nuestra mente¹⁶⁷) nos representamos objetos exteriores a nosotros y como reunidos en el espacio. En el espacio, pues, están determinadas o son determinables la figura, el tamaño y las relaciones respectivas de tales objetos (*KrV*, B37; cf. Kant, 1984 [1781/1787], §2, p.115).

Es entonces que Kant afirma que “[e]l espacio no es un concepto empírico derivado de experiencias externas”. Kant explica que esto es así porque¹⁶⁸

para que ciertas sensaciones se refieran a alguna cosa fuera de mí (...), y para que pueda yo representarme las cosas como exteriores y juntas las unas con las otras, y

¹⁶⁶ En esta subsección preferimos citar, mayoritariamente, la edición siguiente: Kant I. (1984) [1781/1787], *Crítica de la razón pura*, Hypamerica.

¹⁶⁷ Aquí, los traductores de la edición de Hypamerica (Kant, 1984 [1781/1787]) emplearon la palabra “espíritu” en lugar de la palabra “mente”. Nosotros hemos elegido una traducción propia, que puede considerarse un híbrido entre esa traducción y la de Caimi (cf. Kant, 2012 [1781/1787]). La frase en alemán es “*eine Eigenschaft unsres Gemüts*”, que significa “una cualidad de nuestra mente” o, como lo expresa Caimi, “una propiedad de nuestra mente”. Hacemos esta aclaración porque la relación entre “espíritu” y “mente”, o más precisamente entre “alma” [*Seele*] y “mente” [*Gemüt*] ya había sido señalada por nosotros. El empleo de “espíritu” en la traducción recogida en la edición de Hypamerica no se debe a una mala traducción, sino que responde a esa transición que Kant hizo del empleo de la palabra *Seele* al empleo de la palabra *Gemüt*, como si se tratasen de sinónimos. La descripción en castellano de la distinción entre *Seele* y *Gemüt* encuentra su dificultad. Quizá ayude agregar que, mientras la palabra *Seele* tiene una fuerte connotación metafísica, según la cual este término indica algo substancial, la palabra *Gemüt* es más neutral desde el punto de vista de la metafísica.

¹⁶⁸ Otro aspecto en el que nuestra propia traducción de fragmentos de la *Crítica* difiere de otras es en la puntuación, algo que, en el caso de Kant, tratándose de un autor que no solo abusa de las aposiciones, sino que, además, no siempre emplea una puntuación adecuada, resulta importante. También agregaremos algunas palabras, además de las que ya agregaron otros traductores. Se indicará esto, como es usual, mediante el empleo de corchetes. Insistimos en que la traducción de Caimi es, a nuestro parecer, muy superior a las otras disponibles en castellano.

por consiguiente no solo diferentes sino también en diferentes lugares, debe existir ya en principio la representación del espacio (*ibid.*).

De aquí se infiere, nos dice Kant, que “la representación del espacio no puede ser adquirida por la experiencia de las relaciones del fenómeno externo, sino que, al contrario, dicha experiencia externa solo es posible por esta representación” (*ibid.*). Continúa:

El espacio es una representación necesaria *a priori*, que sirve de fundamento a todas las intuiciones externas. Es imposible concebir que no existe espacio, aunque se le puede pensar sin que contenga objeto alguno¹⁶⁹. Se considerará, pues, al espacio como la condición de posibilidad de los fenómenos y no como una determinación dependiente de ellos: es una representación *a priori*, fundamento necesario de los fenómenos externos (§2, pp. 115-116).

En su *Exposición metafísica* (§2, B37) y su *Exposición trascendental del concepto del espacio* (§3, B40) Kant prosigue discutiendo una serie de propiedades del espacio; a saber: su tridimensionalidad, su ser una “representación *a priori* necesaria que sirve de fundamento de toda intuición externa”, su unidad y unicidad, su propiedad de ser pensado como “una cantidad infinita dada”, su cualidad de “no representa[r] ninguna propiedad de las cosas en sí”, y habla también de la idea del espacio absoluto.

Hablaremos sobre la dimensionalidad del espacio¹⁷⁰ en la subsección siguiente; solo adelantemos aquí que Kant pone a la tridimensionalidad del espacio como ejemplo de una cualidad de este que sería contingente si los principios de la geometría no se conocieran *a priori* (*cf.* Kant, 1984, §2, p. 116). Esto se interpreta como que Kant encuentra en el método trascendental la única respuesta posible a la pregunta por la tridimensionalidad del espacio.

¹⁶⁹ Esta conocida fórmula kantiana aparece, *exceptis excipiendis*, en muchísimas formas en la filosofía anterior y posterior. Recorrer esas formulaciones de afirmaciones consecuentes sería imposible. Repararemos, como ejemplo, en la forma en la que lo expresa Wittgenstein en el *Tractatus*: “*Diesen Raum [einem Raume möglicher Sachverhalte] kann ich mir leer denken, nicht aber das Ding ohne den Raum*” [Puedo pensar en este espacio [de posibles estados de cosas] como vacío, pero no la cosa sin el espacio], (TLP: 2.013; *cf.* TLP: 2.0121).

¹⁷⁰ Kant dedica también algunas palabras a la (uni)dimensionalidad del tiempo. En la sección segunda de la *estética trascendental*, al hablar [d]el tiempo (§6) Kant escribe: “[N]os representamos la sucesión del tiempo con una línea prolongable hasta el infinito, cuyas diversas partes constituyen una serie que es de una sola dimensión, y derivamos de las propiedades de esta línea todas las del tiempo, exceptuando solo una, a saber: que las partes de las líneas son simultáneas, mientras que las partes del tiempo son siempre sucesivas” (pp. 121-122).

Sobre la unidad del espacio, Kant afirma que “no puede representarse más que un único espacio, y cuando se habla de muchos [espacios], se entiende solo en ellos las partes de un mismo y único espacio” (*KrV*, §2, p. 116). Agrega: “El espacio es esencialmente uno”.¹⁷¹

Luego, en su *Exposición trascendental del concepto de espacio*, escribe:

[e]l espacio no representa ninguna propiedad de las cosas, ya se considere a estas en sí mismas o en relaciones entre sí; es decir, ninguna determinación que dependa de los objetos mismos y que permanezca en ellos si se hace abstracción de todas las condiciones subjetivas de la intuición; porque ni las determinaciones absolutas, ni las relativas pueden ser percibidas antes de la existencia de las cosas a que pertenecen, y por consiguiente *a priori* (§3, p. 117).

Aquí Kant está negando que el espacio represente propiedad alguna de las cosas en sí, y lo hace contemplando tanto la posibilidad de pensar el espacio de manera sustantivista como de manera relacionalista. Esto es decir que Kant está clausurando la posibilidad de que el espacio pueda ser pensado como representando propiedades de las cosas en sí, tanto si se piensa a este concepto de manera leibniziana como newtoniana: “Nada significa la representación del espacio, si salimos de la condición subjetiva, bajo la que únicamente podemos recibir la intuición externa, es decir, ser afectados por los objetos”, agrega (§3, p. 117). En relación con esto, más tarde escribirá:

A esta teoría se la puede llamar la doctrina de la idealidad del espacio y del tiempo, porque estos se representan como algo que no pertenece a las cosas en sí mismas; una doctrina que no es una mera hipótesis para poder explicar la posibilidad del conocimiento sintético *a priori*, sino que es una verdad demostrada (...) Esta idealidad del espacio y del tiempo es, sin embargo, a la vez una doctrina de la perfecta realidad de los mismos con respecto a los objetos de los sentidos (...) como fenómenos (*cf.* Kant, 2011 [1804], pp. 15-18).

Volviendo a la *Exposición trascendental* del espacio, cabe atender a lo que Kant escribe sobre la realidad de este concepto:

Nuestras exposiciones enseñan (...) la realidad (es decir, la validez objetiva) del espacio con respecto a todo aquello que pueda presentársenos exteriormente como objeto; pero, a la vez, la idealidad del espacio con respecto a las cosas cuando son [estas] consideradas por la razón en sí mismas; es decir, sin prestar atención a la

¹⁷¹ Siendo que, para Kant, la existencia de muchos mundos demanda, por definición, la desconexión causal total entre ellos, la hipótesis de muchos mundos no tiene cabida en el marco de su filosofía trascendental.

constitución de nuestra sensibilidad. Afirmamos, por lo tanto, la realidad empírica del espacio (con respecto a toda posible experiencia externa), aunque a la vez la idealidad trascendental de él, es decir, que no es nada, tan pronto como suprimimos la condición de la posibilidad de toda experiencia y lo tomamos como algo que sirve de fundamento de las cosas en sí mismas (*KrV*, A28/B44; cf. Kant, 2014 [1781/1787], §3, pp. 96-97).

En las dos subsecciones siguientes nos detendremos a analizar con detalle dos puntos tratados también en la *Exposición metafísica* y la *Exposición trascendental* del concepto de espacio que son centrales para nuestro estudio. En primer lugar, discutiremos el comentario sobre la tridimensionalidad del espacio que Kant incluyera en la primera edición de la *Crítica de la razón pura*. Luego, nos ocuparemos de las formas de afección de lo externo sobre nuestra mente según la *Crítica* y lo compararemos con las ideas de esto que germinaban en la primera obra de Kant y que discutimos *in extenso* en la Primera Parte de este trabajo.

La dimensionalidad del espacio en la estética trascendental

En la *Exposición metafísica* del espacio que hace en la *Estética trascendental*, Kant enumera una serie de cuatro afirmaciones acerca de este concepto. Luego de preguntarse qué son el espacio y el tiempo, si son estos entes efectivamente reales, Kant afirma que el espacio no es un concepto empírico que haya sido extraído de experiencias externas. De hecho, habría cierta circularidad irresoluble si así fuera, dado que la experiencia externa es posible solo mediante la representación del espacio. La representación del espacio ha de ser primero para que pueda una dada representación ser referida a algo afuera de nosotros (cf. Kant, 2014 [1787], pp. 92-93). Su segunda afirmación es la siguiente: el espacio es una representación *a priori* necesaria que es fundamento de todas las intuiciones externas. Uno no puede hacerse una representación en la que el espacio está ausente, observa Kant. El espacio es, así, considerado condición de posibilidad de los fenómenos y no como una determinación dependiente de ellos. Su tercera afirmación dice del espacio algo que luego dirá del tiempo: este concepto “no se trata de un elemento discursivo” de las relaciones de las cosas en general, sino que se trata de una intuición pura. El espacio es una intuición *a priori*, y de esto se deducen los principios de la geometría (euclídea y tridimensional) “con certeza apodíctica”. La cuarta afirmación es que el espacio es representado como una cantidad infinita dada. De aquí que el espacio sea, en realidad, una intuición *a priori*, y no un concepto *stricto sensu*, ya que todas las partes del espacio son simultáneas y ningún concepto admite ser pensado como si tuviese en sí una multitud infinita de representaciones.

Ahora bien, en la primera edición de la *Crítica* (1781), entre la segunda y la tercera de las cuatro afirmaciones que acabamos de enumerar había una afirmación adicional. Esta sería luego excluida en la segunda edición (1787). Encontramos pertinente citar aquí el párrafo correspondiente en su forma completa, en parte debido a lo curioso de esa exclusión, y en parte por su cualidad de referir directamente a la dimensionalidad del espacio. Dice:

En esta necesidad *a priori* [refiriendo al espacio como representación *a priori* necesaria que sirve de fundamento de todas las intuiciones externas] se basa la certeza apodíctica de todos los principios geométricos, y la posibilidad de sus construcciones *a priori*. Pues si esta representación del espacio fuese un concepto adquirido *a posteriori*, extraído de la experiencia externa general, entonces los primeros principios de la determinación matemática no serían nada más que percepciones. Tendrían, por tanto, toda la contingencia de la percepción, y no sería precisamente necesario que entre dos puntos solo pasara una línea recta, sino que la experiencia lo enseñaría siempre así. Lo que es tomado de la experiencia tiene además universalidad solo comparativa, a saber, por inducción. Por tanto, solo se podría decir: “según lo que se ha observado hasta ahora, no se ha encontrado espacio alguno que tenga más de tres dimensiones” (cf. *KrV*, A24-A25).

La necesidad y la universalidad de los principios de la geometría demanda la naturaleza apriorística de la representación del espacio, la que no tiene, claro está, la contingencia ni la eventualidad de las percepciones. Para Kant, recordemos, la geometría es la geometría euclidiana y tridimensional; la referencia en el párrafo precedente a un postulado de las paralelas¹⁷² lo deja en claro. La tridimensionalidad del espacio aparece, pues, como un *a priori*. Esto lo afirma Kant en varios fragmentos. Se trata de “la imposibilidad de un espacio que no sea tridimensionalidad”, que es hablar de una necesidad, y no del juicio eventual: “no se ha observado hasta ahora espacio alguno que tenga más de tres dimensiones”.

Kant afirma que la geometría es una ciencia que determina sintéticamente, y sin embargo *a priori*, las propiedades del espacio. Esto lo lleva a preguntarse qué debe ser la representación del espacio para que sea posible tal conocimiento sintético *a priori* de él. Su respuesta es la siguiente:

[El espacio] debe ser originariamente intuición; pues de un mero concepto no se pueden extraer proposiciones que vayan más allá de concepto, lo cual, empero, ocurre en la

¹⁷² La relación entre el postulado de las paralelas y el quinto postulado de Euclides está discutida en detalle en muchos libros dedicados a las geometrías no-euclidianas (cf. Santaló, 1966).

geometría (...) Pero esta intuición debe encontrarse en nosotros *a priori*, es decir, antes de toda percepción de un objeto, y por lo tanto debe ser intuición pura, no empírica. Pues las proposiciones geométricas son todas apodícticas, es decir, están enlazadas con la conciencia de su necesidad, *e.g.* el espacio tiene solo tres dimensiones; pero tales proposiciones no pueden ser juicios empíricos o juicios de experiencia, ni pueden ser deducidas de estos (*KrV*, B41; *cf.* Kant, 2014 [1787], p. 94).

Las proposiciones de la geometría “están enlazadas con la conciencia de su necesidad”, y la tridimensionalidad del espacio aparece aquí como ejemplo de ello. La tridimensionalidad es, en el contexto de la filosofía trascendental kantiana, una proposición geométrica, un juicio *a priori*. Pero, ¿podemos acaso afirmar rotundamente que esta idea de la tridimensionalidad del espacio como un *a priori* en nosotros está completamente desvinculada de la imposibilidad que encontró Kant desde temprano en su obra filosófica para demostrar la tridimensionalidad del espacio? Nosotros no creemos que afirmar esto sea posible; en especial porque el pasaje de lo contingente a lo apriorístico es un gesto usual en la filosofía trascendental a la hora de resolver problemas planteados por la metafísica. La arbitrariedad del mundo a menudo se disuelve al entrar en contacto con la referencia al sujeto, y Kant ve en esto una solución a problemas planteados por la metafísica. Este mismo movimiento se verá más tarde en *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza*, donde Kant aborda el problema de la divisibilidad infinita de la materia mediante el método trascendental. Trataremos eso en la próxima sección.

La afección de lo externo sobre nuestra alma

Para el Kant de *Ideas de la verdadera valoración de las fuerzas vivas* (1747), la dimensionalidad del espacio está dada *a partir* de la forma en la que las sustancias interactúan con nosotros. Más precisamente, y como ya vimos, Kant afirma en su primer libro que la razón por la cual el mundo es tridimensional es que las sustancias interactúan entre sí y con nuestra propia alma según la ley de la inversa del cuadrado de la distancia. Así, si lo que se desea es investigar sobre las razones de la dimensionalidad del mundo – algo que, como acabamos de ver, en la filosofía trascendental constituye un *a priori*– se vuelve imprescindible discutir primero la forma en la que las sustancias interactúan con nuestra mente. Y dado que estamos especialmente interesados en establecer continuidades entre el período precrítico de la metafísica kantiana y sus exposiciones del espacio en su filosofía crítica, nos permitiremos aquí comparar algunos fragmentos de su obra primera, *Ideas*, con otros de la *Crítica*.

De un párrafo de *Ideas* que ya citamos en la sección II de esta tesis, leemos que “[e]s igualmente fácil captar la naturaleza paradójica de la proposición acerca de cómo es posible

que la materia, que uno imagina que solo puede causar movimientos, imprima ciertas representaciones e imágenes en el alma” (cf. Kant, 1749, §6). Por su parte, en la *Crítica* Kant afirmaría que la intuición, es decir aquella manera por la cual se refiere a objetos inmediatamente, solo ocurre en la medida que los objetos afecten nuestra mente de una dada manera (cf. *KrV*, B33). Mientras que circa 1747 Kant habla de alma [*Seele*], en el período crítico hablará de mente o estado anímico¹⁷³ [*Gemüt*], pero las consideraciones sobre la existencia de una cierta “manera” en la que los objetos (la materia¹⁷⁴) nos afectan permanecen inalteradas.

Volviendo al joven Kant, encontramos la afirmación de que “la materia que se ha puesto en movimiento actúa sobre todo lo que está espacialmente conectado con ella y, por tanto, también sobre el alma” (Kant, 1749, §6). En otras palabras, la materia “cambia el estado interno del alma”, entendiendo por este estado “la suma de todas sus representaciones y conceptos” (*ibid.*). “En la medida en que este estado interno del alma se relaciona con lo externo a ella, se conoce con el nombre de *status repræsentativus universi*”, escribe Kant, y pasa a afirmar que la manera en la que la materia cambia el estado del alma a través del cual esta representa al mundo es precisamente por medio de la fuerza. Es de esta manera que “podemos comprender cómo la materia puede imprimir representaciones en el alma”, nos dice. En la *Crítica*, por su lado, encontramos fragmentos que es imposible no relacionar con esa forma en la que el joven Kant entendía la afección de las sustancias sobre nuestra alma; por ejemplo: “Conocemos a la sustancia en el espacio solamente por fuerzas que actúan en él, ya para arrastrar a otras hacia allí (atracción), ya para impedir la penetración en él (repulsión e impenetrabilidad)” (*KrV*, A265/B321). Debemos entender que es mediante esas fuerzas que actúan en el espacio que las sustancias producen sensaciones en nuestra mente. Las fuerzas son lo que permite que la

¹⁷³ A su vez, “estado anímico” y ánimo comparten raíz: vienen del griego *ανemos*, *anemos*, viento. El carácter pneumatológico de *Gemüt* debe ser, pues, apreciado. Aun así, en este contexto, y tal como traduce Mario Caimi en ciertas partes de la *Crítica*, la palabra “mente” cabe como traducción adecuada. Le agradezco a Caimi una conversación acerca de las preferencias sobre las distintas traducciones de la palabra *Gemüt* en la obra de Kant al castellano y al inglés. Mientras ciertos traductores españoles prefieren traducirla como la palabra “ánimo”, la connotación emocional que esta palabra tiene en castellano no la hace, a juicio de Caimi, completamente adecuada. Caimi señala, además, que buenos traductores de la obra de Kant al inglés, como Kemp Smith, también prefieren traducir *Gemüt* como “*mind*”. Algunos problemas de la traducción como este, especula Caimi, se deben a que muchos textos filosóficos en alemán llegan al inglés luego de un pasaje por el francés, lo que dificulta la transferencia de palabras como “mente”, precisamente. La traducción de *Gemüt* por “mente”, por otro lado, evita la connotación pneumatológica que podría tener al referir a “espíritu” o, más precisamente, por la asociación con “ánimo”. Relacionado con esto, pero ya en otro orden de cosas, le agradezco a Celia Cabrera por una breve conversación sobre el significado preciso que la palabra *Gemüt* tiene en la obra de otros filósofos como Husserl.

¹⁷⁴ Veremos más abajo, en la sección siguiente, las definiciones de “materia” que Kant da en sus *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* (1786).

materia aparezca ante nosotros. Esta idea representa, no solo otra de las continuidades que la filosofía de Kant exhibe a lo largo de toda su producción, sino también una de las razones por las que es posible afirmar que elementos importantes de la filosofía trascendental se veían ya anticipados y habilitados por ideas que Kant presentaba a comienzos del período precrítico.

Al respecto de la cuestión de la forma en la que la afección de las fuerzas sobre nuestra alma y la forma en la que representamos el espacio y su tridimensionalidad, cabe citar nuevamente lo que Kant escribe en *Ideas*: “La imposibilidad que notamos en nosotros de representarnos un espacio de más de tres dimensiones parece surgir de la circunstancia de que nuestra alma también recibe impresiones del exterior según la relación inversa al cuadrado de las distancias” (Kant, 1749, §10). La imposibilidad de representarnos un espacio de una dimensionalidad diferente a tres es lo que, en tiempos de la filosofía trascendental, deviene en el carácter *a priori* de nuestras intuiciones. Kant estaba anticipando ya en 1747 elementos que habilitarían la filosofía trascendental. Que exista una relación íntima entre la dimensionalidad y cierta ley física que gobierne las fuerzas (la fuerza gravitacional de Newton) habilita a que también ciertos elementos de la física aparezcan como un *a priori*. Esto es lo que, con la osadía que demanda la brevedad, Kant expondría de manera más clara en los *Prolegómenos* al afirmar que “se manifiesta una ley que se extiende sobre toda la naturaleza material, la ley de atracción recíproca, cuya regla (...) parece yacer como necesaria en la naturaleza misma de las cosas y, por lo tanto, suele ser pensado como cognoscible *a priori*” (Kant, 2015 [1783], pp. 184-185). Habla Kant de una “naturaleza que reposa sobre leyes que el entendimiento conoce *a priori*, sobre todo a partir de principios universales de la determinación del espacio” (pp. 186-187).

Lo que Kant parece estar sugiriendo es que nuestra mente interactúa con las substancias siguiendo una ley de fuerzas específica, la ley de la inversa del cuadrado de la distancia, y que esto es así debido a la forma en la que nuestra mente está constituida en sí misma; en términos que Kant emplearía, “[debido a que la] naturaleza [de nuestra alma] está constituida en sí misma [para] verse afectada de esta manera [y] también para actuar externamente a sí misma de esta manera” (Kant, 1749, §10). Esta forma constitutiva de nuestra mente puede ser pensada como la razón física de que la ley sea, al menos en lo que hace a alguno de sus atributos, un *a priori* para nosotros. Luego, la tridimensionalidad del mundo deriva de la forma funcional específica de esa ley, por lo que no puede la tridimensionalidad sino ser también un *a priori*, como lo serán las otras verdades geométricas derivadas de esa forma funcional. Esta interpretación fisicalista de la doctrina kantiana tiene la enorme ventaja de ser compatible tanto con su metafísica primera, la de *Ideas de la verdadera valoración de las fuerzas vivas*, como con su filosofía trascendental.

Escribe Kant en la *Crítica*:

Cualesquiera sean la manera y los medios por los que un conocimiento se refiera a objetos, aquella [forma] por la cual se refiere a ellos inmediatamente, y que todo pensar busca como medio, es la intuición. Esta, empero, solo ocurre en la medida en que el objeto nos es dado, pero esto, a su vez, solo es posible, al menos para nosotros, los humanos, en virtud de que él afecta a la mente [*Gemüt*] de cierta manera¹⁷⁵ (*KrV*, B33; cf. Kant, 2014 [1781/1787], p. 87).

Reparemos aquí en la expresión “al menos para nosotros, los humanos” que, de hecho, podemos intuir que se trata de una expresión meditada, en particular porque se trata de un agregado en la segunda edición (cf. *KrV*, A19). Poco después escribiría:

[S]ólo desde el punto de vista de un ser humano podemos hablar de espacio, de entes extensos, etc. Si prescindimos de la condición subjetiva, solo bajo la cual podemos recibir intuición externa (a saber, así como seamos afectados por los objetos), entonces la representación del espacio no significa nada (B42-B43).

Esta referencia antropocéntrica en relación con el espacio ha sido materia sujeta a exhaustivo debate. Se encuentra, por ejemplo, en la raíz de la crítica que filósofos como Xavier Zubiri hicieron de la filosofía crítica kantiana (cf. 1996, p. 195). No obstante, estas críticas parecen pasar por alto que Kant contemplaba la posibilidad de otros seres, algo que queda expuesto en sus consideraciones ético-cosmológicas de las que ya hablamos.

Las fuerzas y la sensibilidad

El mundo de Kant se construye con fuerzas. En su filosofía precrítica, de esas fuerzas nace el espacio. En la filosofía crítica el espacio es primero. Por las fuerzas nos es dado saber de las substancias en el espacio: “Conocemos a la substancia en el espacio solamente por fuerzas que actúan en él, ya para arrastrar a otras hacia allí (atracción), ya para impedir la penetración en él (repulsión e impenetrabilidad)” (A265/B321). Más adelante, en *Principios metafísicos*, incluso dirá Kant que las fuerzas son condición de posibilidad de la existencia de la materia. En la *Estética trascendental* de la *Crítica* escribía:

La capacidad (receptividad) [*Die Fähigkeit (Rezeptivität)*] de recibir representaciones gracias a la manera como somos afectados por objetos, se llama sensibilidad

¹⁷⁵ La última frase, en su versión original, se lee: “*Diesen findet aber nur statt, so fern uns der Gegenstand gegeben wird; dieses aber ist wiederum, uns Menschen wenigstens, nur dadurch möglich, daß er das Gemüt auf gewisse Weise affiziere*” (*KrV*, A19/B33; cf. Kant, 2019 [1781/1787], p. 93).

[*Sinnlichkeit*]. Por medio de la sensibilidad, entonces, nos son dados objetos, y solo ella nos suministra intuiciones; pero por medio del entendimiento ellos son pensados, y en él surgen conceptos (B33).

Se habla del efecto de un objeto sobre la capacidad representativa, en la medida en que somos afectados por él, *i.e.* la sensación (*cf.* A20/B34). Cabe preguntarse hasta qué punto el descubrimiento del rol de la sensibilidad no estaba ya en germen en sus primeras obras, en las que hablaba de la forma en la que nuestra alma está *constituida en sí misma* para verse afectada de una dada forma.

En la *Crítica*, Kant afirma que la intuición del espacio debe encontrarse en nosotros *a priori*; es decir, antes de toda percepción de un objeto. Luego se pregunta “cómo puede estar en la mente una intuición externa, que precede a los objetos mismos, y en la cual puede ser determinado *a priori* el concepto de estos últimos” (B41). Responde:

Manifiestamente, no de otra manera, sino en la medida en que ella tiene su sede meramente en el sujeto, como la constitución formal de este, merced a la cual es afectado por objetos recibiendo por ello una representación inmediata de ellos, es decir, una intuición; por tanto, solo como forma del sentido externo general (*KrV*, B41, *cf.* Kant, 2014, p. 94)

Kant estaba convencido que solo esta explicación hace comprensible la posibilidad de la geometría como conocimiento sintético *a priori*.

Sobre el espacio, Kant concluye, en primer lugar, que ese no representa ninguna propiedad de las cosas en sí: “[n]i las determinaciones absolutas ni las relativas pueden ser intuitas antes de la experiencia de las cosas”, afirma; en segundo lugar, concluye que el espacio no es nada más que la mera forma de todos los fenómenos de los sentidos externos; es decir, la condición subjetiva de la sensibilidad, solo bajo la cual es posible para nosotros la intuición externa (*cf.* *KrV*, A26/B42). Sobre esto último, dice:

[D]ado que la receptividad del sujeto para ser afectado por objetos necesariamente precede a todas las intuiciones de esos objetos, se puede entender cómo la forma de todos los fenómenos puede estar dada en la mente antes de todas las percepciones efectivamente reales, y por tanto, *a priori*; y cómo ella, siendo una intuición pura en la que todos los objetos deben ser determinados, pueden contener, antes de toda experiencia, principios de las relaciones de ellos (*KrV*, A26/B42; *cf.* Kant, 2014 [1781/1787], p. 95).

Lo discutido hasta aquí expone ciertas continuidades entre aquella idea que Kant exponía al comienzo del período precrítico acerca de una forma específica en el que las substancias interactuaban con nuestra alma – forma que llevaba grabada a fuego los atributos del espacio, tales como su tridimensionalidad– y las ideas del espacio en la filosofía trascendental, según la cual el espacio euclidiano y tridimensional es una forma *a priori* de la sensibilidad, la única que nuestra mente puede asir. La idea de las substancias afectando nuestra alma, nuestra mente, exhibe sin dudas continuidades a lo largo de toda su obra y es, por lo tanto, imprescindible reconocer que el origen de esa idea se remonta a 1747.

Las continuidades y una lectura dialéctica del abandono de la metafísica

Si lo que se pretende es sostener la existencia de continuidades en la obra kantiana, entendiendo por eso no solo continuidades en las convicciones metafísicas a lo largo del período precrítico sino, también, continuidades entre el período precrítico y el período crítico, entonces surge de inmediato una serie de preguntas: ¿Cómo compatibilizar la concepción precrítica del espacio como derivado de la fuerza con la concepción trascendental del espacio como forma pura de la sensibilidad que puede ser conocido solo *a priori* (cf. *KrV*, B60)? Si el espacio viene exigido por algo aún más fundamental, ¿cómo puede ser primero?, o ¿en qué sentido lo es? – Podríamos responder que el espacio es primero *en nosotros*–. Otra cuestión es la siguiente: ¿cómo entender la consideración de la posibilidad metafísica de la existencia de muchos mundos, siendo que en la filosofía trascendental Kant afirma que es posible representarse un único espacio (cf. A25)? Las respuestas a estas preguntas están, insistimos, en la distinción fundamental de la que parte la filosofía trascendental: se trata del sistema que se ocupa, no del [espacio como] objeto sino de las condiciones de posibilidad del conocimiento de este. El espacio, en cuanto intuición pura *a priori*, es primero, mas es primero *en nosotros*. No hay verdadera contradicción entre la filosofía trascendental, en la que el espacio es tridimensional y euclidiano y está dado *a priori*, y la metafísica kantiana del espacio ya expresada en el período precrítico, que incluye la hipótesis de muchos mundos. Ver una contradicción en esto delata un error de interpretación de los lindes del método trascendental. Kant no solo no niega la existencia de aquellos productos de la razón especulativa, sino que no deja de creer en ellos. Para Kant existe el yo, existe el mundo, existe Dios.

Pero la tarea que nos convoca no es solo mostrar que la metafísica del período precrítico no entra en contradicción con la filosofía trascendental de Kant; ni siquiera se agota nuestra tarea en marcar continuidades entre los distintos períodos de nuestro filósofo; nuestra tarea es, además de todo ello, mostrar que la concepción del espacio que el joven Kant presentaba ya en

su primer libro, la de un espacio como elemento no-primordial – en el sentido de que su existencia es exigida por algo aún más fundamental– también anticipa e incluso habilita las formas que el espacio tomaría en su filosofía madura. Sobre esto, y para recordar a qué nos referimos cuando hablamos de las formas que el espacio adopta en filosofía trascendental, recordemos lo que Kant concluye en sus observaciones generales sobre la estética trascendental:

[T]oda nuestra intuición no es nada más que la representación de fenómenos; que las cosas que intuimos no son, en sí mismas reales, como las intuimos, ni sus representaciones están constituidas, en sí mismas, como se nos aparecen; y que si suprimiésemos nuestro sujeto, o aun solo la manera de ser de los objetos en el espacio y en el tiempo, todas sus relaciones, incluso el espacio y el tiempo mismos, desaparecerían; y que como fenómenos, no pueden existir en sí mismos, sino solo en nosotros (*KrV*, B59; cf. Kant, 2014 [1787], §8, p. 109).

O sea, no hay necesariamente una preeminencia ontológica del espacio, aunque sea este un *a priori* en la filosofía trascendental. Aquella primera concepción del espacio, la de un espacio que en su libro de las fuerzas vivas aparecía como elemento derivado, exigido por las leyes que gobiernan las fuerzas que afectan nuestra alma, se vuelve *necesaria* para construir lo que luego será la concepción del espacio en la filosofía crítica, la concepción de un espacio que no puede existir en sí mismo sino solo en nosotros. La filosofía trascendental es deudora de aquella metafísica primera. Reiteremos nuestro apotegma: era menester liberar al espacio del mundo de las cosas en sí para que pudiera ese finalmente salir de este. Esto nos regresa a una observación que ya hicimos acerca de cuál consideramos que es la correcta disposición dialéctica que debe tomarse ante la metafísica kantiana: el abandono progresivo de la metafísica que uno ve a lo largo de la filosofía de Kant no debe interpretarse meramente como un rasgo de evolución o maduración filosófica, sino más bien como el desmantelamiento progresivo del andamiaje que fue siendo necesario para la construcción de un edificio tan delicado como el método trascendental presentado en la *Crítica de la razón pura*.

La dimensionalidad del espacio en la analítica trascendental

En el primer libro de la *Analítica trascendental*, al tratar la *aplicación de las categorías a los objetos de los sentidos en general* (*KrV*, §24, B150), Kant dice que siempre se observa que “[n]o podemos concebir una línea sin trazarla en el pensamiento, ningún círculo sin describirlo, ni representarnos tres dimensiones del espacio sin *tirar* de un mismo punto tres líneas

perpendiculares entre sí” (*KrV*, B154; cf. Kant, 2014 [1787], p. 220). Vemos aparecer aquí, entre líneas, el argumento que Leibniz presenta en la *Teodicea* para argumentar que la tridimensionalidad del mundo no tiene su razón en la idea del mejor de los mundos posibles, sino que sigue de simples verdades geométricas. Recordemos que Kant ya refería a ese argumento en 1747, argumento que había considerado tautológico. Vemos regresar aquí el argumento de Leibniz, pero vestido con las telas de la filosofía trascendental: “No podemos concebir ...” Mas la forma en la que Kant se apropia del argumento es diferente. La imposibilidad de un mundo con una dimensionalidad distinta de tres no se debe aquí a que la tridimensionalidad sea, *stricto sensu*, una “verdad geométrica” en el sentido en el que lo era para Leibniz. La imposibilidad de una dimensionalidad distinta de tres se entiende aquí en un sentido trascendental: a nosotros, en cuanto seres dotados de sensibilidad y de una mente constituida para interactuar con las sustancias de una determinada forma, nos es imposible concebir otro tipo de espacio, diría Kant. Según esta doctrina, la pregunta por la arbitrariedad de la tridimensionalidad, a la que Kant solo encontraba respuesta en la hipótesis de muchos mundos, en la filosofía trascendental encuentra una nueva forma de respuesta: esa arbitrariedad se disuelve en la necesidad de referenciar al sujeto, a “nosotros, los humanos”. Esto tiene cierta similitud con los argumentos antrópicos que encontramos en las construcciones teóricas de la física actual, donde la referencia al *hombre que observa este universo* es la respuesta a la pregunta por la multiplicidad de formas posibles del cosmos que nuestras teorías permiten y que, según algunos consideran, han de realizarse en alguna parte de un multiverso, ese hiperespacio anfitrión de mundos con otras dimensionalidades.

Un poco después, en el segundo libro de la *Analítica trascendental*, al tratar el *fundamento de la distinción de todos los objetos en phaenomena y noumena*, vuelve Kant a mencionar la dimensión del espacio:

[T]odos los conceptos, y con ellos todos los principios, por muy posibles *a priori* que sean, se refieren empero a intuiciones empíricas, es decir, a datos para la experiencia posible. De lo contrario, carecen de toda validez objetiva y son mero juego, ora de la imaginación, ora del entendimiento, cada uno con sus respectivas representaciones. Basta tomar, por ejemplo, los conceptos de la matemática, y por cierto que el primero en sus intuiciones puras: el espacio tiene tres dimensiones; entre dos puntos no puede haber más de una línea recta, etc. (Kant, 1984 [1787], p. 234).

Vemos aquí a un Kant afianzado en la idea de que solo un universo tridimensional es posible, en el sentido de que solo un espacio tal le es accesible a nuestra mente. La tridimensionalidad es un concepto de la matemática, “el primero en sus intuiciones puras”.

Sobre la presencia de Leibniz en la analítica trascendental

Detengámonos en la aparición de Leibniz en la digresión planteada arriba. No son muchas las ocasiones en las que Kant menciona explícitamente a Leibniz en la *Crítica*, aunque se ve aparecer la figura del filósofo racionalista de manera implícita en varios fragmentos. El que indicamos arriba es uno de ellos. Aunque no lo mencione explícitamente, al hablar de “tres líneas perpendiculares entre sí” que pasan por un mismo punto (B154) Kant está, sin lugar a dudas, refiriendo al intento de Leibniz por demostrar la tridimensionalidad del mundo, una demostración a la que Kant había referido ya en *Ideas* (1749) y que había dejado de lado por haber considerado “circular”. Cabe entonces preguntarse a qué responde que Kant regrese sobre esa demostración. La respuesta a esta pregunta nos permite ver una realización concreta del giro efectuado por Kant en la *Crítica*: para Leibniz, tal como lo expone él en la Teodicea, la tridimensionalidad del espacio es una verdad geométrica y no se encuentra entre aquellos atributos del mundo que Dios pudo haber elegido de forma diferente. Leibniz afirma que solo hay tres dimensiones del espacio debido a que es posible trazar únicamente tres líneas que sean, todas ellas, perpendiculares entre sí. En contraste, Kant emplea el argumento de Leibniz de manera completamente diferente, reapropiándose de él y resignificándolo: él afirma la *necesidad* de esas tres líneas perpendiculares entre sí para poder *representar* las dimensiones del espacio. Se ve aquí la inversión, al plantear Kant que las propiedades de la geometría son condiciones de posibilidad de la representación de las propiedades del espacio, y no razón misma de los atributos de este. La diferencia fundamental entre Leibniz y Kant en relación a este punto es que para Leibniz la tridimensionalidad del espacio es siempre una necesidad conceptual y analítica, mientras que para Kant llega a ser una necesidad de nuestra intuición.

La dimensionalidad del tiempo (digressio)

En la *Analítica trascendental* Kant habla también de la unidimensionalidad del tiempo. Se expresa sobre esta de manera similar a como lo hace al discurrir sobre la tridimensionalidad del espacio:

Tampoco podríamos representarnos el tiempo sin *tirar* una línea recta (...) y atender al acto de la síntesis de lo diverso por el cual determinamos sucesivamente al sentido

interno y mediante este a la sucesión de esta determinación que en él tiene lugar (*KrV*, B154; cf. Kant, 2014 [1787], p. 220).

En esta tesis nos centramos exclusivamente en el problema de la contingencia de la dimensionalidad del espacio, sin desplegar el universo que se abre ante quien se encarama al estudio del tiempo en Kant, un universo que es cantera y es abismo.

El hecho de acotar el foco de nuestro estudio y restringir el análisis al espacio se debe en parte a que, si bien está de más aclarar el rol importante que desempeña el tiempo en la filosofía crítica, se observa que en la filosofía precrítica de Kant el tiempo permanece en un plano distinto al del espacio, casi desempeñando un rol secundario. En el período crítico, por el contrario, la construcción de su teoría del conocimiento le exigió a Kant no solo una revisión cuidadosa del tiempo como forma pura de la sensibilidad, sino también una homologación del rol que cumplen esta forma y la del espacio, *exceptis excipiendis*. En la *Crítica*, el espacio y el tiempo, las formas *a priori* de la sensibilidad, son lo tridimensional y lo unidimensional, son la geometría y la aritmética, son la forma y el número, son lo externo y lo interno; y cada una de esas dos formas tiene su dimensionalidad propia. El análisis comparativo de estas formas es una interesante materia de estudio, una que no ha sido siempre apropiadamente explotada¹⁷⁶. Por ejemplo, la analogía entre cómo el espacio y el tiempo entrelazaron su relación en la física del siglo XX a partir del advenimiento de la teoría de la relatividad, y cómo la geometría y la aritmética comenzaron, también en ese siglo, a compartir caminos de maneras antes impensadas es un tema que merecería ser estudiado en mayor profundidad. Esperamos regresar sobre esas cuestiones en el futuro. Por lo pronto, continuaremos aquí con nuestro estudio de la dimensionalidad del espacio, sobre la que aún tenemos mucho que decir.

La estructura del espacio en la dialéctica trascendental

Los conflictos de las ideas trascendentales, las celebradas antinomias de la razón pura que Kant discute en la *Dialéctica trascendental*, ofrecen puntos ineludibles para la discusión sobre la estructura¹⁷⁷ del espacio en la filosofía crítica. La primera antinomia de la razón trata de la cuestión de si el mundo, el universo, tiene un comienzo en el tiempo y un límite en el espacio.

¹⁷⁶ Hay, sí, estudios clásicos interesantes sobre el espacio-tiempo como un continuo tetradimensional y la relación que este concepto tiene en el marco del idealismo trascendental. Un ejemplo que, aunque antiguo, es insoslayable es el libro de Cassirer, libro *Substanzbegriff und Funktionbegriff* [*Substancia y función, y la teoría de la relatividad de Einstein*] (1923).

¹⁷⁷ Con “estructura del espacio” nos referimos a sus atributos como dimensionalidad, continuidad, conectividad, divisibilidad, finitud. Otros de sus atributos, que no necesariamente cabría considerar parte de su *estructura* es la unicidad, *i.e.* la cualidad de ser este único o múltiple.

La prueba de la tesis por la afirmativa y de su antítesis son de los pasajes de la *Crítica de la razón pura* que, sin lugar a dudas, todos hemos disfrutado más. Por otro lado, su relevancia para el problema del espacio es evidente. El espacio se encuentra en la definición misma del problema de la primera antinomia: trata, en particular, de la finitud o infinitud de este; finitud o infinitud a favor de las cuales, según Kant, la razón puede argüir con igual pericia. La segunda antinomia es también relevante para nosotros. Aunque trata del problema de la substancia, se relaciona directamente con la pregunta por la divisibilidad *ad infinitum* de la substancia y la del espacio en la que la substancia se encuentra; dirá Kant: “La divisibilidad de [un cuerpo] se basa en la divisibilidad del espacio, que constituye la posibilidad del cuerpo como un todo extenso” (*KrV*, A525/B553). Esta es una cuestión que Kant había ya tratado en su *Monadología física* (1756) y sobre la que volverá en sus *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* (1786) ya portando el método trascendental en su carcaj. La segunda antinomia aborda la cuestión de si toda substancia en el mundo se compone de partes simples, que es equivalente a preguntar si solo esas partes simples y lo que ellas componen existe.

Son estas dos primeras antinomias las que tienen mayor relevancia para nuestro problema. La tercera antinomia es también de una enorme importancia para la metafísica de las ciencias, en cuanto trata del problema de la causalidad. No obstante, no se conecta tan directamente con los atributos del espacio como las dos anteriores. Para ser más precisos, recordemos que la tercera antinomia trata el problema de si la forma de causalidad según las leyes de la naturaleza es la única forma de causalidad que existe en el mundo, o si, por el contrario, hay también causalidad por libertad, irreducible a las leyes de la física sin la intervención de un acto volitivo irreducible a dichas leyes. Es, así, una pregunta por la libertad, por la voluntad. La cuarta antinomia, por su parte, se pregunta por la existencia, en alguna parte del mundo, de un ente absolutamente necesario.

De las dos primeras antinomias, en esta sección nos dedicaremos a tratar la cuestión de la magnitud del mundo, *i.e.* la pregunta sobre su limitación en el espacio y en el tiempo. Postergaremos el tratamiento del problema de la divisibilidad de las substancias para la próxima sección, en la que estudiaremos los *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza*, donde, como dijimos, el problema de la materia es tratado con detalle y en el que Kant aplica el método trascendental para abordar su resolución.

En la parte titulada *El idealismo trascendental como la clave de la resolución de la dialéctica cosmológica*, comienza Kant con un resumen de contenido de la *Estética trascendental*. Dice allí Kant haber probado que

[t]odo lo que es intuitivo en el espacio o en el tiempo, y por tanto, todos los objetos de una experiencia posible para nosotros, no son nada más que fenómenos, es decir, meras representaciones, que tales como son representadas, como entes externos, o como series de mudanzas, no tienen en sí, fuera de nuestros pensamientos, existencia fundada. Esta doctrina [es] el *idealismo trascendental* (*KrV*, A490/B518, *cf.* Kant, 2014, pp. 560-561).

Y agrega: “El realista¹⁷⁸, en sentido trascendental, hace de estas modificaciones de nuestra sensibilidad, cosas subsistentes en sí, y por eso, convierte meras representaciones en cosas en sí mismas” (*KrV*, A491/B519). Luego, Kant afirma que su idealismo trascendental

concede que los objetos de la intuición externa son efectivamente reales, tales como son intuitivos en el espacio; y que en el tiempo [son efectivamente reales] todas las mutaciones, tales como las representa el sentido interno. Pues como el espacio es ya una forma de aquella intuición que llamamos la externa, y sin objetos en él no habría ninguna representación empírica, resulta que podemos y debemos suponer en él entes extensos que sean efectivamente reales; y así es también con el tiempo. Pero aquel espacio mismo, junto con este tiempo, y junto con ambos, todos los fenómenos, no son en sí mismos cosas, sino nada más que representaciones y no pueden existir fuera de nuestra mente (*KrV*, A491/B520, *cf.* Kant, 2014, pp. 561-562).

Esta exposición del idealismo trascendental tiene la pretensión de dejar en claro en qué sentido los objetos de la intuición externa son reales. A continuación, afirma Kant que “los objetos de la experiencia nunca son dados en sí mismos, sino solo en la experiencia, y no existen fuera de esta” (*KrV*, A492/B521), a lo que agrega:

Se debe admitir, por cierto, que pueda haber habitantes en la luna, aunque ningún hombre jamás los haya percibido; pero esto solo significa que podríamos encontrarnos con ellos en el progreso posible de la experiencia; pues es efectivamente real todo lo que está en un contexto junto con una percepción, según leyes del progreso empírico. Son, pues, efectivamente reales, cuando están en interconexión empírica con mi conciencia efectivamente real, aunque no por eso sean efectivamente reales en sí [mismos], es decir, fuera de ese progreso de la experiencia (*KrV*, A493/B521; *cf.* Kant, 2014, pp. 562-563).

¹⁷⁸ En *Principios metafísicos* la figura del “realista” como adversario dialéctico reaparecerá al momento de abordar el problema de la divisibilidad indefinida de la materia mediante el método trascendental. Tomará allí la forma de “el metafísico dogmático” (*cf.* Kant, 1786).

El valor de esta recapitulación que Kant hace del contenido de la *Estética trascendental* es enorme y cumple con preparar las bases conceptuales que luego empleará en las pruebas que componen el juego de las antinomias. Era necesario para Kant dejar en claro a qué se refería con la realidad de los objetos, con la posibilidad de verdad de aquello jamás observado, y de los procedimientos iterativos mediante los cuales se accede al conocimiento. Esto último es fundamental para abordar cuestiones como las de la finitud del espacio, la finitud del tiempo, o la divisibilidad de la materia, en cuanto los tres problemas exigen considerar procesos recurrentes de búsqueda de la respuesta y de acercamiento asintótico al conocimiento. La convergencia o divergencia de una secuencia tal y la posibilidad empírica del arribo al conocimiento ocupan parte importante de la discusión en la *Dialéctica trascendental*. En relación con esto, y yendo ya a la cuestión específica de la finitud o infinitud del espacio y el tiempo, Kant concluye:

[N]o [es posible] decir: el mundo es infinito en lo que respecta al tiempo transcurrido, o en lo que respecta al espacio. Pues tal concepto de cantidad, como infinitud dada, es empíricamente imposible, y por lo tanto es absolutamente imposible también con respecto al mundo [entendido] como objeto de los sentidos (*KrV*, A520/B548, *cf.* Kant, 2014, pp. 583-584).

Afirma: “Por consiguiente, la respuesta primera, y negativa, a la pregunta cosmológica por la magnitud¹⁷⁹ del mundo, es: el mundo no tiene ningún comienzo primero en el tiempo, ni límite externo en el espacio” (*KrV*, A520/B548; *cf.* Kant, 2014, p. 584). Lo explica así:

Pues en caso contrario, [el mundo] estaría limitado, por un lado, por el tiempo vacío, y por el otro lado, por el espacio vacío. Pero como él, como fenómeno, no puede estarlo de ninguna de las dos maneras en sí mismo, pues el fenómeno no es una cosa en sí misma, entonces debería ser posible una percepción de la limitación por medio de un tiempo absolutamente vacío, o de un espacio absolutamente vacío, [percepción] mediante la cual estos confines del mundo fuesen dados en una experiencia posible. Pero tal experiencia es imposible, por estar enteramente vacía de contenido. Por consiguiente, un límite absoluto en del mundo es empíricamente imposible, y por tanto, es también absolutamente imposible (*KrV*, A521/B549; *cf.* Kant, 2014, p. 584).

Así resuelve Kant la pregunta cosmológica sobre la magnitud del mundo, *i.e.* la pregunta sobre la finitud del universo. La experiencia de los confines del mundo es imposible empíricamente,

¹⁷⁹ La palabra “magnitud” reemplaza a la palabra “cantidad” que aparece en la traducción citada.

y por lo tanto imposible absolutamente¹⁸⁰. Su resolución del problema de la divisibilidad de la materia en *Principios metafísicos* se valdrá, como veremos, de un movimiento similar, *mutatis mutandis*¹⁸¹.

Volviendo a la cuestión de la finitud del espacio y el tiempo, leemos su frase famosa: “Todo comienzo está en el tiempo y todo límite de lo extenso [está] en el espacio. Pero el espacio y el tiempo solo están en el mundo sensible” (*KrV*, A522/B550; cf. Kant, 2014, p. 585). Concluye de esto que “solo los fenómenos en el mundo están limitados, de manera condicionada; pero el mundo mismo no está limitado, ni de manera condicionada ni de manera incondicionada”. Estas afirmaciones aparecen cuando trata Kant la solución de la idea cosmológica de la totalidad de la composición de los fenómenos de un universo, y surgen después de haber mostrado la ambigüedad en la respuesta a la pregunta cosmológica sobre la magnitud del mundo. Sobre esa ambigüedad, en el *escolio final a toda la antinomia de la razón pura*, Kant concluye:

Mientras tengamos por objeto de nuestros conceptos de la razón meramente la totalidad de las condiciones en el mundo sensible, y lo que puede ocurrir, respecto de él, en servicio de la razón, nuestras ideas son, por cierto, trascendentales, pero, sin embargo, cosmológicas. Pero tan pronto como ponemos lo condicionado (que es de lo que propiamente se trata) en aquello que está enteramente fuera del mundo sensible, y, por tanto, fuera de toda experiencia posible, las ideas se tornan trascendentes (...) y fabrican para sí mismas objetos cuya materia no es tomada de la experiencia, y cuya realidad objetiva tampoco se basa en la consumación de la serie empírica, sino en puros conceptos *a priori*. (*KrV*, A565/B593; cf. Kant, 2014, pp. 620-621).

Esta es la conclusión fundamental de la *Dialéctica*, y es imprescindible tenerla en consideración a la hora de emprender el estudio de los *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* de Kant, tarea a la que nos dedicaremos en la próxima sección y que completará nuestro análisis del tratamiento que Kant hace del espacio en el período crítico.

¹⁸⁰ Véase el contraste con la idea de un universo infinito en su cosmología de 1755.

¹⁸¹ Véase el contraste con la cuestión de la divisibilidad infinita de la materia en su teoría monadológica de 1756.

XXII. LA DIMENSIONALIDAD Y EL PROBLEMA DE LA MATERIA

El problema de la movilidad y el problema de la materia en el período crítico

Es menester no confundir la filosofía kantiana de la *Crítica* con el período crítico de la filosofía kantiana. Si bien en libros contemporáneos a la *Crítica de la razón pura* uno puede claramente ver la aplicación del método trascendental a otros problemas, cabe señalar que muchos de esos problemas son deliberadamente dejados de lado en la *Crítica*, aun cuando tienen estrecha conexión con tópicos tales como el espacio. El ejemplo por antonomasia es el problema de la movilidad, que Kant desarrolla en *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* [*Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*] y que se vincula, como veremos, con el problema del espacio y el problema de la materia como fenómeno. También hay diferencias (no decimos incompatibilidades) en el tratamiento del espacio que Kant hace en este último libro y en la *Crítica*.

Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza es publicado en Riga en 1786, solo un año¹⁸² antes de la segunda edición de la *Crítica*, tres años después¹⁸³ de la aparición de los *Prolegómenos*. Debido a esto y a que en ese libro se encuentra la aplicación del método trascendental a problemas de la ciencia de la naturaleza, como el problema de la divisibilidad de la materia, el desarrollo de *Principios metafísicos* es solidario al de la versión definitiva de la *Crítica de la razón pura*, lo que no solo posibilita un análisis comparativo sino que invita a él.

El problema principal de *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* es el problema de la materia como fenómeno, y si bien otros temas, tales como la necesidad de una metafísica de la naturaleza¹⁸⁴, el problema del espacio, la relatividad del movimiento, la estructura del vacío, la posibilidad de las fuerzas y el carácter fundamental de las leyes naturales son tratados

¹⁸² En algunos sitios la publicación de este libro aparece erróneamente fechada (cf. Cassirer, 2018, p. 263).

¹⁸³ Sabemos de la correspondencia de Kant que, aunque la publicación de *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* es posterior a la publicación de la primera edición de la *Crítica de la razón pura*, el primero de estos libros trata, en realidad, de un proyecto anterior. Aun así, se ve en ese libro la aplicación del método trascendental al problema de la materia y de su movilidad, por lo que es un texto que entra en conversación adaptativa con la *Crítica de la razón pura* en todo momento.

¹⁸⁴ Podemos decir que *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* se ocupa de una metafísica real de la naturaleza corpórea. Esta metafísica de los cuerpos resulta indispensable para el estudio de la metafísica general, en cuanto contribuye a establecer los límites de la razón pura y señalar en qué punto la experiencia se hace imprescindible: las diferencias específicas entre las materias no pueden estar dada *a priori*. En ese libro, Kant aplica de los principios trascendentales de la crítica al género de los objetos de los sentidos externos; esto es, a la materia.

también en ese libro con una concisión y lucidez destacables, es la materia el tema en torno al que el libro y todas las cuestiones tratadas en él orbitan. También puede decirse de este libro que es el intento por articular el contenido de la física newtoniana desde las coordenadas de la filosofía trascendental.

Principios metafísicos es un libro que hay que leer siempre teniendo presente otras dos obras de Kant; es un libro que se encuentra a caballo entre la *Crítica de la razón pura* (*KrV*) y su *Opus Postumum* (*OP*). En este último, Kant plantea un *tránsito de los principios fundamentales de la ciencia de la naturaleza a la física*, que rotula la necesidad de completación de un proyecto científico-filosófico¹⁸⁵. Por su parte, la *Crítica* dona el método con el que Kant emprende en *Principios metafísicos* una revisión de su teoría de la materia, las fuerzas y el movimiento.

Ya vimos que la cuestión de la constitución de la materia¹⁸⁶ había sido tratada por Kant con cierto grado de detenimiento en su *Monadología física*, en 1756, a poco de su tratado de cosmología, aparecido el año anterior. Discutimos ya esa microfísica y macrofísica kantiana del período precrítico en la Segunda Parte de esta tesis. Aquí regresaremos, invitados por el Kant del período crítico, al problema de la materia, de su estructura interna, de su divisibilidad y su posibilidad de movilidad, pero lo ahora haremos desde el punto de vista trascendental. Veremos que, mientras la teoría kantiana de las fuerzas de la materia hacia el período crítico se mantenía esencialmente igual que aquella bosquejada en su *Monadología física*, la misma adoptaría hacia 1786 el método trascendental como clave para la resolución de problemas como el de la divisibilidad indefinida y, por ello, tomaría distancia de la hipótesis monadológica, o, al menos, de cierta interpretación de la monadología.

La crítica a las interpretaciones de la monadología no le impide a Kant, sin embargo, proponer un rescate de la intención original de Leibniz. Tampoco le impide mantener, como decíamos, muchas de las ideas principales expresadas en la *Monadología física*. La concurrencia de dos fuerzas, una repulsiva y otra atractiva, cada una siguiendo una ley de potencias inversas

¹⁸⁵ Sobre las discusiones acerca del programa de completación del problema de la movilidad de la materia que Kant pretendía en *Opus postumum* y las distintas interpretaciones y conjeturas acerca de ese, puede leerse Pecere Paolo (2015), *The Systematical Role of Kant's Opus postumum "Exhibition" of Concepts and the Defense of Transcendental Philosophy*, con-textos kantianos, *International Journal of Philosophy*, pp. 156-177; Förster, Eckart (2000), *Kant's Final Synthesis. An Essay on the 'Opus postumum'*, Cambridge Mass. También Podemos referir a las especulaciones sobre la relación entre el contenido de *Opus postumum* y *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* que aparece en el Capítulo 5 en la Parte 2 de Friedman (1992), *Kant and the Exact Sciences*, pp. 211-242, donde se habla del programa kantiano de una "transición a la física".

¹⁸⁶ Según Cassirer, "[l]os *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* (...) contienen el nuevo bosquejo de la filosofía kantiana de la naturaleza" (2018, p. 263).

diferentes, son ideas que, no solo se mantienen, sino que se acentúan y desarrollan más en *Principios metafísicos*. Esto deja en claro las continuidades de elementos de la física kantiana desde el período precrítico al período crítico. También hay discontinuidades, y el abandono de la hipótesis monadológica no es la única de ellas; por ejemplo, veremos discontinuidad en la jerarquía ontológica entre fuerza y espacio: mientras el joven Kant de *Ideas de la verdadera valoración de las fuerzas vivas* (1747) afirmaba que el espacio nace de las fuerzas, el Kant de *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* (1786) afirmará que la fuerza necesita de la presuposición del espacio (cf. Kant, 1968 [1786], p. 99).

Estructura de la exposición de los Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza

El libro en el que Kant expone sus *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* está organizado en cuatro capítulos, precedidos estos por un prefacio. Esos cuatro capítulos tratan de los principios metafísicos de la foronomía, de la dinámica, de la mecánica y de la fenomenología, respectivamente: decir foronomía es decir cinemática, *i.e.* el estudio del movimiento (de la materia) sin entrar en el estudio de sus causas ni de las leyes (*e.g.* leyes de conservación) que rigen el movimiento. Atañen a la foronomía aspectos tales como la relatividad del movimiento o la pregunta por el espacio absoluto. La dinámica, por su parte, trata de las fuerzas, de las afecciones de las substancias entre sí, y de las causas del movimiento. Es la discusión de la dinámica lo que le sirve a Kant para sentar las bases de su teoría de la materia. La mecánica, según la define Kant, es la disciplina que estudia el efecto de los cuerpos en movimiento entre sí al comunicar su movimiento [*Die Wirkung bewegter Körper [aneinander] durch [Mitteilung] ihrer Bewegung heisst Mechanisch*]. Kant reformula las leyes de la mecánica y las enuncia en su libro. Retoma el tema central de su primer libro (1747); a saber, la cantidad de movimiento. Más precisamente, discute la cantidad de materia en relación con la cantidad de movimiento, considerando una como medida de la otra: “La cantidad de materia, comparada con cualquier otra, únicamente se puede evaluar por medio de la cantidad de movimiento a una velocidad dada” (p. 105). Regresa así a las cuestiones de las cantidades conservadas en la mecánica. Vuelve hablar de las fuerzas vivas y de las fuerzas muertas, de la identificación de estas dos nociones, y de la determinación del movimiento por medio de la energía cinética (cf. Kant 1991 [1786], pp. 107-107). Esa discusión lo lleva a enunciar sus leyes de la mecánica: la conservación de la materia, la existencia de una causa para alterar la velocidad de un cuerpo, la existencia de una reacción ante una acción dada. La cuarta y última parte del estudio lo reserva Kant para la fenomenología. Este último capítulo comienza con la siguiente definición: “La materia es aquello que es móvil en la medida en que, como tal, puede

ser objeto de experiencia” [*Materie ist das Bewegliche, sofern es, als ein solches, ein Gegenstand der Erfhrung sein kann*] (Ak., IV, 554 ss.; MAN, Kant, 1991 [1786], p. 127).

Dos naturalezas

Se impone comenzar el análisis del contenido de *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* con la distinción que hace Kant al comienzo de su libro, en el prefacio, sobre dos acepciones de la palabra “naturaleza” [*Natur*]. Dos son los sentidos en los que Kant comprende este término y prefiere dejar en claro desde el inicio de su libro el significado preciso en el que entenderá la “naturaleza” mientras pretende discutir sobre la posibilidad de una ciencia de la naturaleza. En primer lugar, la naturaleza puede entenderse en su sentido formal; es decir, entendiendo que naturaleza significa “el primer principio de todo aquello que forma parte de una cosa” (MAN, Kant, 1991 [1786], p. 3), la naturaleza de una cosa. Afirma: “*Wenn das Wort Natur blos in formaler Bedeutung genommen wird, da es erste innere Princip alles dessen bedeutet, was zum Dasein eines Dinges gehört, so kann es so vielerlei Naturwissenschaften geben, als es specifisch verschiedene Dinge gibt (...)*”; es decir, si la palabra naturaleza se toma en un sentido puramente formal, que significa todo lo que pertenece a la existencia de una cosa, entonces puede haber tantas ciencias naturales como cosas específicamente diferentes existan (cf. MAN, Kant, 1900 [1786], p. 3). Dirá Kant también, en un despliegue de su ontología, que “[l]a esencia es el primer principio interior de todo aquello que forma parte de la posibilidad de un objeto”; la esencia es lo único que “puede atribuírseles a las figuras geométricas”, dirá; los triángulos tienen una esencia, mas no una naturaleza.

En segundo lugar, tenemos la naturaleza en su sentido material, definida esta como “el conjunto de todas las cosas en cuanto pueden ser objetos de nuestros sentidos” y de nuestra experiencia. Esta última acepción incluye, pues, “la totalidad de todos los fenómenos”, que es decir el mundo de los sentidos, “excluyéndose los objetos no sensibles”. La idea de incluir el conjunto de todas las cosas en cuanto pueden ser objetos de nuestros sentidos aleja, no solo aquello que no es *sensible*, sino también la contingencia, aquello que refiere a la singularidad de los casos. Se trata del conjunto de *todo* aquello que puede ser objeto de nuestros sentidos.

En su artículo *The concept of nature in Kant’s Metaphysical Foundations of Natural Science* Pissis, al mencionar las dos acepciones de naturaleza en el libro de Kant, escribe:

La primera explicación de Kant del tema de las ciencias naturales – como *natura rerum*, como la constitución específica de objetos específicos, y además como el fundamento interno de todos los predicados de un determinado objeto– es ciertamente extraña. Parece chocar con una característica clave de la ciencia natural

moderna; es decir, con la abolición de la dicotomía entre física y mecánica: entre los movimientos naturales, que se basan en la naturaleza de un objeto como principio interno, y los movimientos artificiales, que se imponen sobre un objeto del exterior.

A partir de esta consideración, Pissis viene a defender la tesis de que la definición formal de naturaleza que Kant emplea en *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* es, precisamente, la definición fundamental, “en referencia a la cual el proyecto de Kant toma su forma particular” (cf. Pissis J., 2019, p. 1519).

Kant afirma que es posible una doble teoría de la naturaleza. Se refiere a esta doble teoría como *die Körperlehre und Seelenlehre möglich*, i.e. la teoría del cuerpo y una teoría del alma son posibles. Y notamos de inmediato aquí el regreso de la palabra “alma” – en el lexema *Seele* en *Seelenlehre*–, que prácticamente nos había abandonado en nuestra descripción de la esfera mental, en especial desde comienzos del período crítico.

Ahora bien, si lo que se pretende es la formulación de una teoría (doble) de la naturaleza, cabe la discusión de lo que “teoría” significa en este marco, y también de lo que significa “ciencia”. Nos dice Kant: “Toda doctrina cuando debe formar un sistema, es decir, una totalidad del conocimiento ordenado según principios, se llama ciencia” (MAN, Kant, 1991 [1786], p. 4). Dirá poco después que “solo se puede llamar ciencia a [aquel conocimiento] cuya certeza es apodíctica; un conocimiento que solo ofrece una certeza empírica es denominado saber solo impropriamente”.

Kant divide la ciencia de la naturaleza en ciencia histórica y ciencia natural. Si el concepto de naturaleza “no hiciese necesario un conocimiento racional de su desencadenamiento, este conocimiento no puede (...) merecer el nombre de ciencia de la naturaleza”. Esto lo convence de que es conveniente dividir la teoría de la naturaleza en teoría histórica de la naturaleza y ciencia de la naturaleza. La teoría histórica de la naturaleza no contendría más que hechos sistemáticamente ordenados de cosas de la naturaleza; esto es, comprendería una descripción de la naturaleza “en tanto que clasificación de (...) hechos según las analogías y una historia de la naturaleza en cuanto que exposición sistemática de aquellos en los diferentes tiempos y lugares”. La ciencia de la naturaleza, por su parte, admite una subdivisión en ciencia propia de la naturaleza y ciencia impropia de la naturaleza: mientras la primera trata su objeto enteramente según principios *a priori*, la segunda trata al objeto según las leyes de la experiencia.

Esta digresión de Kant, que se centra en la necesidad de disección entre teoría histórica de la naturaleza y ciencia de la naturaleza, sumada a la desagregación de la ciencia natural en propia

e impropia, responde a sus preocupaciones sobre el carácter fundamental o no-fundamental de las leyes que gobiernan las fuerzas naturales, y se relaciona con las preguntas por la necesidad y la contingencia. Esta preocupación por discernir entre las leyes fundamentales y aquellas que son plausibles de ser derivadas a partir de otras acompañó las meditaciones cosmológicas de Kant desde su período precrítico. Su libro cosmológica, de 1755, como todo libro de *Historia natural*, pone la pregunta sobre la contingencia de las leyes en primer plano. Las preguntas sobre la necesidad de las leyes y sobre su carácter universal, reaparecen sobre el final de *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza*, y se sumará a esas preguntas una propia del universo trascendental: la pregunta por la posibilidad de un conocimiento *a priori* de las leyes que gobiernan las fuerzas naturales. En ese sentido, podemos decir que *Principios metafísicos* responde a preguntas que Kant planteaba en el período precrítico y que luego resurgen en la analítica trascendental de la *Crítica* y especialmente en los *Prolegómenos*.

El camino hacia una ciencia de la naturaleza

Reiteramos la afirmación que citáramos arriba: “solo se puede llamar ciencia a aquella cuya certeza es apodíctica; un conocimiento que solo ofrece una certeza empírica es denominado saber solo impropriamente”. Kant presenta a la química de su tiempo como una disciplina cuyos principios son simplemente empíricos, y sus leyes, simplemente las leyes de la experiencia. La química no representaba para Kant un ejemplo de ciencia propiamente dicha. Recordemos que Kant afirma que “[u]na teoría racional de la naturaleza solo merece, pues, el nombre de ciencia de la naturaleza si las leyes naturales sobre las que se funda son conocidas *a priori* y no son simples leyes de la experiencia” (p. 5). Luego, “toda teoría de la naturaleza debe, según las exigencias de la razón, conducir a la ciencia de la naturaleza y concluir ahí”.

Esto nos lleva nuevamente a lo que discutimos en una de las secciones precedentes, cuando analizábamos los incisos §36 y §38 de los *Prolegómenos*. Reaparece aquí la pregunta de cuán amplio era el conjunto de leyes de la naturaleza a las que se refería Kant cuando afirmaba que debían ser cognoscibles *a priori* para que la disciplina racional que se basa en ellas sea considerada una ciencia de la naturaleza. ¿Acaso se refiere Kant solo a las categorías del entendimiento, que son condiciones de posibilidad para una ciencia, o incluye también allí, por ejemplo, las leyes fundamentales que describen la forma funcional de las fuerzas de la naturaleza?¹⁸⁷ La inclusión de estas últimas, además de las categorías, es necesario si lo que se

¹⁸⁷ Se podría decir que las leyes fundamentales (formales) de la naturaleza están en la *Analítica de los principios* (axiomas de la intuición, anticipaciones de la percepción, analogías de la experiencia y postulados del pensamiento empírico general). Pero es evidente que Kant quiere algo más: que las leyes “específicas” y materiales de la

pretende es que el conjunto de leyes *a priori* permita en alguna medida la reunión de un conjunto mínimo de axiomas del cual derivar los teoremas de la ciencia supuesta. De lo contrario, se estaría ante una ciencia cuyas bases tienen una naturaleza mixta, como sugería la interpretación de Friedman del contenido del párrafo §38 de los *Prolegómenos*, según la cual las leyes devendrían en parte de conocimientos *a priori* y en parte de la experiencia. Kant expresa esto claramente en *Principios metafísicos*. En el caso de las leyes que describen las formas funcionales de la fuerza, que no están comprendidas enteramente en las categorías y que, por lo tanto, demandarían la asistencia de algo más, es posible pensar que ese “algo más” no sea solo la experiencia sino también la combinación con otra información *a priori*; esto es, las formas de la sensibilidad: si el espacio tridimensional y euclidiano, cuyas leyes geométricas nos son dadas *a priori*, de alguna medida implican la forma de las leyes – recordemos que esa es la idea kantiana expuesta en los *Prolegómenos*, donde asocia la ley de la inversa de cuadrado a las fórmulas de la superficie de las esferas–, entonces de cierta manera algunos aspectos de las leyes de fuerza estarían codificadas en la *Estética trascendental*. Vemos aquí como el contenido de los *Prolegómenos* (1783) articula perfectamente con el de *Principios metafísicos* (1786). De todas formas, afirmará Kant en este último libro que la razón alcanza su límite al pretender ir más allá de las leyes de las fuerzas primordiales.

Volviendo a la definición kantiana de naturaleza, ahora discutida en relación con las leyes, digamos que Kant consideraba que “la palabra naturaleza comporta ya el concepto de leyes y estas, por su parte, [comportan] el concepto de necesidad de todas las determinaciones de una cosa que implica la existencia de esa cosa” (*MAN*, Kant, 1991 [1786], p. 5). Diría luego que esa “necesidad de las leyes es, en efecto, inseparable del concepto de naturaleza y quiere, por esta razón, ser reconocida absolutamente” (p. 5). Según Kant, toda ciencia de la naturaleza debe tener una parte pura sobre la cual se debe fundar la certeza apodíctica que la razón busca en ella (*cf.* p. 5). Ahora bien, esa “parte pura” de la ciencia de la naturaleza debe verse asistida por la experiencia. En esta asistencia, que se debe a cuestiones de método, se lee una subordinación. En efecto, la jerarquía entre razón y empiria se ve más claramente en *Principios metafísicos*. También entre las edificaciones de la razón discierne Kant. Sostiene que “el puro conocimiento racional por simples conceptos” es denominado filosofía pura o metafísica, mientras que el conocimiento que solo funda sobre la construcción de conceptos, presentando el objeto de una intuición *a priori*, se denomina conocimiento matemático (*cf.* p. 6). Esta

naturaleza (algunas, al menos) estén justificadas *a priori*. Le agradezco a Oscar Esquisabel una observación acerca de este punto.

distinción entre conocimiento filosófico y conocimiento matemático será importante más adelante, cuando Kant intente resolver el problema de la divisibilidad infinita del espacio y de la materia. En la disputa por resolución de ese problema, la voz del filósofo se levantará frente a la del geómetra y la discusión desembocará en la idea de la materia como fenómeno¹⁸⁸.

La necesidad de una metafísica

Toda ciencia de la naturaleza, dice Kant, presupone una metafísica:

Una ciencia de la naturaleza, que propiamente hablando se denomine así, presupone una metafísica de la naturaleza¹⁸⁹, ya que las leyes, es decir, los principios de la necesidad de aquello que pertenece a la existencia de una cosa, se relacionan con un concepto que no se puede construir, porque la existencia no se puede representar en ninguna intuición *a priori*. Por tal razón, la ciencia de la naturaleza propiamente dicha presupone la metafísica de la naturaleza (p. 6).

¹⁸⁸ Una disputa similar había aparecido en *Monadología física* (1756).

¹⁸⁹ Esta afirmación de Kant acerca de la relación entre la ciencia de la naturaleza y una metafísica de la naturaleza invita a una comparación la reflexión sobre cómo se relaciona con digresiones que muchos autores del siglo XX han dedicado a esa relación. Una reflexión tal se extendería enormemente, tanto como se multiplican los nombres de filósofos que han tratado el tema. Probablemente uno de los filósofos que con mayor claridad han expuesto este problema y, en particular, lo han relacionado, aunque no necesariamente de manera justa, con la filosofía de Kant fue Alfred North Whitehead. En *The function of reason*, aquella célebre conferencia que ofreció en la Universidad de Princeton, Whitehead escribe que “[e]l antagonismo entre la ciencia y la metafísica ha sido desastroso, como todos los pleitos familiares” (Whitehead, 1985 [1966], p. 83). Afirma Whitehead que la separación entre filosofía y ciencia natural es debida al predominio del materialismo newtoniano (p. 85), y así acusa a Newton como responsable de ese cisma pernicioso: “Se ha desvanecido toda la concepción de la Razón especulativa, a la que nada es ajeno. El propio Newton fue uno de los primeros científicos que con más énfasis repudió la intrusión de la metafísica en la ciencia” (p. 86). Agrega: “El justo castigo de la física newtoniana fue [la] barrera de materialismo que bloqueó cualquier nuevo avance del racionalismo” (p. 86). Según Whitehead, “si la doctrina de la ciencia como búsqueda de la simplicidad de descripción se construye en el sentido de que libere a la ciencia de la metafísica, en ese sentido la ciencia pierde su importancia” (p. 91). Es en torno a este punto donde Whitehead refiere a la filosofía de Kant; dice, de hecho, que el efecto más importante sobre las relaciones entre filosofía y ciencia natural lo encontramos en Kant. Denuncia que “[e]l efecto de su *Crítica de la razón pura* fue reducir el sistema de la naturaleza a mera apariencia, [a fenómenos]” (p. 96). Y aunque suaviza su aserción diciendo que es cierto que el propio Kant no entendió la naturaleza como “simple apariencia derivada” ya que “[l]os cielos le interesaron: un triunfo de lo obvio sobre la filosofía” (cf. p. 96), su juicio es claro: “Kant rompió el vínculo entre la ciencia y la Razón especulativa. Este resultado kantiano no tuvo su desarrollo adecuado hasta el siglo XIX. El propio Kant y sus seguidores inmediatos se interesaron vivamente por la ciencia natural. Pero los neokantianos y neohegelianos ingleses de mediados del siglo XIX se alejaron de ella”. El antagonismo entre filosofía y ciencia natural, dice Whitehead, “ha producido funestas limitaciones de pensamiento en ambas partes. La filosofía ha dejado de reivindicar su debida generalidad y la ciencia natural se ha contentado con el reducido ámbito de sus métodos” (p. 96). Es claro que Whitehead tiene un programa y que esta crítica no es ajena a este, y es desde esa perspectiva que debemos tomar sus afirmaciones sobre la influencia de la filosofía kantiana en el cisma entre ciencia natural y metafísica. Su crítica a la rigidez del método científico de los físicos, reluctante a la idea de causa final en la descripción de la naturaleza, es el blanco de su ataque.

Agrega que la metafísica de la naturaleza siempre contiene, por definición, principios que no son empíricos, y advierte que esa metafísica también puede no tener ninguna relación con un objeto de la experiencia determinado, sin preocuparse de forma determinada de la naturaleza de las cosas del mundo sensible, ocupándose de las leyes en general que hacen posible el concepto de una naturaleza. Esta es la parte importante para la filosofía trascendental de la metafísica de la naturaleza (*cf.* p. 6).

Por otro lado, Kant sostiene que “en toda teoría particular de la naturaleza solo hay ciencia propiamente dicha en tanto que se encuentren en ella matemáticas” (p. 7). La necesidad del carácter apodíctico de la construcción teórica es inalienable para que una ciencia sea. Hay aquí una necesidad de la necesidad, en cuanto el rigor de las deducciones teorema a partir de los axiomas que definen la disciplina posibilita que una conclusión devenga necesidad, y este tipo de construcción en la ciencia es, a su vez, necesario. No obstante, en una ciencia de la naturaleza hay más, y esto es la empiria: “una ciencia propiamente dicha de la naturaleza en concreto, exige una parte pura sobre la que se funda la parte empírica y que descansa sobre el conocimiento *a priori* de las cosas de la naturaleza” (p. 7). Conocer una cosa *a priori* significa para Kant conocerla según su simple posibilidad, y afirma él que “conocer la posibilidad de cosas naturales determinadas, y, por lo tanto, *a priori*, exige además que la intuición correspondiente al concepto sea dada *a priori*, es decir, que el concepto sea construido”.

Las digresiones sobre la construcción de conceptos llevan a Kant a precisar más su definición dada arriba, afirmando que “una pura teoría de la naturaleza en general (...) es posible, en rigor, sin la matemática”. Esto podría a simple vista parecer contradictorio con lo afirmado arriba, pero cabe atender a que Kant está refiriendo ahora a una “teoría pura de la naturaleza en general”, mientras que antes había concluido lo contrario para una “teoría particular de la naturaleza”, entendiendo por esto la física o la psicología – la ciencia de los cuerpos y la ciencia del alma–. En contraste, una teoría pura de la naturaleza “en general” es aquella que solo considera lo que constituye el concepto de una naturaleza de una manera “general”, *i.e.* no de una manera particular. Así, mientras una ciencia particular de la naturaleza exige que se encuentren en ella matemáticas, una teoría de la naturaleza en general es, en principio, posible sin la matemática. Lo reafirma así: “una pura teoría de la naturaleza acerca de las cosas determinadas en la naturaleza (teoría de los cuerpos o teoría del alma) únicamente [sería] posible por medio de la matemática” (p. 7).

La necesidad de la matemática responde a que, para Kant, en toda teoría de la naturaleza solo se encuentra ciencia propiamente dicha en tanto que contenga conocimiento *a priori* (p. 7). Debido a esto, concluye Kant, que la teoría de la naturaleza solo contiene verdadera ciencia en

la medida en que la matemática, la geometría y la aritmética, pueda aplicarse a ella (p. 7). Así, para Kant el paradigma de ciencia propiamente dicha será la ciencia de los cuerpos, la mecánica, la ciencia física.

La discusión preliminar de estos aspectos epistemológicos prepara el terreno para abordar la cuestión central de su libro *Principios metafísicos*, que, como adelantamos, es la materia. Es necesario para Kant posibilitar la aplicación de las matemáticas a la teoría de los cuerpos, ya que solo así podría obtenerse una teoría de la naturaleza. Para lograrlo, Kant reconoce que es menester presentar los principios de “la construcción de conceptos que se relacionen, de manera general, con la posibilidad de la materia” (p. 9). Esta, nos dice Kant, es una “tarea de la filosofía pura que no utiliza para este fin ninguna experiencia particular, sino únicamente lo que se encuentra en el concepto tomado aisladamente (...) con relación con las intuiciones puras en el tiempo y en el espacio”. Esto es así aun cuando tenga el concepto de materia un origen empírico.¹⁹⁰

El movimiento de la materia

En la cinemática solo se consideran las cuestiones relativas al movimiento. El sujeto del movimiento es la materia. Esto está en las bases de la definición kantiana: “La materia es aquello que es móvil en el espacio” (*Ak.*, IV, 480, 5 ss.; cf. *MAN*, Kant, 1991 [1786], p. 19). No obstante, en tanto uno se limite estrictamente al estudio de la cinemática, *i.e.* la foronomía, no se le atribuye a la materia ninguna otra cualidad además de su movilidad. La cinemática restringe su objeto de estudio al movimiento, sin indagar sobre las causas de este; discute sobre la naturaleza del movimiento *per se*, *e.g.* su carácter relativo, y sobre las cualidades del espacio y el tiempo en relación con el movimiento.

Sobre el espacio en el que la materia es lo móvil, dice Kant que “el espacio que por sí mismo es móvil se llama espacio material o también espacio relativo”. El rótulo de “material” debe entenderse porque el espacio en el que la materia se mueve es a menudo pensado como un medio, como un substrato en el que la materia se desplaza. Ese movimiento es “relativo” al espacio pensado como medio, por lo que es posible pensar que es el espacio mismo el que se

¹⁹⁰ Afirma Kant que todos los filósofos de la naturaleza han querido proceder matemáticamente, y siempre se han servido de principios metafísicos, “aunque advirtiendo solemnemente contra toda pretensión de la metafísica sobre su ciencia” (p. 9). Toda verdadera metafísica, nos dice, “es extraída de la esencia misma de la facultad de pensar y no es, en absoluto, inventada en todas sus partes bajo el pretexto de no recibir nada de la experiencia, sino que contiene las puras acciones del pensamiento, por tanto, los conceptos y principios *a priori* que unifican legítimamente la diversidad de representaciones empíricas, y, de esta forma, la diversidad puede devenir conocimiento empírico, en otras palabras, experiencia” (pp. 9-10).

mueve. Alcanza con pensar en un barco que se mueve en el mar; el mar sería ese espacio material e inmenso que, desde la perspectiva del barco¹⁹¹, puede pensarse móvil. Esa materialidad del espacio – meramente nominal, por cierto– es posible de ser pensada precisamente porque el movimiento es relativo y puede pensarse relativo a ese espacio pensado.

Además del espacio material, Kant piensa en el espacio puro o absoluto, que es “aquel espacio en el cual debe pensarse todo movimiento” (p. 19). Ese espacio en el que todo movimiento puede ser pensado, ese mar quieto en el que todos los bajeles navegan, es el espacio absolutamente inmóvil.

Vemos aquí a Kant describiendo un espacio distinto al de la *Crítica de la razón pura*, aunque no incompatible con aquél. De hecho, ya mencionamos que se ha observado, creemos que con acierto, que las nociones trascendentales de espacios presentadas por Kant en los *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* están bastante cerca del concepto de espacio absoluto tratado en el trabajo en el texto precrítico sobre *La razón primera razón de la diferencia entre direcciones en el espacio*, de 1768 (cf. Kauark-Leite, 2017, p. 175).

Es el abordaje del problema de la movilidad de la materia lo que le exige a Kant más estructura y precisión en la definición del espacio, concepto que aparece en *Principios metafísicos* desagregado en más de una de sus formas. Estas definiciones acerca del espacio son inescindibles de la cuestión de la relatividad del movimiento, tema que Kant trata en varias partes y en detalle. Dice sobre esto, en particular, que

todo movimiento objeto de la experiencia es puramente relativo; el espacio donde es percibido es también un espacio relativo que, al mismo tiempo, se mueve en un espacio mayor e incluso, posiblemente, en dirección opuesta. En consecuencia, la materia, que es móvil, en el primer espacio puede estar en reposo con respecto al segundo (p. 21).

La misma definición que Kant da del movimiento lleva la noción de relatividad: “El movimiento de un objeto es la modificación de sus relaciones exteriores con referencia a un espacio dado” (cf. *Ak.*, IV, 482, 11 ss.). Le sigue a esta definición una serie de discusiones que Kant hace en su libro acerca de diferentes casos de movimientos relativos. No son pocas las confusiones acerca de los sistemas inerciales que esas discusiones dejan ver. Eso no se debe a

¹⁹¹ Acaso la primera referencia a la analogía del barco para describir el carácter relativo del movimiento se la debemos a Nicolás de Cusa, quien en *De docta ignorantia* (1440) escribe: “Es evidente, pues, para nosotros, que la Tierra verdaderamente se mueve, aunque nosotros no lo advirtamos, porque no percibimos el movimiento sino por medio de la comparación con algo fijo. Pues si alguno ignorara que el agua fluye y no viera las orillas estando en un navío en medio del agua, ¿cómo se daría cuenta de que la nave estaba en movimiento?”.

que las conclusiones de Kant sobre el movimiento resulten erróneas, sino más bien a lo trabajosas que resultan sus argumentaciones sobre cuestiones cinemáticas simples: el movimiento de la Tierra sobre su eje, las fases de la Tierra vistas desde la Luna, las órbitas de los planetas se mezclan con ejemplos de tinte newtoniano-machiano de toneles de cerveza cuyo contenido rota (cf. *MAN*, Kant, 1991 [1786], pp. 22-23); luego, Kant discute sobre el movimiento rectilíneo uniforme (cf. p. 28) y el movimiento compuesto (p. 29; cf. p. 32). Sin llegar a ser rapsódica, e incluso sin ser incorrecta, la discusión de Kant sobre la cinemática resulta confusa.

Continuando con la relatividad del movimiento, Kant escribe que “[t]odo movimiento, objeto [*Gegenstand*] de una experiencia posible, puede ser considerado a voluntad como movimiento de un cuerpo en un espacio en reposo, o bien el cuerpo estando en reposo y el espacio en movimiento en sentido opuesto y con la misma velocidad” (*Ak.*, IV, 487, 15 ss.; *MAN*, Kant, 1991 [1786], p. 30). Para esto, había ya definido el “reposo” como la presencia permanente en un mismo lugar, siendo lo permanente aquello que dura un cierto tiempo. Uno advierte que aquí se habla de un movimiento relativo como objeto de una experiencia posible, y entonces se impone la pregunta de si la idea de movimiento absoluto puede también entrar en este esquema. Kant lo deja en claro afirmando que “un movimiento absoluto, es decir, en referencia a un espacio no material, no puede ser objeto de experiencia y es, para nosotros, inexistente” (p. 30). Agrega: “en todo movimiento relativo, el espacio mismo, considerado como material, puede ser representado en reposo o bien en movimiento”.

La discusión que Kant propone en los *Principios metafísicos de la foronomía* acerca de la relatividad del movimiento, *i.e.* acerca de la posibilidad inajenable de pensar de manera equivalente el movimiento desde uno u otro sistema, se relaciona con la cuestión del espacio absoluto. Un ejemplo de ello es la discusión que Kant hace de la composición de dos movimientos a partir de un único y mismo punto, que, según nos dice, “no puede concebirse más que si uno de los dos es representado en el espacio absoluto (...)” (cf. p. 30). Esto reconduce nuestra mirada hacia el espacio absoluto. Dijimos ya que Kant dedicaba en *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* una serie de comentarios concretos al espacio absoluto, e incluso citamos algunos fragmentos cuando discutimos el problema de las contrapartes incongruentes en la Segunda Parte de esta tesis. Retomemos esa discusión aquí recordando algunas aserciones que dejan en claro la concepción del espacio absoluto que Kant tenía durante el período crítico, en el marco de su filosofía trascendental: afirmaba Kant que un espacio absoluto no es material y no puede ser objeto de experiencia (p. 21). Había afirmado ya que “el espacio no sería más que la forma de toda intuición sensible externa” (p. 20). Así,

el espacio absoluto no es nada en sí¹⁹², no es un objeto [*Objekt*]. El espacio absoluto, según Kant, sería solo aquello que “es presupuesto por cualquier otro espacio relativo que yo puedo pensar como exterior al [espacio] que me es dado y que retrotraigo indefinidamente más allá de todo espacio que nos sea dado y al que comprende” (p. 20).

La palabra “retrotraer” refiere aquí a la operación de extrapolación¹⁹³, *i.e.* refiere al *regressus* del que Kant ya hablaba al discutir el espacio en la *Dialéctica trascendental*: “en el *regressus* empírico no se puede encontrar ninguna experiencia de un límite absoluto, y, por tanto, de ninguna condición que, como tal, sea absolutamente incondicionada empíricamente” (A517/B545; *cf.* Kant, 2014, p. 581). Vemos entrar aquí el método trascendental en relación con el problema del espacio. Luego aplicará el mismo método al problema de la materia.

Una definición trascendental de la materia

Sobre la materia, Kant afirma que

si no debo definir el concepto de materia en función de un predicado que se refiera a ella como objeto [*Objekt*], sino que solo puedo [definirla] por su referencia a la facultad de conocer, en la cual la representación pueda previamente serme dada *a priori*, entonces la materia es una cierta cosa [*Gegenstand*] de los sentidos externos y tal será la pura definición metafísica (*MAN*, Kant, 1991 [1786], p. 20).

La materia no puede sernos dada enteramente *a priori*, afirma Kant, y propone para ella la siguiente definición: “La materia es el móvil en tanto que llena un espacio” (*cf.* *Ak.*, IV, 496, 11 ss.; *MAN*, Kant, 1991, p. 43). Nos adentramos así en el reino de la dinámica, habiendo dejado atrás el estudio de la materia limitado a su movimiento. Al referir aquí a “llenar un espacio” Kant habla de las fuerzas de los cuerpos o, más precisamente, de la resistencia del cuerpo que llena un espacio frente a todo otro cuerpo que, debido a su movimiento, se esfuerce por penetrar en tal espacio. Esa definición de espacio lleno habilita la del espacio vacío como su complemento: “[u]n espacio que no está lleno es un espacio vacío”.

¹⁹² Sobre este rechazo del espacio absoluto, Friedman escribe: “[En] el análisis penetrante de Kant, desarrollado en los *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza*, de la ley de gravitación universal de Newton [donde] Kant parte de un rechazo del espacio absoluto newtoniano, pero aún intenta, no obstante, hacer justicia a la distinción central de Newton entre movimiento ‘verdadero’ y ‘aparente’” (1992, p. xiv).

¹⁹³ Es imposible que, al leer esto, no resuene en nuestra mente aquellas apreciaciones de Aristóteles, en su Libro XI de la *Metafísica*, acerca de la existencia de ese infinito que es “imposible de recorrer”.

Esta definición de la materia¹⁹⁴ es una definición dinámica y presupone la definición de materia dada en la foronomía, añadiéndole a esa la “propiedad que la relaciona como causa de un efecto, a saber, el poder de resistir a un movimiento en el interior de un determinado espacio” (p. 43). La materia aparece, así, como un fenómeno; es el fenómeno asociado a la impenetrabilidad.

Kant arriba al siguiente teorema: “La materia ocupa [llena] un espacio, no por su sola existencia, sino en virtud de una fuerza motriz particular” (cf. *Ak.*, IV, 497, 14 ss.; *MAN*, Kant, 1991 [1786], p. 44). Vemos aquí nuevamente la idea de “fuerza motriz”, uno de los elementos principales en la discusión que originaba las *Ideas sobre la verdadera valoración de las fuerzas vivas*. Fuerza motriz significa aquí fuerza que puede generar movimiento, por lo que no debe entenderse en el sentido wolffiano del término. Kant nunca dejó de reconocer que la fuerza fuera causa de movimiento, aunque haya criticado la identidad entre fuerza y movimiento. Es debido a esto que el término “fuerza motriz” aparecerá en diferentes discusiones de los *Principios metafísicos de la dinámica* refiriendo a fuerzas que son causa de un movimiento. Escribe Kant:

La penetración en un espacio (al instante en que comienza se denomina tendencia a penetrar) es un movimiento. La resistencia a un movimiento es la causa de su disminución al igual que de su transformación en reposo. Ahora bien, uno no puede unir a un movimiento cualquier cosa que lo disminuya o lo suprima, si no es otro movimiento de algún móvil en una dirección contraria (...). Así la resistencia que una materia, en el espacio que ella ocupa, opone a la invasión de otras materias es una causa del movimiento de estas últimas en una dirección opuesta. Ahora bien, la causa de un movimiento se denomina fuerza motriz. Así, la materia ocupa su espacio en virtud de una fuerza motriz, y no por su simple existencia” (*MAN*, Kant, 1991 [1786], pp. 44-45).

Kant comienza a construir aquí su teoría constitutiva de la materia, una teoría que ya había bosquejado en su *Monadología física*, de 1756, y que consiste en la asistencia de dos fuerzas¹⁹⁵

¹⁹⁴ La teoría de la materia desarrollada en *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* ha sido discutida *in extenso* por muchos estudiosos. Cabe referir aquí al artículo: Tuschling Burkhard (1973), *Kants 'Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft' und das Opus postumum*, in G. Prauss, ed. *Kant: Zur Deutung seiner Theorie von Erkennen und Handeln*, Köln. Villacañas, por ejemplo, interpreta que en *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* “Kant demostró que la flexibilidad era el rasgo básico de la propia constitución de la materia [y que la] rigidez de la vieja teoría corpuscular de descartes no funcionaba en realidad” (2010, p. XLV).

¹⁹⁵ En (Rivera de Rosales, 2019) se resume este contenido de *Principios metafísicos* de la siguiente manera: “Kant defiende en sus *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* una concepción dinámica de la materia en línea con la tradición leibniziana [leibniziana, quizás, mas no de Leibniz, quien no reconocía en la materia fuerzas

fundamentales que compiten otorgándole a la materia su impenetrabilidad y su extensión. Estas dos fuerzas son una fuerza de expansión y una de atracción. “La fuerza de atracción es la fuerza motriz por la cual una materia puede ser causa de que otras se aproximen a ella” y también causa de agregación de la materia misma (cf. *Ak.*, IV, 498, 16 ss.; *MAN*, Kant, 1991 [1786], p. 47). Esto es, la fuerza de atracción en aquella mediante la cual la materia se opone a que otras materias se le alejen. Por otro lado, “[l]a fuerza de repulsión es aquella por la cual una materia puede provocar el alejamiento [*i.e.* la repulsión] de otras [materias]”. Dicho de otra manera, la fuerza de expansión es aquella mediante la que la materia se resiste a la aproximación de otras. Indistintamente, Kant se refiere a esta segunda fuerza como fuerza de propulsión, repulsión o expansión, mientras que a la primera le reserva el nombre de fuerza de atracción (cf. p. 47).

Aunque no siempre lo expresara de forma concreta, cuando Kant pensaba en la fuerza de atracción tenía en mente la fuerza gravitatoria, regida esta por la ley de Newton¹⁹⁶ de la inversa del cuadrado de la distancia. Se confundía él al identificar esa fuerza de cohesión de la materia con la fuerza gravitatoria. Esa cohesión gravitatoria que reúne la materia sí es la explicación adecuada en el caso de las estrellas, dada la considerable (cuando no enorme) masa que esas tienen; pero no es la fuerza newtoniana la que sostiene a los cuerpos en general. Sin una teoría molecular de la materia ni acceso a las fuerzas íntimas de las sustancias, Kant solo contaba con la fuerza newtoniana como modelo de fuerza atractiva. Si bien la constitución de la materia, al menos a la escala de la química, de la cristalografía, e incluso a la escala atómico-molecular es predominantemente de origen eléctrico, Kant no podía intuirlo. También la fuerza que dota a la materia de su impenetrabilidad es de origen eléctrico, y aunque la fuerza eléctrica coulombiana, que también satisface la ley de la inversa del cuadrado, era ya conocida, es claro que Kant no estaba al tanto de los detalles de ello. La ley de Coulomb para la fuerza eléctrica fue publicada en 1785, tan solo un año antes de la publicación de *Principios metafísicos de la*

originarias que actúan a distancia], pues, según él, la materia está constituida por dos fuerzas motrices originarias, no deducibles de otras ni, claro está, creadas por el sujeto, y gracias a esas fuerzas la materia llena un espacio. Una es la fuerza expansiva o repulsiva, que se denomina también elasticidad, y la segunda es la fuerza de atracción, que limita la fuerza expansiva y mantiene el cuerpo en límites espaciales. Estas fuerzas físicas y su ocupación del espacio y del tiempo confieren el momento de realismo empírico a la unidad de la síntesis imaginativa con la que interpretamos un objeto y su unidad. ‘Conocemos a la substancia en el espacio solamente por fuerzas que actúan en él, ya para arrastrar a otras hacia allí (atracción), ya para impedir la penetración en él (repulsión e impenetrabilidad)’” (cf. *KrV*, A265/B321).

¹⁹⁶ Que la física kantiana es uno de los elementos que organiza la metafísica kantiana desde comienzos del período precrítico es algo que debería quedar claro a esta altura de la discusión. Tanto es así que, según Friedman, “es indispensable investigar los fundamentos de la ciencia newtoniana para entender acabadamente la metafísica kantiana” (1992, p. 137). En particular, refiriendo a *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza*, Friedman afirma que, sin lugar a dudas, los *Principia* de Newton resultaron paradigmáticos para Kant (cf. p. 136).

ciencia de la naturaleza. Dijimos ya que es posible especular con que Kant habría acaso incorporado la fuerza coulombiana en su teoría de la materia de haber estado al tanto de su formulación matemática.

Sobre las fuerzas fundamentales de repulsión y atracción que dotan a la materia de su extensión, Kant escribió:

No se pueden concebir más que estas dos fuerzas motrices de la materia [*i.e.* la de propulsión y la de atracción]; pues todo movimiento que una materia imprima a otra (...) debe ser siempre pensado como transmitido, siguiendo la línea recta entre dos puntos. Ahora bien, esta recta no permite más que dos especies en movimiento; por el principio, estos puntos se alejan uno del otro; por el segundo, se aproximan (p. 46).

Dice también: “La materia llena el espacio mediante una fuerza motriz, esto es, una fuerza que se opone a la invasión de otras materias o, lo que es lo mismo, a su aproximación; es, por tanto, una fuerza repulsiva” (p. 47). Vemos aquí que la referencia a que las materias “se aproximan” sugiere que la repulsión podría actuar a distancia, aunque sea esta muy pequeña. Más tarde ahondará sobre esto, aunque las distancias infinitesimales a las que las fuerzas repulsivas actuarían hacen caer a Kant en argumentos confusos.

Kant considera que la fuerza actúa en una dada medida, y es eso lo que dota a las materias de distintas extensiones y propiedades: “[L]a fuerza de expansión, que permite a toda materia llenar su espacio, posee su grado propio, que nunca es el mayor ni el menor, sino que se pueden encontrar infinitos superiores e inferiores” (p. 48). Kant intenta explicar así el abigarrado conjunto de propiedades diversas que las distintas sustancias exhiben. En relación con esto, enuncia su teorema sobre la compresibilidad: “La materia puede ser comprimida hasta el infinito, pero nunca puede ser penetrada por otra materia, cualquiera que sea la fuerza de compresión de esta última” (p. 49). Esto es algo que estaba ya en su *Monadología física* (1756), donde afirmaba algo parecido. Vemos aquí que su teoría de las fuerzas de la materia del período precrítico parece encontrarse intacta. Sigue Kant sosteniendo que “ninguna materia es susceptible de compresión, a menos que contenga espacios vacíos [en el interior de un volumen que define un cuerpo]” (p. 51) y que, “[e]n consecuencia, la materia, en tanto que materia, resistirá a toda penetración con una necesidad absoluta”.

“La impenetrabilidad absoluta¹⁹⁷ no es, ni más ni menos, que una cualidad oculta”, nos dice Kant, y denuncia un vicio de circularidad en las teorías sobre la composición de la materia: “al

¹⁹⁷ En el marco de la aplicación del método trascendental, en *Principios metafísicos* Kant aboga por la idea de una “impenetrabilidad relativa”.

pedirse la razón por la cual las materias, en su movimiento, no pueden ser penetradas unas por otras, se ofrece esta respuesta: porque son impenetrables” (p. 51). Para Kant, la posibilidad de esta fuerza expansiva no puede explicarse y debe ser considerada como una fuerza fundamental de la naturaleza (cf. p. 51). La imposibilidad de un “porqué” se debe al carácter “fundamental” de una ley. Esto es muy interesante si lo pensamos desde una perspectiva contemporánea. Kant manejaba hacia 1786 una concepción de fuerza fundamental que se asemeja en gran medida a aquella de la física teórica de hoy. El contenido epistemológico de la idea de ley fundamental de la naturaleza como irreducible e inexplicable, la idea de jerarquía entre distintas descripciones de los fenómenos naturales, e incluso la idea de unificación de las leyes admiten una lectura actual.

La materia como fenómeno

Entendida la materia como fenómeno, Kant se sentirá armado para atacar problemas que comportaban notable dificultad a la hora de entender la constitución de las sustancias. En particular, Kant aborda desde un punto de vista trascendental el problema de la divisibilidad de la materia, problema que, si bien había ya tratado en el período precrítico, parece adquirir en el período crítico un peso mayor. Comienza Kant la discusión de este asunto enunciando en otro teorema que “[l]a materia es divisible *in infinitum* en partes que, a su vez, cada una es materia” (MAN, Ak., IV, 503, 20 ss.; cf. Kant, 1991 [1786], p. 52). Más precisamente:

Die Materie ist ins Unendliche teilbar, und zwar in Teile, deren jeder weiderum Materie ist.

Die Materie ist undurchdringlich, un zwar durch ihre ursprüngliche Ausdehnungskraft, diese aber ist nur die Folge der repulsiven Kräfte eines jeden Punkts in einem von Materie erfüllten Raum. (cf. Kant, 1968 [1786], p. 56).

Esto es,

La materia es infinitamente divisible en partes, cada una de las cuales es materia a su vez.

La materia es impenetrable por su poder original de expansión, pero esto es solo el resultado de las fuerzas repulsivas de cualquier punto del espacio lleno de materia.

Es interesante comparar esta teoría de la materia que Kant expone en *Principios metafísicos* (1786) con aquella bosquejada en *Monadología física* (1756). La cuestión de la divisibilidad infinita de la materia es la diferencia principal entre sus teorías de la materia de 1756 y de 1786: en 1786, Kant sigue manteniendo que la divisibilidad del espacio no implica la divisibilidad de la materia; es decir, que la divisibilidad de la materia, sea cierta o no, no deriva de la

divisibilidad del espacio. Escribe: “La demostración de la divisibilidad infinita del espacio está lejos de probar la de la materia” (p. 53). Para probarlo, sostiene Kant, es menester probar primero que “la substancia se da en cada una de las partes del espacio, es decir, que hay partes móviles de por sí, que son susceptibles de ser encontradas”. Esta no-implicancia entre la divisibilidad infinita del espacio *per se* y la divisibilidad de la materia es uno de los rasgos que Kant mantiene en su teoría de la materia desde el período precrítico hasta el crítico. Ahora bien, hacia el período crítico Kant cambiaría su opinión acerca del hecho de que la materia, en cuanto fenómeno, no es divisible *ad infinitum*.

Kant toma distancia de la teoría de las mónadas¹⁹⁸ o, al menos, de cierta interpretación de ella. Escribe:

[S]i un monadista quisiera admitir que la materia se compone de puntos físicos de los cuales cada uno carece de partes móviles, aun cuando por causa de la sola fuerza expansiva llenasen un espacio, él podría mantener, a partir del hecho de la división del espacio, que este es divisible, pero no por ello que lo sea la substancia que en él actúa (p. 53).

Este argumento del “monadista” es, *mutatis mutandis*, aquel que él mismo esgrime en su trabajo de 1756. Luego, propone una demostración de que en un espacio lleno no puede haber un punto que no sea móvil por sí mismo. Esto, nos dice Kant, “cierra la puerta al monadista”. En esa demostración Kant considera el rango de acción [esfera de fuerza expansiva] en torno al punto en el que se ubicaría una mónada, luego considera un punto dentro de esa esfera de acción, y concluye que ese punto no puede no ser móvil debido a la reacción que ejerce sobre él. Termina por refutar su propia teoría monadológica de treinta años antes. Pasa entonces a abordar el problema de la divisibilidad de la materia desde el punto de vista trascendental. Preparando el territorio, primero habla de la matemática. Esto se debe a que, como ya adelantamos, en la resolución de la disputa por la divisibilidad de la materia la voz del filósofo se alzaría frente a la del geómetra. Sobre la matemática, dice:

La matemática en su uso interno, puede permanecer completamente indiferente a las disputas causadas por una metafísica errónea y mantenerse en la segura posesión de sus evidentes afirmaciones concernientes a la infinita divisibilidad del espacio, sean cuales fueren las objeciones que le opongan en su camino razonamientos sutiles fundados en meros conceptos especulativos. Sin embargo, en relación con la

¹⁹⁸ Ver: Smith Sheldon (2013), *Kant's picture of monads in the Physical Monadology*, Studies in History and Philosophy of Science A44, 1, pp. 102-111.

substancia que lo llena, debe aquella ciencia matemática introducir la prueba en relación con los conceptos puros (de la física), induciendo, con ello, a una metafísica (Ak., IV, 505, 24 ss.; MAN, Kant, 1991 [1786], p. 56).

Habiendo dicho esto, sobre la indivisibilidad se pronuncia así:

Aunque la materia sea, desde el punto de vista matemático, infinitamente divisible, y aunque, a su vez, cada parte del espacio sea, a su vez, un espacio, y por ello comprenda siempre partes exteriores unas a otras; si no se pudiese demostrar que en cualquier parte posible de ese espacio lleno se dan también unas substancias, las cuales, independientemente de las demás, son móviles y existentes de por sí; si ello no fuera así, no habría necesidad alguna de que la materia fuese físicamente divisible hasta el infinito.

Es en este punto donde la filosofía trascendental viene al rescate:

Ahora bien, si la materia es infinitamente divisible (así razona el metafísico dogmático), se compone de una cantidad infinita de partes, porque parece evidente que una totalidad contenga de antemano todas las partes en que debe dividirse. Esta última conclusión, sin duda, es correcta en lo que respecta a toda totalidad en tanto que cosa en sí; sin embargo, como no se puede aceptar que la materia ni tampoco el espacio se compongan de número infinito de partes (ya que es contradictorio concebir enteramente completa una cantidad infinita en la que el concepto mismo implica que nunca podrá ser representada como completa), será preciso concluir, a despecho del geómetra, que el espacio físico no es infinitamente divisible o, a disgusto del metafísico, que el espacio no es la propiedad de una cosa en sí y, consiguientemente, que la materia no es una cosa en sí, sino un simple fenómeno de nuestros sentidos externos, siendo el espacio la forma esencial (p. 57).

La disputa imaginada entre el geómetra y el filósofo estaba ya en su *Monadología física*¹⁹⁹, pero aquí cobra una nueva dimensión. Se suma ahora la figura del “dogmático”.

“Aquí el filósofo se encuentra tironeado entre los extremos de un peligroso dilema”, dice Kant. Por un lado, negar que el espacio sea divisible indefinidamente, nos dice, “resulta tentativa vana”, dado que los razonamientos, por más sutiles que sean, “nada pueden frente a la matemática”. Pero, por otro lado, “considerar la materia como una cosa en sí y,

¹⁹⁹ Quizá quepa aquí recordar el título completo de ese trabajo: *Monadología física o el uso en la filosofía natural de la metafísica y la geometría*.

consiguientemente, el espacio como una propiedad de las cosas en sí y, sin embargo, negar aquella proposición, es una y la misma cosa” (p. 57). Ergo, el filósofo,

se encuentra obligado a renunciar a la segunda proposición (...) bajo la condición de que la materia y el espacio queden constituidos como meros fenómenos (haciendo, por esta causa, del espacio la forma de nuestra intuición externa, y de estas dos cosas, no cosas en sí, sino únicamente modos subjetivos de nuestra representación de objetos [*Gegenstände*] que nosotros desconocemos) librándose así de la dificultad que consiste en (tener que admitir) la infinita divisibilidad de la materia, que no admite estar constituida en un número infinito de partes (pp. 57-58).

Vemos aquí el método trascendental en aplicación directa al problema filosófico de la divisibilidad indefinida de la materia. Kant propone la solución al problema considerando la materia como fenómeno. Para ello, había él ya preparado el terreno al considerar la impenetrabilidad, la reluctancia de la materia al acercamiento de otras materias, como aquello que de la materia nos es dado. La materia es fenómeno. En el capítulo cuarto de su libro, al tratar los *Principios metafísicos de la fenomenología*, Kant escribirá: “La materia es aquello que es móvil en la medida en que, como tal, puede ser objeto de experiencia” (p. 127).

Le es posible a la razón concebir la infinita divisibilidad de la materia; le es posible a ella concebir que la materia está constituida de infinitas partes; pero le es imposible hacer esto “intuible”. Dirá Kant que la idea de la materia como compuesta de infinitas partes solo es real en la medida en que se encuentra dado en la representación, pero “no ofrece cosa alguna que no sea lo que se encuentra en la representación misma; es decir, aquello que se extiende tan lejos como [lo hace] el progreso de las representaciones”. La división indefinida de la materia no se da en una medida que nosotros podamos llevar a cabo. Un fenómeno tal solo existe en nuestro pensamiento, cuando pensamos la división la iteración de ese acto *ad infinitum*, pero no se da a nuestra experiencia: “Es cierto que la división se extiende indefinidamente, pero ella jamás nos es dada como infinita” (p. 58).

Es por esto que afirmábamos antes que, habiendo entendido la materia como fenómeno, Kant se siente armado para abordar problemas tales como el de la divisibilidad indefinida de la misma. El espacio no es divisible al infinito porque no es una cosa en sí. Al ser la materia un fenómeno, no es divisible hasta el infinito, aunque desde el punto de vista matemático lo sea. Este es un típico giro kantiano en el que Kant deja tras él anudados a sus contrincantes, los que, como en la mayoría de los casos, ni siquiera estaban equivocados: a disgusto del metafísico, el

espacio no es la propiedad de una cosa en sí, ni lo es la materia, que es entendida ahora como fenómeno de nuestros sentidos externos cuya forma esencial es el espacio.

Habiendo discutido la materia como fenómeno, sería provechoso finalizar esta subsección retomando la lectura de la *Dialéctica trascendental* de la *Crítica de la razón pura*, a efectos de comparar el tratamiento que Kant hace allí acerca del problema de la divisibilidad de la materia. En la *Dialéctica*, al tratar la *resolución de la idea cosmológica de la totalidad de la división de un todo dado en la intuición*, Kant escribe:

Ciertamente, pareciera que, puesto que un cuerpo debe ser representado en el espacio como substancia, este cuerpo se distinguirá por eso de[l espacio]; pues ciertamente se puede conceder que la descomposición, en el último, nunca podría suprimir toda composición, ya que en ese caso incluso todo espacio, que no tiene nada de subsistente por sí mismo, cesaría de ser (lo que es imposible); en cambio, que no haya de quedar nada si se suprime, en el pensamiento, toda composición de la materia, no parece que se pueda hacer compatible con el concepto de una substancia, que tendría que ser, propiamente, el sujeto de toda composición, y debería subsistir en sus elementos, aunque se hubiera suprimido la conexión de estos en el espacio por la que constituyen un cuerpo. Solo que con lo que en el fenómeno se llama substancia no ocurre lo mismo que uno pensaría de una cosa en sí, mediante un concepto puro del entendimiento. Aquello no es sujeto absoluto, sino imagen permanente de la sensibilidad, y nada más que intuición en la cual no se encuentra nada incondicionado (A525/B553; cf. Kant, 2014, pp. 587-588).

El error en la monadología

Podemos ver en la cuestión de la divisibilidad de la materia el único elemento que rompe la continuidad de la teoría kantiana de la materia a lo largo de su filosofía. A lo largo de los treinta años que separan su *Monadología física* de sus *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza*, las fuerzas que dotan a la materia de su extensión e impenetrabilidad son dos, una repulsiva y otra atractiva, y son las leyes matemáticas que las describen, como veremos, las mismas, ajustándose estas a las fórmulas de la inversa del cubo y la inversa del cuadrado, respectivamente. Son la concurrencia de ambas fuerzas y la competencia entre ellas lo que hacen posibles los volúmenes finitos de los cuerpos y la impenetrabilidad. Todo esto se ha mantenido inalterado, planteando una continuidad notable entre la física precrítica y aquella del período crítico. La diferencia se encuentra, sí, en la cuestión de la divisibilidad indefinida

de la materia, cuestión que, como acabamos de ver, en el período crítico Kant aborda desde un punto de vista trascendental, cambiando su visión acerca de la monadología. Escribe:

El fundamento de este error [*i.e.* el que está en germen en pensar el espacio, y por consiguiente su divisibilidad, como una cualidad de la cosa en sí] se debe a una mala interpretación de la *Monadología*, la cual no se refiere, en modo alguno, a la interpretación de los fenómenos de la naturaleza, sino que ella proporciona un modelo platónico del universo, de por sí coherente, que Leibniz desarrolla tanto que el universo, que no es considerado objeto de los sentidos sino como realidad en sí, constituye un objeto del entendimiento sobre el cual, no obstante, se fundamenta los fenómenos de los sentidos (pp. 59-60).

Aun así, Kant intuía que Leibniz había estado en el sendero correcto. Es por eso que su embate crítico se dirige hacia la interpretación de la monadología y no hacia la monadología *per se*. Así, exhorta a interpretar a Leibniz correctamente: según la opinión de Kant, la monadología de Leibniz “no consistía en explicar el espacio mediante un orden de seres simples yuxtapuestos, sino en colocar al lado del espacio este orden²⁰⁰ como correspondiéndole y surgiendo (...) de un mundo puramente inteligible”. Según Kant,

Leibniz no quería afirmar otra cosa que aquello que hemos puesto de manifiesto; a saber, que tanto el espacio como la materia de la que este es forma, no pertenecen al mundo de las cosas en sí, sino únicamente al de los fenómenos, que son el objeto de la forma de nuestra intuición sensible externa (p. 60).

Kant recupera aquí lo que, según su opinión, es la pretensión original de la monadología leibniziana. Nos ofrece un Leibniz dado al fenómeno, para quien la materia y el espacio, que es forma de esta, no son cosas en sí, sino los objetos de la forma de nuestra intuición sensible. Como fenómeno ha de entenderse la materia si no quiere caerse en interpretaciones erróneas de la monadología.

La fuerza como condición de existencia de la materia

Volviendo sobre la cuestión de las fuerzas y su relación con la materia, Kant afirma que “[l]a posibilidad de la materia exige, como segunda fuerza fundamental esencial, la fuerza de atracción” (*Ak.*, IV, 508, 11 ss.; *MAN*, Kant, 1991 [1786], p. 60). La primera fuerza se trataba

²⁰⁰ Xavier Zubiri (1996, p. 135) refiere a esta consonancia entre Leibniz y Kant acerca de espacio como un orden: “Leibniz, y Kant sobre todo, entendieron el espacio como un orden de colocación de las cosas simultáneas, de las cosas coexistentes”.

de una fuerza de expansión, la que se manifestaba como fenómeno al verse impedidas las otras materias a penetrar el espacio que ocupa (que llena) un dado cuerpo material. Esa fuerza expansiva actúa repeliendo a las materias ajenas que tienden a penetrar toda materia. Lo que Kant agrega aquí, y que no es sino continuación de aquella *Monadología física* suya de 1756, es que, para ser, la materia necesita también la concurrencia de una segunda fuerza fundamental, la fuerza atractiva. Una fuerza motriz esencial de repulsión, nos dice Kant, es la que produce que las diferentes partes de la materia se separen unas de otras, por lo que no puede una fuerza tal ser limitada por ella misma. Sin la acción de una fuerza que la contrarreste, la fuerza repulsiva actuaría de manera continua, ampliando el volumen ocupado por la materia sin detenimiento (*cf.* pp. 60-61). Esto presupone, claro está, que no hay una limitación para la expansión del cuerpo que sea provisto por el mismo espacio; pero Kant rechaza esta posibilidad argumentando así:

[E]l espacio, en sí mismo, no puede fijar un límite de extensión (...) [L]a fuerza expansiva deviene más débil (...) pero como quiera que cualquier fuerza motriz goza de la posibilidad de disminuir hasta lo infinito (...) [E]l espacio jamás incluye la razón por la cual esta fuerza cesaría de actuar en algún lugar (p. 61).

En consecuencia, dice Kant, la materia no podría ser si no contuviera una segunda fuerza motriz que limite la expansión. La expansión se extendería hasta el infinito; es decir, se expandiría hasta el infinito “sin que pudiera pensarse espacio alguno determinable en el que poder encontrar una determinada cantidad de materia” (p. 61). Concluye entonces la necesidad de una fuerza fundamental atractiva. En sus palabras, la materia “exige” una fuerza tal. Afirma: “si no se dieran más que (...) fuerzas expansivas en la materia, todos los espacios serían como vacíos y, consiguientemente, no habría, propiamente hablando, materia alguna”. La fuerza atractiva se convierte, así, y tal como lo hiciera la fuerza expansiva, en condición de la existencia de la materia: “La materia exige como condición de su existencia fuerzas opuestas a sus fuerzas expansivas, a saber, atractivas” (p. 61). Encontramos aquí también continuidades con las consideraciones físicas del período precrítico tan pronto cuando recordamos que ya en su libro sobre las fuerzas vivas Kant afirmaba que no habría extensión si las substancias no tuvieran fuerzas que actúen externamente a ellas (*cf.* Kant, 1749, §9; *cf.* Watkins, 2015, p. 26).

La fuerza atractiva, así como la repulsiva²⁰¹, es esencial para que la materia exista; en palabras de Kant, “la materia en su totalidad se caracteriza por una atracción primordial en cuanto fuerza

²⁰¹ Afirma Kant: “Ninguna materia es posible por solo la fuerza de atracción, sin la fuerza expansiva” (p. 64).

fundamental perteneciente a su esencia” (MAN, Kant, 1991 [1786], p. 62). Dirá también: “[S]e requiere a la fuerza atractiva para hacer posible la materia”. Cassirer dirá que esta se trata de

una definición de materia en la que palpita el espíritu trascendental en cuanto la existencia de la materia no aparece en ella como algo originario, sino como algo derivado, en cuanto que solo se considera como una expresión distinta de la acción y sujeción a leyes de las fuerzas (Cassirer, 2018 [1918], p. 263).

Esta idea de la fuerza atractiva como necesaria para la existencia de la materia sacude nuevamente el estante sobre el que habíamos ordenado aquellas estatuillas de la jerarquía ontológica del período precrítico: la substancia, la fuerza, el espacio. Si nuestra discusión de las secciones §36 y §38 de los *Prolegómenos* nos había llevado a rever el orden que fuerza y espacio ocupaban en la jerarquía ontológica al pasar del período precrítico al crítico, lo recién expuesto acerca de la materia y las fuerzas nos lleva a reconsiderar el orden que estas dos nociones adquieren esa misma jerarquía. La afirmación de que la materia exige las fuerzas indica que la fuerza es antes, en cuanto condición de existencia de la materia. Debemos recordar que Kant realiza giros inesperados. De hecho, podemos ver una inversión operada aquí: así como, desde una perspectiva trascendental, el orden ontológico entre fuerza y espacio puede verse invertido, siendo la forma de la fuerza exigida por la tridimensionalidad del espacio, aun cuando Kant haya afirmado en el período precrítico que el espacio es exigido por la fuerza, ocurre que, desde esa misma perspectiva, la existencia de la materia debe subordinarse a la de la fuerza, en tanto Kant afirma que la fuerza es condición de existencia de la materia. La materia, en cuanto fenómeno, exige la existencia de la fuerza. Nuevamente,

Die Möglichkeit derselben lässt sich nicht streiten. Denn zu allen Kräften der Materie wird Raum erfordert, und, da dieser auch die Bedingungen der Gesetze der Verbreitung jener enthält, notwendig vor aller Materie vorausgesetzt. (Kant, 1968 [1786], p. 99).

La fuerza y el infinito

La necesidad de la fuerza para que la materia exista no obsta que aquello que la fuerza nos revele de la materia sea limitado. Dirá Kant que la atracción, por muy viva que sea la sensación, jamás nos revelará materia alguna con un volumen y una fuerza determinada (*cf.* Kant, 1991 [1786], p. 62). La fuerza atractiva de la materia estará dada por la tendencia que siente nuestro cuerpo a acercarse a un punto exterior a él (pp. 62-63). Esto nos lleva a la cuestión de la posibilidad de acción a distancia, un tema que había sido central en la física de su primer libro

(1747), donde Kant oponía su noción de fuerza activa a la concepción leibniziano-wolffiana de fuerza.

Para Kant la acción entre substancias es posible a distancia [*actio in distans*] y a través del espacio vacío, sin un medio necesario para transmitir la fuerza²⁰². Sobre esto, Kant dice que “la atracción esencial a todo cuerpo material es una acción inmediata de unos sobre otros a través del espacio vacío” (*Ak.*, IV, 512, 17 ss.; cf. *MAN*, Kant, 1991 [1786], p. 67).

Kant estaba persuadido de que la idea de una acción inmediata de las fuerzas a distancia y a través del espacio vacío encontraba objeciones. Esas objeciones, él sabía, partían del supuesto de que una materia no puede actuar allí donde ella no se encuentra (cf. p. 68); pero Kant consideraba que quienes así argüían confundían dos nociones que eran diferentes: el contacto de los espacios en un sentido matemático y el contacto de los espacios en un sentido físico. Nuevamente aquí, la disputa se entabla entre el geómetra y el filósofo natural. El argumento de Kant para refutar las objeciones a la posibilidad de acción a distancia es, *grosso modo*, el siguiente: si se aceptase que una materia solo puede actuar en el lugar en el que está, eso implicaría que la materia solo puede actuar por medio de la acción repulsiva, que es la única que actuaría en contacto. Todo actuar entre dos puntos, por más cercanos que estos se encuentren, implica una acción a través del espacio que los separa, y que siempre existe. Así, salvo que se pretenda afirmar que solo la acción de la fuerza de repulsión existe en el universo, lo que por otro lado queda refutado por la necesidad de una fuerza que limite a la repulsión para que la materia exista, entonces debe admitirse la acción a distancia. Esta paráfrasis nuestra del argumento kantiano cumple con exponer el punto central de su análisis.

El próximo paso, una vez aceptada la acción a distancia y a través del espacio vacío, es la discusión de la ilimitación de las fuerzas. Afirmará Kant: “La fuerza de atracción originaria, sobre la cual se funda la posibilidad de la materia como tal, se extiende de manera inmediata en el espacio del universo, de una parte de este a otra, [y así] hasta el infinito” (*Ak.*, IV, 516, 22 ss.; cf. *MAN*, Kant, 1991 [1786], p. 73). Es imposible no ver retornar aquí ideas que ya habían sido expuestas en la cosmología kantiana del período precrítico: como discutimos en la Segunda Parte de este trabajo, en su *Historia natural universal* (1755), Kant entendía la fuerza

²⁰² En este sentido, la concepción de Kant se parece a la noción que hoy tenemos de una fuerza fundamental en el contexto de una teoría clásica de campos, e.g. la fuerza electromagnética de la teoría de Maxwell o la fuerza gravitatoria en la teoría general de la relatividad de Einstein. Al igual que estas fuerzas, Kant afirma que son de alcance infinito, que se propagan a través del espacio vacío, y que resultan compatibles con la relatividad del movimiento en el espacio. Diferirá, sí, la teoría kantiana con las teorías físicas modernas de las fuerzas en que, para Kant, la acción de la fuerza es inmediata, mientras que hoy sabemos que las fuerzas electromagnéticas y gravitatoria tienen como velocidad característica aquella de la luz.

newtoniana de esta manera: actuando a través del espacio infinito, disminuyendo su magnitud de manera asintótica, sin que esta desaparezca jamás. Así se expresa también en *Principios metafísicos* sobre la fuerza de atracción: “disminuyendo la atracción en razón inversa a la magnitud en que se despliega su fuerza, pero jamás para suprimirla enteramente”, y así “a todo el espacio del universo hasta el infinito” (p. 74).

Como decíamos arriba, cuando Kant pensaba en la fuerza de atracción pensaba en la gravedad. Eso es evidente de sus meditaciones sobre las fuerzas. Escribe sobre la definición de la gravedad, que “es la atracción universal ejercida por cualquier materia sobre todas las demás y a cualquier distancia” (*Ak.*, IV 518, 3 ss.; *MAN*, Kant, 1991 [1786], p. 75). Desde un punto de vista actual, la idea de la gravitación como fuerza universal puede parecernos obvia, pero debemos atender a que no era así en el siglo XVIII, aun cuando la teoría newtoniana era ya ciencia consolidada. Si bien Júpiter y sus lunas, y los otros astros parecían regirse por esa misma fuerza, y si bien Kant se encontraba entre aquellos pioneros en especular acerca de la validez de esa fuerza incluso a escalas galácticas, la idea de que los cuerpos ordinarios circundantes tuvieran, también, fuerzas gravitatorias entre ellos, y entre ellos y nosotros, era altamente especulativa. Pensemos, sin ir más lejos, en la gravedad ejercida sobre nosotros por los muebles de nuestra habitación. Era una idea plausible y también una idea comúnmente aceptada entre muchos filósofos naturales, pero no era algo de lo que se tuviera evidencia experimental²⁰³. Asimismo, ya discutimos cuán piadosa era la idea de Kant de que una única fuerza atractiva fuera la que explicara la corporeidad de la materia. Los cuerpos de masas relativamente pequeñas, como aquellos que nos circundan, a excepción de nuestro propio planeta, no pueden explicar su condición de agregación mediante la fuerza gravitatoria. Kant jamás atendió a ese detalle como sí lo habrían hecho sus contemporáneos, como Michell, dispuestos a efectuar un estudio cuantitativo, y no meramente cualitativo, de la estructura de la materia.

Las formas de las fuerzas

Decíamos arriba que, para Kant, toda fuerza fundamental actúa de un modo inmediato y a distintas distancias. En todos los espacios a los que la fuerza extiende su acción, nos dice Kant, aquella conserva siempre “un mismo *quantum*”; es decir, hay una cantidad conservada. Esta cantidad que se conserva es el flujo de la fuerza, y de esto viene que (en un espacio

²⁰³ John Michell, a quien ya mencionamos, se encontraba entre los que se disponían a comprobar tan osada hipótesis ideando experimentos con balanzas de torsión para medir la atracción gravitatoria de los cuerpos.

tridimensional) la fuerza decaiga como el cuadrado de la distancia, que es precisamente la forma en la que crecen las superficies de las esferas (bidimensionales) (cf. p. 76). En *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* es, junto a su libro sobre las fuerzas vivas, donde Kant desarrolla de manera más detallada sobre la ley de la inversa del cuadrado, incluso más que en sus libros de la década de 1750.

Si pensar la ley de la inversa del cuadrado en términos geométricos, una vez aceptada la tridimensionalidad del espacio, ya le otorgaba a esa cierto grado de *necesidad* (cf. los *Prolegómenos*), entonces pensar esa misma ley como expresión de la conservación de un dado *quantum* terminaba de legitimarla como ley fundamental. En *Principios metafísicos* Kant elabora sobre la analogía entre la fuerza y la luz, siendo que la luz también disminuye con el cuadrado de la distancia, como señalara Kepler. Luego, tal como había adelantado en su *Monadología física*, Kant extiende esa ley a “todas las fuerzas” de la naturaleza: “Lo mismo acontece con todas las demás fuerzas²⁰⁴ y leyes en virtud de las cuales ellas se deben expandir, ya sea sobre superficies, ya sobre espacio corporal [*Körperlichen Raum*], para actuar sobre objetos lejanos según su naturaleza” (cf. p. 77).

Este “actuar según su naturaleza” viene aquí a contemplar tanto la posibilidad de que una fuerza fundamental actúe como lo hace la atracción newtoniana, que se extiende en el espacio vacío²⁰⁵ entre los cuerpos, o como lo hace la fuerza expansiva de la materia, que se extiende dentro del cuerpo. Sobre la segunda fuerza, escribe:

Cuando la fuerza es una repulsión inmediata por la que un punto (...) ocupa dinámicamente un espacio y se plantea la cuestión de cuál es la ley de distancias infinitamente pequeñas (equivalentes a los contactos) según la cual una fuerza expansiva originaria (...) actúa a distancias distintas: en este caso aún menos se puede representar esta fuerza por rayos repulsivos divergentes provenientes del supuesto punto de repulsión, aun cuando la dirección del movimiento tenga como término *a quo* a aquél. En efecto, el espacio en el que debe difundirse la fuerza para actuar a distancia es un espacio corpóreo (p. 79)

Concluye luego que solo cabría la posibilidad de que la repulsión estuviera “en razón inversa a los espacios corporales que cada uno de [los] puntos ocupa dinámicamente”, lo que equivale a decir, según creía Kant, que la ley de la fuerza de repulsión actuaría “en razón inversa al cubo

²⁰⁴ Cabe recordar aquí el dato de que la ley de Coulomb, que también sigue esa ley, se descubría en el mismo momento en el que Kant escribía estas líneas.

²⁰⁵ Nótese el contraste con las ideas de Descartes y de otros filósofos, como Leibniz, según las cuales no hay acción a distancia a través del espacio vacío.

de sus distancias [infinitesimales], aun cuando ellas no pueden ser construidas” (p. 79). Entonces, Kant resumiría su teoría de las fuerzas fundamentales de la siguiente manera: “La atracción originaria de la materia actuaría en razón inversa al cuadrado de las distancias en todo el espacio; y la expansión originaria [actuaría] en razón inversa al cubo de las distancias en los espacios infinitesimalmente pequeños”²⁰⁶ (p. 79), lo que muestra una total coincidencia con su teoría de las fuerzas de 1756.

La dimensionalidad del espacio en los Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza

Tanto la ley de la inversa del cuadrado, que rige la fuerza atractiva, como la ley de la inversa del cubo, que según Kant rige la fuerza repulsiva, llevan en sí la información sobre la dimensionalidad del espacio. Esto es, ambas leyes dependen de cuántas dimensiones espaciales existen, y muy otras serían esas leyes si el espacio fuera, por ejemplo, tetradimensional o pentadimensional. Mientras que la ley de la inversa del cuadrado es tal porque es precisamente como el cuadrado de la distancia que las superficies esféricas crecen, la ley de la inversa del cubo es propuesta por Kant, aunque siguiendo un razonamiento erróneo, debido a que la materia llena un espacio que es tridimensional, *i.e. que tiene $n=3$ dimensiones*, por lo que 3 ha de ser la potencia inversa de la ley (*i.e.* el cubo de la distancia). Kant pensaba que, dado que la fuerza repulsiva actúa dentro de la materia, y siendo que todos los puntos de ese volumen deberían actuar repulsivamente, entonces el cubo era la potencia adecuada.

El argumento de que la tridimensionalidad del volumen que un cuerpo llena implica la potencia cúbica de la inversa de la distancia es errónea. No contaba aún Kant con la ley de Gauß, que rápidamente lleva a cualquiera que tenga conocimientos de cálculo a concluir que, siguiendo el mismo argumento de Kant, pero empleando la matemática adecuadamente, uno arribaría a un resultado distinto: adentro de la materia, la ley aumentaría con una potencia lineal en lugar de disminuir con el cubo de la distancia. Esto se debe a que, mientras las fuerzas disminuyen como el cuadrado de la distancia para preservar el flujo (el *quantum* del que Kant hablaba) el volumen aumenta con el cubo de la distancia, lo que resultaría en que un cuerpo de densidad uniforme realizaría dentro de él una fuerza directamente proporcional al centro de acción elegido: si la fuerza decae como el cuadrado de la distancia (*i.e.* de forma proporcional

²⁰⁶ Aparecen aquí nociones infinitesimales. Si quisiéramos traducir lo que Kant parece proponer aquí, diríamos que la fuerza repulsiva propuesta por él estaría dada por una fórmula $F=c\delta(r)/r^3$, donde c es una constante, probablemente relacionada con la densidad del cuerpo; $\delta(r)$ es la distribución de Dirac, que viene a realizar matemáticamente el requerimiento de que la fuerza solo actúe a distancias infinitamente pequeñas; r es la distancia al punto que ejerce la fuerza repulsiva. El argumento de Kant de que la fuerza debería decaer como el cubo de la distancia es, de todas formas, incorrecto y no se deriva de su propia argumentación.

a $1/r^2$) pero, a su vez, al estar en el seno de la materia misma los volúmenes aumentan con el cubo de la distancia (*i.e.* de forma proporcional a r^3) dejando dentro de sí cada vez más materia generando la fuerza, entonces la fuerza debería crecer de forma proporcional al radio (r) de las esferas de acción en cuyo centro se encuentra el centro de masa de la materia actuante (en lugar de decrecer como $1/r^3$). Kant jamás advirtió este error suyo, en el que incurre en 1756 y nuevamente en 1786. Básicamente, su error se debió a su desconocimiento del cálculo; más precisamente, integró incorrectamente. Se trató de un error simple que, seguramente, no habrían cometido otros de sus contemporáneos, e incluso no habrían cometido científicos anteriores como Newton y Leibniz.

Hoy sabemos que las fuerzas de repulsión son fuerzas efectivas que, aunque de un origen eléctrico, dependen del apantallamiento producido por la estructura atómico-molecular de la materia. De todos modos, la teoría de Kant realizaba ciertas intuiciones correctas. Dijimos ya que su intuición como físico era más fuerte que sus dotes como matemático. La fuerza que decae como la inversa del cubo exhibe un decaimiento más acentuado que la fuerza de atracción, que decae con la segunda potencia de la distancia. Esto, de alguna manera, expresa que las fuerzas de repulsión de la materia son de más corto alcance. En varias partes Kant insiste con aclarar que las fuerzas de repulsión actúan solo a distancias infinitesimales, *i.e.* en contacto, aunque no supo cómo expresar eso matemáticamente. Por ejemplo, escribió:

[C]uando se dice: las fuerzas repulsivas de las partes de la materia que se repelen inmediatamente están en razón inversa al cubo de sus distancias, esto solo quiere decir que ellas están en razón inversa a los espacios corpóreos [*i.e.* espacios físicos] que se piensan encontrar entre las partes, las cuales, no obstante, están en contacto directo y cuyos intervalos, por esta razón, deben ser designados como infinitamente pequeños para que sean distinguidos de cualquier distancia real (p. 81).

También resulta acertada su intuición de que la razón de la forma de la materia, atributo de la substancia, se encuentra en la competencia entre fuerzas repulsivas y atractivas. Podemos pensar, por ejemplo, en los modelos efectivos del núcleo atómico que uno considera en física nuclear, donde la fuerza fuerte, fuerza cohesiva de un alcance exponencialmente corto, sostiene la enorme repulsión eléctrica entre los protones manteniendo así la forma del núcleo. Podemos pensar también en las estrellas, que son aún más parecidas a la física que Kant imaginaba: su enorme fuerza gravitatoria, fuerza atractiva que satisface la ley de la inversa del cuadrado, limita la fuerza expansiva que nace de las reacciones termonucleares que tienen lugar en las entrañas de esas enormes bolas de gas ardiente.

Kant mismo advertía que su teoría para la fuerza repulsiva de la materia encontraba, además de la dificultad de realizar matemáticamente la acción por contacto, otros problemas. Por ejemplo, su teoría parecía no coincidir con las rudimentarias teorías físicas que en esa época se tenían para los gases. Escribe: “De la ley referente de repulsión (...) en razón inversa del cubo de sus distancias pequeñas se sigue necesariamente una ley de la expansión y de la compresión, enteramente distinta a la de Mariotte²⁰⁷ [para el aire]” (p. 82). Se involucra entonces Kant con la teoría de los gases, con el calor, con la vibración de las partes del cuerpo y la transmisión de esa vibración entre diferentes partes, para terminar por confesar lo siguiente:

Aún yo declaro que no quiero que la presente exposición de la ley de una repulsión originaria sea considerada como perteneciente necesariamente al proyecto de mi estudio metafísico de la materia, ni que este estudio (...) sea confundido con las controversias y las dudas que podrían perjudicar al primero (p. 82).

Vemos aquí, nuevamente, el típico movimiento de cautela que realiza Kant cuando se preocupa de que cierta parte de sus afirmaciones, usualmente la parte más especulativa de ellas, queden al margen y no pongan en riesgo el resto de su estudio. Vemos aquí que incluso en su estilo encontramos estos rasgos de continuidad. Habíamos dicho ya al empezar este trabajo que estas notas de cautela por parte de Kant no solo aparecían en su obra temprana sino también en su madura y meditada obra del período crítico.

El principio general de la dinámica de la naturaleza

En su *Anotación general sobre la dinámica* (Ak., IV, 523, 18 ss.; MAN, Kant, 1991 [1786], p. 83), Kant enuncia su principio general de la dinámica de la naturaleza, que consiste en que “toda la realidad de los objetos [*Gegenstände*] de los sentidos externos que no sea una simple determinación de espacio (...) debe ser considerada como fuerza motriz”. Vemos aquí nuevamente una vieja idea kantiana regresar: la fuerza como constituyente del mundo. De esta manera, dice Kant, “la pretendida solidez o la absoluta impenetrabilidad²⁰⁸ son eliminadas de la ciencia de la naturaleza como conceptos vacíos y [son] reemplazadas por la fuerza

²⁰⁷ Aquí, “ley de Mariotte” refiere a la conocida ley de Boyle-Mariotte, formulada por el físico británico Robert Boyle en 1662, y, de manera independiente, por el naturalista francés Edme Mariotte en 1676. Esta ley establece que, a temperatura constante, la presión de un gas es inversamente proporcional al volumen que este ocupa.

²⁰⁸ Recordemos que habíamos dicho ya que, en el marco de la aplicación del método trascendental al problema de la materia, en *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* la idea de impenetrabilidad absoluta iba a ser reemplazada por la de impenetrabilidad relativa en cuanto la primera será considerada como un concepto vacío.

repulsiva”. A esa fuerza se suma la atractiva, fuerza “verdadera e inmediata (...) necesaria de por sí para la posibilidad del concepto de materia” (p. 83).

Sobre las ideas absolutas que son eliminadas de la ciencia de la naturaleza por tratarse de conceptos vacíos, Kant escribe el que probablemente sea el pasaje literariamente mejor logrado de *Principios metafísicos*:

El vacío absoluto y la densidad absoluta de la teoría de la naturaleza corresponden aproximadamente a lo que en la filosofía metafísica son el ciego azar y el ciego destino; es decir, una barrera para la razón dominante con el fin de que la fantasía ocupe su lugar, o se la deje descansar sobre la almohada de las cualidades ocultas (pp. 96-97).

Es precisamente en relación con el espacio vacío que la discusión le exige a Kant a expresar con concisión apreciable su jerarquía ontológica. Kant define el espacio vacío como aquél en el que la materia no actúa en virtud de sus fuerzas expansivas, y esto sugiere ya la primacía de la fuerza, en cuanto es en términos de esta que incluso la propiedad del espacio de estar vacío es expresable. Al tratar cuestión de la legitimidad de la idea de espacio vacío en el mundo, Kant expresa su jerarquía ontológica entre espacio, fuerza y materia: la posibilidad de la misma [admisibilidad del espacio vacío] es indiscutible. “Dado que se requiere del espacio para todas las fuerzas de la materia, y dado que este contiene también las condiciones de las leyes de propagación de aquellas [fuerzas], se presupone [el espacio] necesariamente antes que toda materia”, (Kant, 1968 [1786], p. 99; cf. Kant, 2017 [1786], p. 47).

Por un lado, Kant afirma que la fuerza es condición de existencia de la materia, en cuanto fenómeno. Por el otro, afirma que es necesario que el espacio debe necesariamente ser presupuesto antes que la materia y las fuerzas. Aclarar la diferencia entre este orden espacio-fuerza-materia y el orden materia-fuerza-espacio expresado en su primera obra demanda hacer una distinción entre el contenido trascendental de la primera afirmación y el significado metafísico de la segunda. En *Principios metafísicos* Kant entiende la materia como fenómeno; sabemos de ella a partir de la impenetrabilidad que sentimos al tratar de invadir el espacio que la materia ocupa, impenetrabilidad que se hace presente por virtud de las fuerzas que actúan sobre nuestro cuerpo y que, por lo tanto, se yerguen como condición de posibilidad de la materia como fenómeno. No obstante, es la materia en sí, en cuanto noúmeno, la que determina, al menos parcialmente, la forma funcional en la que las fuerzas actúan. Este es uno de los puntos más confusos de *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza*, precisamente debido al aspecto aparentemente contradictorio del papel que desempeña la materia, como

fenómeno a partir de las fuerzas y como cosa que determina la forma de las fuerzas fundamentales²⁰⁹.

Las fuerzas fundamentales

El carácter primordial de las fuerzas de la naturaleza y la cuestión de cómo definir esa cualidad de ser primordial están en la raíz misma de la empresa kantiana por formular una teoría fundamental de la naturaleza. Según Kant, las fuerzas fundamentales de la naturaleza solo pueden ser aceptadas como tales si pertenecen de inmediato a un concepto que no pueda derivarse de ningún otro. Él considera que las fuerzas repulsivas de la materia y las fuerzas atractivas que se le oponen son, justamente, conceptos de tal naturaleza. Lo fundamental es lo que no puede derivarse de otra cosa, lo axiomático, lo irreducible, lo primordial. Las fuerzas de repulsión y de atracción son de tal tipo; son primero, son antes que la materia.

Cuando se trata de las fuerzas fundamentales, afirma Kant, la necesidad de las mismas jamás puede ser intuita (*cf.* p. 85). Y más adelante escribe:

[I]ntuir las fuerzas primordiales *a priori* según su posibilidad es algo que, en general, se encuentra más allá del horizonte de nuestra razón; por el contrario, toda filosofía de la naturaleza (ciencia de la naturaleza) consiste en reducir la pluralidad de fuerzas dadas, en apariencia diferentes, a un número menor de fuerzas y potencias, aptas para explicar los efectos de las primeras; pero esta reducción no puede extenderse más que hasta las fuerzas fundamentales, más allá de las cuales nuestra razón no puede trascender (p. 100).

La mirada del físico teórico contemporáneo no podría sino detenerse maravillada ante este párrafo. Se lee en él una visión de la física que tiene una actualidad inesperada. Kant anticipa aquí lo que sería la forma de entender las fuerzas fundamentales de la naturaleza a partir del siglo XX. A mediados del siglo XIX, la teoría de la fuerza electromagnética de Faraday,

²⁰⁹ Para aportar al esclarecimiento del mismo, compartamos el resto del último párrafo del capítulo II de *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza*, al que pertenece esta intrigante afirmación: “será enteramente necesario que la materia sea presupuesta con anterioridad a estas fuerzas. De este modo, puede añadirse a la materia una fuerza atractiva por la cual ella restringe su ocupación a un lugar en el espacio que la circunda, a causa de la misma atracción, sin que por ello lo llene. Este [espacio] puede ser considerado como vacío allí donde la materia no actúa en virtud de fuerzas expansivas, dejándolo, por consiguiente, sin llenar. Solo cuando se toman como reales unos espacios vacíos, no existe conclusión alguna ni consecuencia que de ella se derive, ni hipótesis alguna que pueda autorizar su justificación. Pues la experiencia toda solo nos permite conocer la [existencia] de espacios relativamente vacíos, los cuales pueden ser plenamente esclarecidos, sean cuales fueren los grados que la materia tiene como propiedad de llenar el espacio por una fuerza expansiva que aumenta y disminuye sin fin, sin necesidad alguna de espacios vacíos” (p. 101).

Lorentz y Maxwell, compendiada por este último en sus famosas ecuaciones de campo, vendría a mostrarnos no solo la unificación entre las fuerzas eléctricas y magnéticas en un único marco matemático, sino también la unión de ambas fuerzas con los fenómenos lumínicos. Desde entonces, electricidad, magnetismo y óptica serían fenómenos que, aunque en apariencia distintos, admiten ser reducidos a un número menor de leyes. Más adelante, la teoría de la materia reencontraría a los fenómenos electromagnéticos, combinados con las leyes de la mecánica cuántica, en la explicación subyacente a las propiedades químicas y físicas de las sustancias. A comienzos del siglo XX, Einstein lograría otras dos hazañas teóricas: en primer lugar, la de encontrar la teoría correcta que le permitía a la teoría del campo electromagnético de Maxwell ser compatible con el principio de la relatividad del movimiento (1905). En segundo lugar, encontrar un esquema teórico en el que también el campo gravitatorio encaje en un escenario relativista (1915). Durante el resto de su vida, Einstein dedicaría incansables ensayos a la formulación de una teoría que permitiera, a su vez, unificar la teoría electromagnética con la gravitatoria. Otros lo acompañaron en la tarea; e incluso algunos, como Faraday²¹⁰, lo habían precedido en esa empresa. Los avances teóricos y experimentales de la física en el siglo XX vendrían a mostrar que, además de la de Maxwell y la de Einstein, otras fuerzas fundamentales parecían emerger en las entrañas de los núcleos atómicos, elevando a cuatro²¹¹ el número de fuerzas primordiales con las que, hoy, nos es dado entender el mundo.

²¹⁰ Michael Faraday fue el primer físico que pensó en la posibilidad de una teoría de campos que unificara la gravedad con el electromagnetismo, y que incluso realizó experimentos destinados a medir fenómenos de lo que él habrá imaginado como efectos de gravito-inducción. Abro hilo: el 1 de agosto de 1850 Faraday presentó en la Royal Society sus resultados [negativos] sobre la búsqueda de efectos gravitoelectromagnéticos; es decir, la no-observación de efectos de generación de fenómenos electromagnéticos por medio de un proceso que involucrara a la gravedad. Sus resultados fueron publicados el año siguiente en *Philosophical Transactions* (1851, pp. 1-6) con el elocuente título *On the possible relation of gravity to electricity*. Su artículo comienza así: “La larga y constante convicción de que todas las fuerzas de la naturaleza son mutuamente dependientes, teniendo un origen común, o más bien siendo diferentes manifestaciones de un [único] poder fundamental, me ha hecho pensar a menudo en la posibilidad de establecer, mediante experimentos, una conexión entre la gravedad y la electricidad, incorporando así a la primera [de estas fuerzas] al grupo [de las ya unificadas]”. El texto original de Faraday es: “The long and constant persuasion that all the forces of nature are mutually dependent, having one common origin, or rather being different manifestations of one fundamental power, has made me often think upon the possibility of establishing, by experiment, a connection between gravity and electricity, and so introducing the former into the group (...)”. Cabe decir que los resultados negativos de sus experimentos de gravito-inducción electromagnética no convencieron a Faraday de que el proyecto de unificación de las fuerzas gravitatoria y electromagnéticas no tenía sentido. De hecho, Faraday se mostró albergando esa esperanza, sueño o convicción aun después de 1851.

²¹¹ Las cuatro fuerzas fundamentales son: la fuerza electromagnética, la fuerza gravitatoria, la fuerza nuclear débil y la fuerza nuclear fuerte. Si, a su vez, consideramos la teoría electrodébil de Weinberg-Salam, que logra unificar la teoría electromagnética con la fuerza nuclear débil, entonces las fuerzas fundamentales se reducirían a tres: la fuerza electrodébil, la fuerza gravitatoria y la fuerza nuclear fuerte.

Vemos, pues, que la historia de la física fundamental no es sino aquella que Kant anticipara, la de una ciencia de la naturaleza que consiste en reducir la pluralidad de fuerzas dadas, en apariencia diferentes, a un número menor de fuerzas y potencias, aptas para explicar los efectos de las primeras. Esta reducción, nos previene Kant, no puede extenderse más que hasta las fuerzas fundamentales, más allá de las cuales nuestra razón no puede trascender. Hacia allí nos dirigimos.

RESUMEN DE LA TERCERA PARTE

Comencemos diciendo que nuestro análisis muestra que existe una indudable continuidad entre varios problemas metafísicos planteados por Kant desde comienzos del período precrítico y aquellos a los que se abocaría durante su madurez. Hemos ya mencionado varios de ellos, como el problema de la interacción entre las sustancias y la mente; también, los problemas de finitud del espacio y de divisibilidad de la materia, que están presentes tanto en las obras de 1755-1756 como en la *Crítica de la razón pura* (1781/1787) y en *Principios metafísicos* (1786). Aquí hemos mostrado también que tanto en su *Monadología física* de 1756 como en *Principios metafísicos* la dimensionalidad del espacio desempeña un papel central, en tanto la dimensionalidad regula la forma en la que las fuerzas actúan y, por ende, la forma en la que la materia, en tanto fenómeno, se nos aparece. Esto muestra, una vez más, cómo la cuestión de la dimensionalidad del espacio organiza toda la filosofía natural de Kant, ya no sólo a lo largo del período precrítico, sino también a lo largo de toda su obra. Hemos remarcado, sin embargo, que hay un cambio importante que se da hacia el período crítico: Kant dejará en este período de preguntarse por la contingencia o la necesidad de la tridimensionalidad. Aun así, la tridimensionalidad, tomada ahora como atributo del espacio y, por lo tanto, dado *a priori*, seguirá estando en las bases de las leyes físicas.

[E]l continuo [espacio-tiempo] físico es, según nuestra experiencia, de cuatro dimensiones. Sin embargo, mostraremos que es posible asignar algún significado a la quinta coordenada sin contradecir el carácter tetradimensional fundamental del continuo físico.

Albert Einstein *et al.*
Sobre la generalización de la teoría de Kaluza, 1938.

Cuarta Parte

Esquema de la Cuarta Parte

Esta Cuarta Parte plantea una discusión de la estrecha relación entre las ideas que Kant expresa desde comienzos de su obra al respecto de la metafísica de las ciencias de la naturaleza y muchas ideas centrales en la física contemporánea. Nuestra intención aquí es evitar los lugares comunes, las analogías forzadas entre y las conexiones vagas. Por el contrario, queremos mostrar cómo muchas de las cuestiones planteadas por Kant en su metafísica de la ciencia de la naturaleza del período precrítico se ven reflejadas de manera clara y concreta en los abordajes de la física teórica contemporánea. Y cabe decir aquí que cuando hablamos de física contemporánea nos estamos refiriendo, en particular, a la física teórica de los últimos treinta años. Cuestiones tales como la hipótesis de muchos mundos (multiverso) como respuesta a la pregunta por la necesidad o contingencia de las leyes naturales son temas centrales de la física teórica actual. En relación a esto, la forma en la que Kant abordaba el problema de la contingencia de la tridimensionalidad del espacio y la hipótesis de muchos mundos es de una vigencia que sorprende. Otras ideas, como la emergencia del espacio a partir de algo más fundamental, o la cuestión de las contrapartes incongruentes, o la subordinación de los atributos del espacio a las propiedades de las fuerzas fundamentales también encuentran resonancias en tópicos abordados por la ciencia de la naturaleza actual. En esta Cuarta Parte, luego de una revisión de la cosmología moderna y de la forma en la que hoy entendemos el espacio-tiempo y la estructura de la materia, mostraremos la vigencia de muchos de los abordajes y preguntas metafísicas que Kant se planteaba ya en su primer libro.

XXIII. UNA LECTURA DESDE LA FÍSICA CONTEMPORÁNEA

Hacia una lectura contemporánea de la física kantiana

¿Qué razones podríamos encontrar para estudiar a Kant en el siglo XXI? Acaso podríamos comenzar esta Cuarta Parte de nuestro trabajo intentando responder a esta pregunta insidiosa. Más allá de su innegable importancia como uno de los mayores filósofos de la historia, podríamos preguntarnos qué elementos harían de la lectura de la metafísica de Kant una tarea de valor filosófico desde una perspectiva contemporánea. Las ramificaciones de esta pregunta son, por supuesto, inabarcables. Aun si restringiésemos la cuestión y nos preguntásemos qué lecturas contemporáneas podrían hacerse de la concepción kantiana del espacio, las respuestas serían múltiples: encontraríamos desde quienes podrían defender el interés del estudio de la filosofía trascendental en el marco de las neurociencias (*cf.* Hepp, 2020; Khachouf *et al.*, 2013) hasta quienes sostendrían la importancia de la teoría del esquematismo para la investigación en la teoría estética moderna (*cf.* Desideri, 2018; 2021). Debemos, entonces, restringir nuestra pregunta todavía más. Nuestro aporte será, pues, mucho más modesto; preferimos ensayar una respuesta a la siguiente pregunta, que es mucho más específica: ¿en qué sentido la metafísica kantiana, y en especial la concepción kantiana del espacio, se relaciona con la imagen del espacio que proponen las modernas teorías cosmológicas? En otras palabras, en esta parte del trabajo nos proponemos investigar cómo muchas de las ideas del período precrítico de Kant sobre la naturaleza del espacio y el tiempo anticipan elementos que encontramos en la imagen del espacio-tiempo que nos ofrece la física teórica contemporánea.

Con el advenimiento del llamado “principio holográfico” y de otros avances en la investigación científica de las últimas tres décadas, nuestra imagen del espacio y el tiempo ha sufrido una renovación radical, renovación que es acaso comparable a la que ocurriera a comienzos del siglo XX con la formulación de la teoría general de la relatividad. A partir los años 1990s, la idea del espacio-tiempo como un elemento emergente recobró substancia. El principio holográfico y las simetrías de dualidad, descubiertas en el marco de la llamada teoría de supercuerdas, han llevado a la física contemporánea a replantearse hipótesis basales sobre el carácter fundamental del espacio-tiempo mismo. Esto implicó la revisión de paradigmas que, hasta la década de 1990, creíamos sólidamente establecidos.

Un aspecto de las teorías más modernas de la física que nos interesa resaltar aquí es el siguiente: mientras la física de comienzos del siglo XX, y en particular la teoría general de la relatividad, parecían echar por tierra muchos de los elementos basales de la filosofía crítica de

Kant²¹², e.g. el espacio euclídeo y tridimensional como un *a priori*, la evolución de esas mismas ideas a lo largo de un siglo llevó, luego de un derrotero dialéctico interesante, a la formulación de teorías que, paradójicamente, terminan compartiendo muchísimos elementos con aquella metafísica kantiana del período precrítico, e incluso con la metafísica de filósofos del siglo XVII, como Leibniz. En otras palabras: cuánto más moderno nos parece, hoy, aquel joven Kant que se preguntaba sobre la contingencia de la dimensionalidad del espacio o sobre la posibilidad de existencia de otros mundos. Esas preguntas son retomadas por la física teórica actual, que las coloca en el foco de la investigación científica. Ante este escenario, se impone la tarea de ofrecer una relectura de aquellas nociones de espacio y tiempo de la filosofía moderna desde la perspectiva de una cosmología contemporánea. La filosofía precrítica de Kant ofrece una arena extraordinaria para emprender esa tarea de revisión. En especial, el contenido metafísico en los trabajos de Kant sobre filosofía natural de comienzos del período precrítico devela intuiciones geniales – hasta no hace mucho subestimadas– acerca de la naturaleza emergente del espacio y el tiempo. La contingencia de la dimensionalidad del espacio y la posibilidad lógica de existencia de muchos mundos son, como señalábamos, problemas metafísicos que se relacionan estrechamente con esto. Así, se vuelve imperioso reactualizar el estudio de la filosofía precrítica de Kant desde la perspectiva de una cosmología actual.²¹³

En las subsecciones siguientes discutiremos la física kantiana desde una perspectiva contemporánea. Comenzaremos revisando la cosmología propuesta por Kant circa 1755 y

²¹² Podemos recordar aquí la afirmación de Einstein que citamos en la primera parte de esta tesis: “Hasta hace algún tiempo, se podía considerar posible que el sistema de conceptos y normas *a priori* de Kant (...) Sin embargo, si uno no quiere afirmar que la teoría de la relatividad va en contra de la razón, no puede retener los conceptos y normas *a priori* del sistema de Kant” (1924). También podemos recordar la afirmación de Reichenbach: “la filosofía de Kant no tiene nada que decirnos a nosotros, quienes. somos testigos de la física de Einstein y Bohr”. Aunque lecturas neokantianas insisten con que el sistema de Kant es adaptable “a toda teoría científica venidera”, esto es sino una interpretación *ad hoc* del contenido del sistema de la filosofía crítica que, resignando compromisos ontológicos evidentes en la obra de Kant, proponen una versión laxa de la estructura que la sostiene a fin de poder incorporar en el marco de la filosofía trascendental estructuras geométricas más generales, como las geometrías pseudo-riemannianas empleadas por la teoría de la relatividad o estructuras lógicas como las que se encuentran detrás de algunas interpretaciones de la mecánica cuántica. Sin caer en el reduccionismo al que lleva efectuar una lectura literal de la obra kantiana, preferimos evitar también lecturas excesivamente libres de sus ideas.

²¹³ Esta relectura de la metafísica kantiana del espacio desde la perspectiva de la física contemporánea contribuye a la adeudada tarea de revaloración de la filosofía del período precrítico. Si bien mucho se ha escrito sobre las tensiones y amalgamas que la filosofía crítica de Kant encontraría con la imagen del espacio-tiempo propuesta por la física a partir del siglo XX, mucho menor es el volumen de trabajo dedicado a investigar la relación entre la filosofía precrítica de Kant y la imagen del espacio-tiempo propuesta por la física del siglo XXI. El principio antrópico, la teoría del multiverso, el principio holográfico, la multidimensionalidad y la teoría de supercuerdas, son temas que encuentran un eco armonioso con las ideas del joven Kant (*cf.* De Bianchi Silvia *et al.*, 2015; Friedman, 1992; Schönfeld *et al.*, 2019).

cómo esta explica en buena medida el cosmos en el que vivimos. Luego, revisaremos la estructura del espacio-tiempo en el contexto de la teoría general de la relatividad de Einstein y la compararemos con las ideas kantianas de espacio y tiempo. Eso nos llevará a la pregunta acerca del espacio absoluto, lo que no puede sino remitirnos al problema kantiano de las contrapartes incongruentes. Discutiremos en qué lugar de la física fundamental aparece esta pregunta sobre la quiralidad de los cuerpos en el espacio. Luego, regresando sobre los atributos del espacio discutidos por Kant en sus textos del período precrítico, analizaremos qué dice la física teórica contemporánea acerca de la posibilidad de un espacio pluridimensional; por ejemplo, cómo aparece esa idea en la teoría de supercuerdas. Otra idea que nace de la teoría de supercuerdas es el llamado principio holográfico, que establece que, en un sentido muy preciso, el espacio-tiempo es una noción emergente y la dimensionalidad de una dada descripción espaciotemporal no es un elemento fundamental. Es imposible no establecer puentes entre esta idea de un espacio-tiempo emergente y el lugar que el espacio adquiere en la jerarquía ontológica kantiana del período precrítico, en la que el espacio viene exigido por las fuerzas. Ahondaremos en este análisis comparativo. Por último, abordaremos la hipótesis de los muchos mundos, que aparece a lo largo de toda la obra precrítica de Kant, y que la física retoma como idea a partir de la denominada hipótesis del multiverso y del principio antrópico. La ilación que lleva a Kant a concluir la pluralidad de mundos como conclusión de la imposibilidad de demostrar el carácter necesario de ciertas cualidades de *nuestro* mundo se encuentra reflejado en las ideas más especulativas de la cosmología actual; está vinculado con las reediciones contemporáneas del principio antrópico, la teoría del multiverso y los problemas de naturalidad.

Una cosmología kantiana

Comencemos por decir que Kant estaba en lo cierto: la Vía Láctea, esa franja turneriana que, irreverente, taja el cielo nocturno, no se trata sino del Sol incansablemente repetido. En el detalle, su textura lechosa se disuelve en cientos de miles de millones de puntos; cada uno de esos puntos, una estrella; cada una de esas estrellas, un sol en la distancia. Hoy hemos aprendido que en torno a esas estrellas también orbitan mundos; otros júpiter, otras tierras; planetas ajenos que orbitan soles ajenos. Así, nuestro sistema solar se convierte en tan solo uno de los tantos sistemas estelares que componen nuestra galaxia. Cada uno de esos conjuntos individuales se formó a partir de un desordenado torbellino original, un huracán inmenso en el que fueron formándose grumos que más tarde fueron rocas y gas, y más tarde fueron mundos. También en esto acertaba Kant. Una fuerza invisible une a todos esos sistemas, sometiendo el

movimiento de todo orbe a la presencia de todos los otros. La gravedad actúa severa y persistente a través del vacío, conectando todas las substancias con una intensidad que merma con el cuadrado de la distancia, y así hasta el infinito. Las substancias de mayor extensión, las estrellas, mantienen su forma gracias a una guerra de fuerzas que se desata en su interior: mientras su propia gravedad tiende a comprimirlas, una fuerza expansiva nace de sus entrañas y equilibra sus cuerpos. Violentas reacciones termonucleares ocurren en su interior, otorgándoles a las estrellas la presión que les salva del colapso. La teoría kantiana de la materia anticipaba esta verdad.

Todas las estrellas de la galaxia, manteniendo sus caracteres, pero difiriendo entre ellas en detalles sutiles, giran en torno a un centro común en el que, como intuía Kant, existe un enorme astro. Laplace entendió la razón por la que ese astro permanece invisible a nuestros ojos: “los cuerpos más grandes en el universo podrían ser invisibles debido a sus propias magnitudes”, sugería el marqués. Su invisibilidad es inmanente. Los astros de tales dimensiones, que hoy llamamos agujeros negros supermasivos, generan un campo gravitatorio tan intenso que ni siquiera la luz puede salir de ellos. Es su propio peso el que los sume en la más absoluta invisibilidad. Absolutamente nada puede escapar de su interior; ninguna luz, materia o radiación puede dejarlos. Su interior se encuentra causalmente desconectado de nosotros: nada de lo que ahí adentro ocurre puede ser causa de un efecto externo. Así, si definimos el espacio como el escenario en el que ocurren los fenómenos físicos, no es inexacto decir que el espacio se acaba allí, en la superficie de los agujeros negros: el espacio mismo se recorta respetando la forma cuasiesférica de esos enormes astros que se ubican en los centros galácticos. Para toda consciencia externa, el espacio acaba allí; los agujeros negros son la misma ausencia del espacio en el que existen.

Kant entendió también que las nebulosas distantes no eran sino otras galaxias, otras copias de nuestra Vía Láctea. También los imaginados seres de los planetas que orbitan los soles de esas otras galaxias verían a su propia galaxia como una franja difusa pintada en el cielo, porque es así como un espiral se ve desde el espiral mismo. Habrá en esos otros espiralados conjuntos de estrellas otros sistemas solares, con soles en el centro y planetas orbitándolos, planetas rocosos y planetas gaseosos, planetas enormes y otros pequeños. Habrá estrellas gigantes, gigantes y azules; las habrá rojas; las habrá blancas y enanas; las habrá oscuras y hasta invisibles.

La *Historia natural universal* de Kant describe una forma y una historia del universo que se parecen mucho a las que hoy sabemos que tiene. El origen de los astros, la manera en la que se distribuyen, la universalidad de las leyes que gobiernan su física; todo ello, un acierto de la

intuición genial de Kant y de otros filósofos naturales del siglo XVIII. Pero quizá haya más: la filosofía natural de Kant y la metafísica que la envuelve proponen una imagen más completa del mundo, una cosmogonía que no solo piensa el cielo, sino que se involucra tanto con la constitución de la materia como con la naturaleza emergente del espacio y el tiempo. Quizá podríamos preguntarnos, entonces, si también esas ideas fundamentales de la cosmología kantiana se encuentran en consonancia con la imagen del espacio y el tiempo que nos propone la física actual. A responder esa pregunta dedicaremos las siguientes subsecciones.

La fuerza y la naturaleza dinámica del espacio-tiempo (digressio)

A fines de 1915 Albert Einstein formuló su famosa *teoría general de la relatividad*, teoría que completaría aquella tarea iniciada por él diez años antes con su *teoría especial de la relatividad* y que vendría a cambiar por completo nuestra concepción del espacio y el tiempo. Si ya con su primera teoría, cuyo logro fundamental había sido conciliar la teoría electromagnética de Maxwell con el principio de la relatividad del movimiento, Einstein había movido los cimientos de nuestra concepción de la física al demostrar el carácter relativo de la simultaneidad y el carácter absoluto de la velocidad de la luz, con la teoría completa de 1915 esos cimientos terminarían de colapsar. De esos escombros nacería una forma totalmente nueva de entender la gravedad y, con ella, la cinemática, la dinámica, la relatividad del movimiento, la energía, los astros y el universo todo.

La teoría general de la relatividad es, sobre todo, una teoría de la interacción gravitatoria. Según esta teoría, la interacción gravitatoria entre dos cuerpos – podemos pensar en el ejemplo de un astro orbitando a otro astro mayor– no se debe a que actúe entre ellos una fuerza en el sentido newtoniano sino a que cada uno de esos cuerpos, debido a su masa y su energía, curva el espacio²¹⁴ en el que se encuentra, imprimiendo su huella en el entramado espaciotemporal. Según esta imagen einsteniana de la gravedad, la órbita de la Luna en torno a la Tierra no es debida a que exista entre ellas una fuerza, sino a que la masa de la Tierra curva el espacio-

²¹⁴ En la teoría de la relatividad el espacio y el tiempo entran en la formulación de la teoría de una manera entrelazada. Es por esto que en este contexto se habla de espacio-tiempo como un ente único. Debido a esta relación íntima entre espacio y el tiempo en la teoría de Einstein, ocurre el hecho de que la materia y la energía curven el espacio tiene su correlato en lo que ellas le hacen al tiempo: la teoría de Einstein predice que el tiempo transcurre más lento en las regiones del espacio en las que el campo gravitacional es más intenso. Esto ha sido comprobado en diversos experimentos y observaciones astronómicas. Es notable que ya en 1959, gracias a un ingenioso experimento llevado a cabo por Robert Pound y Glen Rebka en el laboratorio Jefferson de la Universidad de Harvard, ya había sido posible verificar a escala terrestre que, tal como la teoría de Einstein predice, el tiempo transcurre más lento cuanto más cerca se encuentra el experimentador del centro de gravedad de nuestro planeta.

tiempo en su cercanía y, así, la Luna no hace sino ceñir su trayectoria a dicha curvatura. En la teoría de Einstein la gravedad ya no es una fuerza sino la curvatura del espacio; la fuerza se ha transformado en geometría²¹⁵. Esto implica que también los rayos de luz verán desviadas sus trayectorias en las cercanías de un astro gravitante: en cuanto navegante del espacio, la luz no escapa del destino de amoldar su andar a las formas que otros cuerpos le imponen al espacio. Esta deflexión de los rayos de luz debido a la cercanía de un astro gravitante es quizá una de las predicciones más sorprendentes de la teoría de Einstein, predicción que fue corroborada por los astrónomos Frank Watson Dyson y Arthur Eddington en 1919 durante la observación de un eclipse solar²¹⁶. Los resultados obtenidos por los astrónomos resultaron estar en completa concordancia con la teoría general de la relatividad, lo que le valió a Einstein la fama mundial de la que gozó el resto de su vida, una fama que hasta ese momento se restringía a los círculos académicos.

El contenido conceptual de esta forma einsteniana de entender los fenómenos gravitatorios es difícil de sobreestimar: desde Einstein entendemos al espacio y al tiempo como entes dinámicos que nada se parecen a aquel escenario inmutable e indiferente en el que se desarrollan los fenómenos físicos según la física decimonónica. El tejido espaciotemporal, según la teoría general de la relatividad, es afectado por los mismos fenómenos que sobre él acaecen: los procesos físicos ocurren en el espacio, pero, a su vez, estos deforman al espacio en el que ocurren. En otras palabras, tanto la luz como los cuerpos materiales siguen las líneas de la geometría espaciotemporal, que ahora puede ser una geometría curva; por otro lado, esa

²¹⁵ Las ecuaciones de Einstein de la teoría general de la relatividad tienen una forma que expresa de manera muy directa la relación entre la curvatura de la geometría espaciotemporal y la distribución de materia en el espacio que genera dicha curvatura. Las ecuaciones se escriben $R_{ik} - \frac{1}{2} R g_{ik} = 8\pi G T_{ik}$, donde el lado izquierdo de las ecuaciones encapsula el contenido geométrico del tejido espaciotemporal mientras el lado derecho contiene la información de la distribución de materia en el espacio, expresada esta por el tensor de energía-impulso T_{ik} . La constante G es la constante de gravitación universal de Newton; las cantidades R_{ik} y R refieren a funciones de la curvatura del espacio-tiempo, siendo g_{ik} la métrica con la que se miden distancias en este último.

²¹⁶ La idea de Eddington era ingeniosa y simple: el día del eclipse, en el momento mismo del eclipse, las estrellas de la constelación Taurus conocidas como “cúmulo de Hyades” estarían en alineación con el Sol, la Luna y la Tierra. Si la predicción de Einstein sobre la deflexión de la luz debido a la gravedad era correcta, entonces durante el eclipse las estrellas del cúmulo de Hyades deberían mostrarse ligeramente corridas respecto a las posiciones que usualmente toman cuando el Sol no está allí. Esto se debe a que la gravedad del Sol desviaría las trayectorias de los rayos de luz que vienen de aquellas estrellas lejanas, tal como lo hace una lente. El eclipse total, que se vería el 29 de mayo de 1919 desde el norte de Brasil y desde África occidental, le permitiría ver las estrellas durante el día, con el Sol alto en el cielo; de lo contrario, las estrellas no se podrían observar debido al brillo dominante con el que el Sol sabe ocultarnos la noche. Unas pocas fotografías de la campaña de observación astronómica en África, junto a otras que vendrían de Brasil, parecían darle la razón a Einstein: durante el eclipse, las estrellas del cúmulo de Hyades se mostraban ligeramente desplazadas respecto a las posiciones que las mismas adoptaban durante la noche: la luz, aunque ligera, ubicua y penetrable, gravita.

curvatura del espacio-tiempo está determinada por la concentración de materia y energía que hay en él.

Con excepción de lecturas heterodoxas según las cuales se interpreta la estructura de la estética trascendental como si fuera esta lo suficientemente flexible y vaga como para ser válida para toda ciencia del espacio, incluso aquella ciencia por venir, es comúnmente aceptado que la concepción einsteniana de la geometría del espacio-tiempo representó un problema para el sistema trascendental kantiano. Los experimentos corroboraron lo teorizado por Einstein: el espacio-tiempo no es necesariamente euclidiano; no solo no se cumplen en el espacio esas reglas de la geometría que Kant entendía como dadas *a priori*, sino que incluso las reglas de la geometría pueden cambiar en el tiempo. El tiempo mismo sufre contorsiones impensadas. La teoría general de la relatividad asestó un fuerte golpe al sistema del espacio y el tiempo que Kant presenta en la estética trascendental de la *Crítica*. Y también el rol que desempeña la materia en su sistema se veía amenazado.

En la teoría de Einstein vemos a la terna materia, fuerza y espacio vincularse de una manera indisoluble. Diferentes formas y concentraciones de materia en el universo le imponen al espacio-tiempo diferentes maneras de plegarse. Por ejemplo, si un astro es lo suficientemente denso, entonces la curvatura espaciotemporal en su cercanía puede ser tan pronunciada como para llegar a convertirlo en un agujero negro. Eso es lo que ocurre con los astros supermasivos en los centros galácticos. A escalas aún mayores, si pensásemos a la distribución de todas las galaxias del cosmos como si se tratase de un gran fluido uniforme llenando el espacio vacío, entonces la teoría de Einstein nos llevaría a concluir que la curvatura del espacio-tiempo sería tal que terminaría forzando a todo el universo a moverse²¹⁷. Entre 1927 y 1929, gracias a los

²¹⁷ El hecho de que la teoría general de la relatividad implicaba que el universo, si se suponía a este isótropo y homogéneo a gran escala, resultaba dinámico había sido advertido por el mismo Einstein circa 1916. Otros físicos y astrónomos notables habían arribado a conclusiones similares; entre ellos, Erwin Schrödinger, Willem de Sitter, Georges Lemaître. A comienzos de 1917 Einstein propuso una versión modificada de su teoría; propuso agregar un término a sus ecuaciones, las que ahora tomarían la forma $R_{ik} - \frac{1}{2} R g_{ik} + \lambda g_{ik} = 8\pi G T_{ik}$. La presencia del nuevo término λg_{ik} en las ecuaciones de la teoría permitía resolver lo que, según él creía, era un problema de la teoría. En la nueva versión de la teoría (1917) el universo resultaba estático, aunque inestable. Su exceso de cautela al no haber aceptado la dinámica cósmica predicha por su teoría original (1915) fue considerada por él como “el desatino más grande de su carrera”. De haber confiado en su propia teoría Einstein habría predicho la expansión cósmica más de una década antes de que la misma se hubiera observado con los telescopios. Cabe mencionar que Kant discurre acerca de la homogeneidad del universo infinito en su *Historia natural universal*, donde afirma que “es ciertamente verdad que en un espacio infinito ningún punto puede tener propiamente la prerrogativa de ser llamado el punto central”.

trabajos de Georges Lemaître²¹⁸, y de Edwin Hubble²¹⁹ y Milton Humason²²⁰, verificamos que, en efecto, esto así: vivimos en un universo que se expande²²¹ y que así lo viene haciendo desde hace, aproximadamente, catorce mil millones de años. Acaso, tal como Lemaître lo sugiriera, el universo haya nacido de un átomo primordial; la teoría de Einstein no parece permitir otro posible origen para el universo que el de haber nacido de lo infinitamente pequeño, de un punto sin espacio, un tiempo sin un antes²²².

²¹⁸ Georges Henri Joseph Édouard Lemaître (1894-1966) fue un sacerdote católico, matemático, astrónomo y físico belga, profesor de en la Universidad Católica de Lovaina. En 1927 Lemaître propuso que nuestro universo se expande y que pudo haber nacido de un átomo primigenio. En 1931 publicó un trabajo en la revista *Nature* titulado *The Beginning of the World from the Point of View of Quantum Theory*. En él, daba detalles de su idea. Murió en 1966, pocos años después de que la detección de la radiación cósmica de fondo diera prueba inequívoca del *Big Bang*, por lo que vio su teoría recibir la homologación de la comunidad especializada. Lemaître era sacerdote de la iglesia católica, y en relación con esto es interesante contar que, a comienzos de la década de 1950, el papa Pío XII, quien había recibido con entusiasmo el descubrimiento de Lemaître, propuso incorporar al dogma católico su teoría. Pío XII consideraba que la teoría de Lemaître proporcionaba una validación científica del *Génesis*. Sin embargo, Lemaître encontró la proclamación del Papa incómoda. Afirmó que su teoría era neutral y que no había conexión ni contradicción entre ella y su religión. Otro capítulo interesante de la biografía científica de Lemaître es el de la correspondencia entre él y Hubble, que se relaciona con lo que se perdió en las traducciones de los trabajos y cartas entre 1927 y 1931. Pero mostrar esto no entra en este pequeño margen.

²¹⁹ Edwin Powell Hubble (1889-1953) fue un reputado astrónomo norteamericano. Sus observaciones de la recesión de las galaxias distantes, evidenciado este por el corrimiento al rojo de la luz que de ellas observamos, confirmaron la expansión del universo.

²²⁰ Milton Humason, nacido en 1891 en Minnesota, fue un hombre que miró al cielo como nadie lo había hecho hasta el momento. Habiendo abandonado la escuela en su adolescencia, Humason no contó con educación formal completa. Su amor por las montañas lo llevó a ser mulero. Baquiano del monte Wilson, llevaba mulas que portaba materiales y equipos a la montaña mientras se construía el observatorio en el monte. Más tarde, en 1917, fue contratado como conserje en el observatorio. Su interés por el cielo y el tiempo que le dejaba su tarea nocturna de sereno lo llevaron a ofrecerse como voluntario en las observaciones. Rápidamente adquirió habilidades técnicas que, sumado a lo minucioso que era para tomar sus anotaciones, lo afianzarían en su puesto. Humason se hizo conocido como un observador meticuloso y trabajó tomando fotografías y espectrogramas de galaxias tenues. Sus observaciones desempeñaron un papel crucial en el desarrollo de la cosmología, en especial por haber asistido a Hubble en la formulación de la ley que lleva el nombre de este último y que expresa la expansión del universo.

²²¹ Cabe decir que fue Vesto Slipher, un astrónomo nacido en 1875, quien primero observó, en torno a 1912, el corrimiento al rojo de las galaxias lejanas (“nebulosas espirales”). De todas formas, Slipher no supo interpretar acabadamente que ese corrimiento al rojo se debía a la recesión de esas galaxias debido a la expansión cósmica.

²²² En 1964, Arno Penzias y Robert Wilson descubrieron el denominado fondo cósmico de microondas, una persistente radiación que llega a nuestro planeta proveniente de cualquier dirección del universo en la que se desee observar. Este descubrimiento es considerado la prueba irrefutable de la teoría del *Big Bang*; es decir, de la teoría que sostiene que el universo comenzó con una gran explosión hace aproximadamente 13.780 millones de años. La radiación cósmica de microondas es la reliquia de los tiempos de un universo temprano, tiempos en los que los electrones aún no formaban parte de los átomos sino que se movían libremente dotando al cosmos de una opacidad que nada se parece a la claridad que hoy le conocemos. Tan solo un año después de aquel descubrimiento, por el que Penzias y Wilson recibieron en 1978 el premio Nobel, Stephen Hawking publicaría en *Physical Review Letters* un artículo en el que, con hipótesis sólidas y argumentos rigurosos, alcanzaba una conclusión perturbadora acerca de la evolución del cosmos: en el pasado, el universo debió ineluctablemente ser infinitamente pequeño e infinitamente denso. En otras palabras, Hawking demostraba en su artículo de 1965 la inevitabilidad de lo que se conoce con el nombre de “la singularidad”. Para asegurarnos de que apreciamos la importancia del descubrimiento

Más recientemente, hacia 1997, aprendimos que el universo no solo se expande, sino que, además, lo hace cada vez más rápido²²³. Desde el punto de vista teórico, esa aceleración cósmica es desconcertante: el universo se comporta como si estuviera inundado de una ubicua energía oscura que lo compele a acelerar su ritmo de expansión. Entender las razones fundamentales de esa aceleración es una de las preguntas abiertas más acuciantes de la física teórica.

Como vemos, la geometría del espacio-tiempo es muy distinta a la de aquel escenario absoluto e inmutable que los físicos consideraban hasta la formulación de la teoría de Einstein. De alguna manera, la geometría del espacio-tiempo einsteniano se parece más a aquella que Borges describió en *Tlön, Uqbar, Orbis Tertius*: una “geometría que desconoce las paralelas y declara que el hombre que se desplaza modifica las formas que lo circundan”. La forma de nuestro universo es la de una geometría curva, no-euclidiana, donde las paralelas pueden cruzarse más de una vez si se dan las distribuciones de materia necesarias; el universo se expande; los rayos de luz desvían sus trayectorias en las cercanías de los cuerpos pesantes; el espacio-tiempo puede temblar y propagar ese temblor en forma de ondas a la misma velocidad que la luz; el espacio-tiempo puede incluso desgarrarse si las densidades de materia llegan a ser lo suficientemente pronunciadas, produciendo así la desconexión causal de diferentes partes del cosmos.

Kant jamás podría haber anticipado esta compleja geometría cósmica en la que la fuerza gravitatoria y la forma del espacio son una y la misma cosa. Se disuelve la diferencia ontológica entre fuerza y espacio. También el hecho de que la fuerza gravitatoria entre los cuerpos no haya resultado inmediata como Kant suponía parece atentar contra el orden ontológico que él había considerado: una fuerza que se propaga a velocidad finita parece exigir un espacio donde propagarse, un espacio que esa misma fuerza no tuvo tiempo de haber creado. La intuición de Kant sobre el espacio, así como la nuestra, es adquirida de la exploración cotidiana del mundo circundante, un mundo cuyo espacio se comporta rígida y euclidianamente, un mundo que se

de Hawking, digamos que, en física, cuando uno dice que algo es “infinito” no está diciendo que sea mucho, muchísimo, o superlativo equivalente, sino que uno está diciendo algo distinto: cuando los resultados de las fórmulas matemáticas que describen las teorías físicas arrojan como respuesta el infinito esto es síntoma de que la teoría falla, de que pierde su poder predictivo, de que deja de describir la naturaleza. Es eso lo que el trabajo de Hawking demostraba: las ecuaciones de Einstein que describen la evolución del cosmos parecían “romperse” y dejar de ser válidas en los momentos iniciales del universo.

²²³ Esto equivale a decir que, en efecto, el término λg_{ik} que Einstein había agregado a sus ecuaciones en 1917 estaba en efecto allí (aunque el valor específico de la constante λ no fuera el necesario para detener el andar del universo). De hecho, resulta paradójal que el término que Einstein había agregado a sus ecuaciones en febrero de 1917 con el fin de detener el andar del universo haya terminado siendo la misma razón de la aceleración cósmica.

ve invadido por la luz y las fuerzas inmediatamente. Es solo a escalas muy grandes o a muy altas energías – tales como las de los fenómenos astrofísicos– que el aspecto no-euclidiano del espacio se vuelve evidente. Gracias a la enorme precisión alcanzada con la tecnología actual nos es permitido verificar que, en efecto, el espacio-tiempo no es esa mansa estructura euclidiana que la física pre-einsteiniana proponía, ni es esa forma *a priori* de la filosofía crítica kantiana, sino un entramado tetradimensional de naturaleza trémula en el que la intersubjetividad de los fenómenos debe ser reformulada.

La evidencia de un origen (digressio)

La mirada al universo nos condena a verlo pretérito; nos condena a ver un cielo que ya no existe, o, cuanto menos, que ya no existe como lo vemos. Incluso las estrellas más brillantes del firmamento, aquellas que intuimos cercanas, como Betelgeuse, Rigel o las otras que le dan forma al cazador imaginario de Orión, son en realidad una ilusión. Se trata de imágenes de lo que ellas fueron hace cientos de años, mucho antes de la invención de los instrumentos con los que las observamos. Y qué decir, entonces, de las galaxias distantes, que se muestran decenas de millones de años antiguas²²⁴. Cuanto más lejana y más profunda es nuestra mirada del cielo, más antiguo es el brillo que le vemos.

El universo tiene su brillo intrínseco, su luz inmanente. Se trata de una luz que no es aquella que ven nuestros ojos ante el firmamento poblado, sino una luz más lejana, más antigua; una luz ubicua y tenue, casi imperceptible. Esa luz nos trae la imagen de lo que el universo fue en sus inicios. Podemos leer en ella la entera historia del cosmos.

Si nos fuera dado el poder de apagar cada estrella, cada uno de esos soles, si pudiéramos acallar por un minuto cada uno de los sucesos violentos que iluminan el espacio, aun así, el universo brillaría. Lo haría tímidamente, con un color frío; pero brillaría. Ese brillo, esa luz, es testigo de una época en la que el universo era muy otro, muy distinto al que es hoy. Kant también coincidía en pensar al universo como un desenvolvimiento evolutivo a partir de un estadio original distinto al actual:

[El] espacio está completamente vacío o al menos vacío en buena medida; por lo tanto, debe haber estado una vez constituido de manera diferente y lleno de materia²²⁵ lo suficientemente poderosa como para transmitir movimiento a todos los cuerpos

²²⁴ Ver Giribet G., *Una luz original en Relictos y cosmología*, Antesis 5 (2021), pp. 106-106.

²²⁵ Kant se refería a la “material original” con la que hubo estado formado el universo como *Urstoff* (cf. Kant, 1755; Watkins, 2015, p. 199).

celestes contenidos en él y hacerlo consonante con el suyo y, por lo tanto, con el de todos los demás, y después de que la atracción haya purificado todos los espacios antes mencionados y reunió toda la materia dispersa en bultos particulares los planetas, con los movimientos una vez impresos en ellos, deben continuar sus órbitas libremente y sin cambios en un espacio no resistente (Kant, 1755; Watkins, 2015, p. 227).

Vivimos en un universo que se expande y cambia, y que viene haciéndolo hace catorce mil millones de años. En ese tiempo se originó la materia tal como hoy la conocemos: primero, los núcleos atómicos; luego, los átomos; más tarde, los astros y las grandes estructuras; y luego los elementos químicos pesados, y la vida, y la razón. Pero el cosmos no siempre ha sido el que hoy es, no siempre contuvo todo lo que hoy contiene, no siempre ha sido enorme y casi vacío y frío y transparente. Cuando no había transcurrido aún un tercio de millón de años desde la gran explosión que le dio origen a todo (*¿ex nihilo?*), el universo era un caldo opaco que poco se parece al cosmos actual de las noches estrelladas. Era un plasma caliente en el que los átomos no lograban formarse aún debido a la gran agitación térmica: los núcleos, que sí ya se habían formado, no lograban capturar a los electrones en sus órbitas sin que el zamarreo de ese tumultuoso universo temprano terminara por arrancárselos de cuajo. No fue sino hasta que el universo tuvo 380.000 años de vida cuando la temperatura bajó lo suficiente como para que a los electrones les fuera posible quedar atrapados en torno a los núcleos y, así, formar finalmente átomos estables. Fue entonces cuando el universo se volvió transparente: al formarse los átomos, la luz dejó de interactuar con los electrones y quedó, así, liberada. Desde aquel momento, esa luz primitiva navega el cosmos libremente, llevando la imagen de aquella etapa del universo.

El universo continuó su expansión y, junto a esto, su temperatura siguió disminuyendo. Esa luz primitiva, libre navegante de un universo ya no opaco, fue cambiando su color conforme la expansión cósmica dilataba su longitud de onda; “se fue gastando”, dicen algunos. Hoy, esa luz se ha convertido en una tenue pero persistente radiación de microondas, una reliquia del universo temprano que llega a nuestro planeta proveniente de todas partes del cosmos, de todas las direcciones. Como un código en braille, esa luz, invisible al ojo humano, nos permite leer en su sutil rugosidad la entera historia del universo. Quedaron grabados en ese fondo de radiación las propiedades de un universo joven, un universo que era mucho más pequeño de lo que es hoy, y que tenía una densidad de energía tal que su gravedad forzaba al tiempo mismo a aletargar su marcha. La lectura de esas rugosidades en la “radiación cósmica de fondos de microondas” es la herramienta principal en la cosmología moderna; hace posible la magia de

observar lo que ya no es, lo que nos ha permitido conocer la historia del universo con detalle minucioso.

La predicción teórica de la existencia de la radiación cósmica de fondo data de la década de 1940, cuando Ralph Alpher y Robert Herman – e, independientemente, George Gamow– hicieron cálculos estimativos de la temperatura del universo – cálculos no tan desacertados si se considera que estaban basados en los rudimentarios datos cosmológicos de la época–. La detección experimental de esta radiación también data de los años 40 y se la atribuye a Andrew McKellar, pero no fue sino hasta 1964 cuando el fenómeno fue advertido concienzudamente: Arno Penzias y Robertson Wilson, mientras se encontraban trabajando en otra cosa, advirtieron desconcertados la presencia de una radiación persistente que llegaba a su antena y que parecía venir de todas las direcciones del cielo. Fue James Peebles, junto con tres colegas de la Universidad de Princeton – entre quienes se encontraba Robert Dicke–, quien dio la interpretación correcta para la radiación que Penzias y Wilson estaban detectando: la radiación medida por ellos no era sino la reliquia cósmica de la que hablamos, la luz proveniente de los orígenes del cosmos, *relictus* de la gran explosión.

La imagen de un universo que tuvo un origen y cuya forma es gobernada por la presencia de los cuerpos en él termina por desterrar definitivamente la idea de un espacio absoluto. Aunque la concepción de un entramado espaciotemporal dinámico y propagante podría llevarnos a pensar en él como algo substancial, el hecho de que tal imagen se encuadre dentro de una teoría relativista, en la que ni los lapsos ni las distancias ni la simultaneidad son absolutas, aleja cada vez más la posibilidad de concebir un espacio absoluto en el marco de la física moderna.

Las contrapartes incongruentes y la pregunta por la quiralidad en la física (diressio)

La cuestión del espacio absoluto, como discutimos en la Primera Parte de este trabajo, se encuentra vinculada al problema kantiano de las contrapartes incongruentes. En 1768, Kant considera el problema de la determinación de la diferencia ontológica entre cuerpos quirales – *i.e.* cuerpos que son uno la imagen especular del otro aun siendo distintos entre sí– como argumento a favor de la existencia de un espacio absoluto en el que pudiera anclar tal diferencia. Esto se relaciona con una pregunta muy profunda: ¿existe una diferencia real entre derecha e izquierda?, ¿hay algo así como una naturaleza intrínseca de lo diestro y lo zurdo, de lo dextrógiro y lo levógiro? La convicción de la inexistencia de esa distinción intrínseca es lo que se encuentra en la raíz del argumento kantiano del espacio absoluto en relación con las direcciones en el espacio (*cf.* Kant, 1768).

Acerca de esta pregunta por la quiralidad intrínseca de los cuerpos, cabe atender a lo que la física actual tiene para decir al respecto: la investigación física del siglo XX nos ha enseñado que, en efecto, existe una sutil pero perceptible asimetría entre las quiralidades derecha e izquierda en el universo. En otras palabras, la derecha y la izquierda son inherentemente distintas. Esto arroja el problema kantiano de las contrapartes incongruentes a la arena de lo empírico, o, si se prefiere, sitúa la pregunta sobre el intrinsicalismo sobre la mesa del laboratorio. La fuerza electrodébil, una de las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza, la más sutil de las fuerzas nucleares, ha mostrado discriminar entre procesos físicos en los que intervienen partículas elementales de una quiralidad o de la opuesta²²⁶ (Lee *et al.*, 1956). En otras palabras, la derecha y la izquierda no son iguales en el mundo subatómico. Circa 1956, la física Chien-Shiung Wu observó experimentalmente la asimetría ante paridad – *i.e.* la asimetría ante la inversión especular del fenómeno observado– en procesos de descomposición β que involucraban átomos de cobalto 60.

Lo que Wu mostraba en su laboratorio era que los procesos físicos que ocurren del otro lado del espejo no satisfacen las mismas leyes que rigen nuestro mundo. Al comienzo esto se interpretó, no cómo una asimetría intrínseca entre izquierda y derecha, sino como una combinación entre una asimetría tal y la asimetría que existe entre la materia y la antimateria en nuestro mundo; es decir, se creyó por un tiempo que la materia dextrógira se comportaría siempre exactamente igual que la antimateria levógira y viceversa. Sin embargo, pocos años más tarde, en 1964, James Cronin y Val Fitch reportaron los primeros experimentos que dejaban en evidencia que la naturaleza es, en efecto, asimétrica ante el intercambio de lo dextrógiro por lo levógiro, independientemente de la conjugación entre materia y antimateria.

²²⁶ En este punto, para evitar confusiones, es necesario diferenciar entre una asimetría ante quiralidad en la naturaleza que sea inmanente, como la que ocurre en ciertas reacciones nucleares, y una que sea contingente, como las que ocurren en la química. En este último caso, a diferencia del caso de las reacciones nucleares, en las que interviene la fuerza electrodébil, la fuerza dominante es la electromagnética, que es la que gobierna el mundo molecular. Así, si bien es cierto que las moléculas pueden tener una cierta quiralidad y sus propiedades químicas depender de la misma, no se trata de una asimetría inmanente de la naturaleza; se debe a la combinación entre moléculas de una dada quiralidad relativa. En otras palabras, en la química, si uno invierte la quiralidad de todas las moléculas intervinientes el resultado es el mismo, y solo hay una diferencia cuando la quiralidad relativa es alterada. Las propiedades quirales en la química tiene una larga historia, cuya revisión hace imposible evitar el nombre de Jacobus Henry van 't Hoff, el primer científico en ganar el premio Nobel de química. Abundan los ejemplos de la importancia que la quiralidad tiene en la química orgánica y, más específicamente, en la química biológica es fundamental. Esto se debe a la naturaleza quiral de las moléculas involucradas. Aun así, la de la química es una asimetría entre derecha e izquierda que es contingente, y no es una asimetría propia de las leyes de la naturaleza. En el caso de la fuerza electrodébil, en contraste, se trata de una asimetría entre derecha e izquierda que sí se da al nivel de aquellas leyes que, hasta el momento, consideramos fundamentales.

La medición precisa de los procesos de descomposición de las partículas denominadas *kaones neutros* arrojó como resultado que la naturaleza es inherentemente asimétrica ante el intercambio de la derecha por la izquierda. Uno de los físicos más importantes del siglo XX supo ilustrar esta verdad de la física empleando un ejemplo que, como el de Kant, involucraba un apretón de una mano derecha y una izquierda.

Esto muestra que el argumento kantiano de las contrapartes incongruentes encuentra sus limitaciones en el mundo microscópico, y, por extensión, también en el mundo macroscópico, ya que este último no es sino la majestuosa composición de aquellas partículas que, aunque sutilmente, no dudan en distinguir entre derecha e izquierda sin necesitar de un espacio absoluto para ello²²⁷.

La pregunta por la posibilidad física de las distintas dimensionalidades del espacio

Así como la física contemporánea ofrece una nueva perspectiva de la estructura dinámica del espacio-tiempo y de otros aspectos relacionados con el espacio, como el problema de la quiralidad, esta también ofrece un enfoque para tratar otras cuestiones, tales como la contingencia o necesidad de la dimensionalidad del espacio. El contenido metafísico del primer libro de Kant parte de la pregunta por la necesidad de la tridimensionalidad del espacio, y en su intento por responderla Kant vincula la tridimensionalidad del espacio con las fuerzas de la naturaleza. Esa es, quizá, la más potente de todas las ideas de la física kantiana, y ciertamente la más moderna de ellas.

La historia de la idea de un espacio con más de tres dimensiones en el marco de la física es inescindible de la cuestión de la unificación de las leyes de la naturaleza. Es en el contexto de la búsqueda de una formulación unificada de las fuerzas fundamentales de la naturaleza que aparece la idea de dimensiones extra – *i.e.* la idea de que podrían existir en el universo más que

²²⁷ Cabe aún la pregunta de si no podría el espacio microscópico ser distinto al macroscópico, de forma tal que aquellas conclusiones que uno pudiera derivar de la física de partículas nada tuvieran que ver con el mundo de nuestras escalas. Así podría argüir, pues, un pluralista teórico. Esta escisión entre el mundo microscópico y el macroscópico iría en contra de la universalidad de las leyes planteada por la física kantiana, e iría también en contra del espíritu reduccionista que reina en la física contemporánea y que tan lejos nos ha llevado en la empresa de buscar una descripción unificada de la naturaleza. Podemos responder a esa pregunta de la siguiente manera: la misma fuerza nuclear débil que lleva a la asimetría entre izquierda y derecha en la física de partículas es la que se encuentra detrás de fenómenos macroscópicos como la emisión de luz en el sol, o incluso en la actividad tectónica en las entrañas de nuestro planeta. Podemos decir, entonces, que, aunque débil, la fuerza nuclear “mueve montañas”. También comprobamos indirectamente la asimetría entre izquierda y derecha – aunque de una naturaleza ligeramente distinta– cuando observamos un universo inmenso en el que la materia es más abundante que la antimateria. Las evidencias de esa asimetría entre lo levógiro y lo dextrógiro se expresa también en nuestro mundo macroscópico como tímida amplificación de aquellos procesos subatómicos.

estas tres dimensiones espaciales que percibimos—. Es un hecho notable que la formulación matemática de las leyes físicas se vuelve mucho más armónica si uno supone que el espacio tiene más de tres dimensiones. Fue así que en el siglo XX surgió la idea de la existencia de más dimensiones como una parsimoniosa “mejor explicación” de la naturaleza. Esto parecería mostrar un camino hacia la realización de un secreto deseo de Kant: encontrar una razón para la *necesidad* para el número de dimensiones del espacio.

Fue quizá Gunnar Nordström el primero en formular una teoría en la que una dimensión adicional del espacio – una cuarta dimensión– venía a resolver los problemas de compatibilidad de distintas teorías físicas. En 1914, un año antes de la teoría general de la relatividad, Nordström propuso una teoría para la fuerza gravitatoria que, recurriendo a una cuarta dimensión del espacio (*i.e.* una quinta dimensión del espacio-tiempo), cumplía con amalgamar la teoría de la gravedad con la teoría especial de la relatividad que Einstein había descubierto en 1905. La relatividad especial había ya mostrado ser la manera adecuada de entender la cinemática y la dinámica, haciendo a estas compatibles con la teoría electromagnética de Maxwell. Nordström intentaba incluir la teoría gravitatoria en ese mismo marco teórico; no obstante, no fue capaz de advertir que la descripción correcta de la teoría gravitatoria habría de ser una muy diferente a la que él estaba proponiendo. La teoría pentadimensional de Nordström (1914), aunque resultaba compatible con la teoría *especial* de la relatividad (1905), no coincidía con la teoría *general* de la relatividad (1915), que fue superadora, por lo que la teoría de Nordström fue prontamente descartada.

La idea de las dimensiones extra en el marco de la teoría general de la relatividad aparecería recién unos años después: en abril de 1919, el físico-matemático alemán Theodor Kaluza advirtió que, al escribir las ecuaciones de la gravedad de Einstein en un espacio-tiempo 5-dimensional, las mismas devenían ecuaciones de gravedad de Einstein suplementadas con lo que parecía ser las ecuaciones del electromagnetismo de Maxwell. En otras palabras, Kaluza encontraba que un universo con un espacio-tiempo 5-dimensional en el que solo hay gravedad puede descomponerse e interpretarse como un espacio-tiempo 4-dimensional en el que hay tanto gravedad como electromagnetismo²²⁸. Las implicancias de la teoría de Kaluza son

²²⁸ Esta idea de pensar al electromagnetismo del espacio-tiempo 4-dimensional como pura gravedad de un espacio-tiempo 5-dimensional venía, también, a cumplir otro aspecto que se esperaba que una teoría unificada de las fuerzas de la naturaleza tuviera: su naturaleza geométrica. Así como la teoría general de la relatividad había mostrado que la fuerza gravitatoria podía pensarse como la geometría del espacio, y dado el éxito de tal idea, no fueron pocos los que, como Einstein, comenzaron a pensar en que también la fuerza electromagnética debía encajar de alguna manera en la geometría del espacio. Esto no es solo encontrar en las ecuaciones del electromagnetismo una interpretación geométrica en términos abstractos, sino mucho más: es entender al

asombrosas: nosotros somos seres en un espacio-tiempo 4-dimensional (3 dimensiones espaciales y 1 dimensión temporal) en el que existe tanto la fuerza gravitatoria como la fuerza electromagnética, y lo que Kaluza descubría era que un universo tal puede ser pensado como un universo con una dimensión adicional (5-dimensional) en el que solo existe fuerza gravitatoria; como si la fuerza electromagnética que experimentamos en nuestro mundo no fuera sino la proyección, o la sombra, de una gravedad que va más allá de nuestras 4 dimensiones. En otros términos: si el espacio tuviera una cuarta dimensión entonces la fuerza gravitatoria y la fuerza electromagnética serían lo mismo, estarían *unificadas*.

Kaluza participó de su descubrimiento a Einstein, a quien le escribió para informarle de los detalles de su curioso resultado. Einstein le aconsejó publicarlo²²⁹, y Kaluza así lo hizo: preparó un artículo titulado *Zum Unitätsproblem der Physik* [sobre el problema de la unificación en la física] que se publicaría poco más tarde, en 1921, en *Sitzungsberichte Preußische Akademie der Wissenschaften*, los informes de la Academia Prusiana de Ciencias. El artículo estuvo patrocinado por el mismo Einstein.

El hallazgo de Kaluza vino a iniciar una apasionante búsqueda por la unificación de las leyes que gobiernan las diferentes fuerzas de la naturaleza basándose en la tan sencilla como osada idea de que podrían existir más dimensiones en el universo. Y si bien Kaluza no fue el primero en pensar en la gravedad en más dimensiones, algo que podemos reconocerle a Nordström, la forma en la que Kaluza concibió esta idea es la que se emplea hoy, *mutatis mutandis*, en las modernas teorías físicas como la teoría de supercuerdas.

Ahora bien, queda aún por responder una pregunta ineludible: si hay más dimensiones, ¿dónde están? ¿Por qué no nos es posible viajar en ellas tal como lo hiciera Plattner, el personaje del cuento de H. G. Wells? Es una verdad evidente que podemos movernos en la dimensión *x*, yendo de derecha a izquierda; en la dimensión *y*, yendo de adelante hacia atrás;

electromagnetismo y a las otras fuerzas de la naturaleza como una cualidad geométrica del espacio-tiempo, tal como la gravedad representa la curvatura de este. Ese programa de unificación de las fuerzas fundamentales a partir de la geometrización de las mismas es lo que se conoce como la búsqueda de una teoría del campo unificado, una empresa a la que Einstein dedicó gran parte de su investigación hasta el día de su muerte. Muchos acompañaron en Einstein esa búsqueda: Bruria Kaufman y Ernst Straus se encuentran entre sus colaboradores. También otros que se embarcaron en esa búsqueda fueron Eisenhart, Hlavatý, Lichnerowicz, Santaló, Schrödinger, Tonnelat, Winogradzki, entre muchos otros. Hoy en día, la búsqueda de estructuras geométricas que permitan acomodar a la gravedad junto a otras fuerzas fundamentales en un marco unificado continúa, y lo hace con un espíritu que no difiere tanto de aquel del siglo XX. La llamada “teoría doble de campos” y la “geometría generalizada” pueden bien considerarse herederas naturales de aquel programa einsteniano de unificación.

²²⁹ El entusiasmo de Einstein con la teoría pentadimensional de Kaluza fue oscilante. Trabajó en ella durante varios años y en diversos períodos; en los años veinte, los treinta y los cuarenta. Su primera reacción ante ella fue, e efecto, positiva; escribió a Kaluza lo siguiente: “La idea de conseguir [una teoría unificada] por medio de un mundo cilíndrico de cinco dimensiones nunca se me ocurrió... A primera vista me gusta su idea enormemente”.

en la dirección z , yendo de arriba hacia abajo; pero, ¿por qué no puedo moverme en una cuarta dimensión w si es que esta existe? La respuesta a esta pregunta la daría Oskar Klein en 1926. Klein suplementó la idea de Kaluza proporcionando el mecanismo mediante el cual la dimensión extra w podría ser inobservable – al menos para nosotros—. Esto, aunque suele omitirse, está vinculado con la mecánica cuántica: Klein advirtió que si la dimensión extra w imaginada por Kaluza fuera “periódica”²³⁰, el problema estaría resuelto: si fuera posible que, al viajar en esa dirección extra, uno retornase al punto de partida luego de andar un pequeñísimo tramo, entonces esa dimensión sería imperceptible. Esto se debe a que las leyes de la mecánica cuántica vinculan la posición de las partículas con la cantidad de movimiento que estas llevan, lo que se encuentra detrás del famoso principio de indeterminación de Heisenberg²³¹. Debido a esta relación entre posición y cantidad de movimiento, una partícula necesitaría una energía mínima para poder viajar en una dimensión que fuera cíclica, o periódica. Solo partículas elementales que tuvieran muchísima energía podrían alcanzar esa mínima velocidad y así lograr explorar esa dirección compacta w , mientras que las partículas que forman nuestros cuerpos, de energía más baja, tendrían vedada tal excursión. Solo las tres dimensiones espaciales nos son permitidas a nosotros, siendo que las dimensiones adicionales serían solo posibles para cuerpos que se movieran a velocidades extremadamente altas. Klein resolvía así el problema de la inobservabilidad de la cuarta dimensión de Kaluza, y es esa la razón por la que hoy en día la teoría se conoce como “teoría de Kaluza-Klein”.

²³⁰ En las tres dimensiones, x , y , z , hay un adelante y un atrás, hay una derecha y una izquierda, hay un arriba y un abajo. En la cuarta dimensión hay, además, un “*ana*” y un “*kata*”. Fue Charles Hinton quien propuso esta nomenclatura, que toma del griego. Ahora bien, que la cuarta dimensión sea “periódica” significa que viajando en un sentido en ella (por ejemplo, hacia *kata*) se pueda regresar al punto de partida. Si una dimensión, por ejemplo, la cuarta dimensión w tiene esta naturaleza “cíclica”, que equivale a decir que tiene la topología de un círculo, entonces se dice de ella que es “periódica”, “cíclica” o “compacta”: Su *ana* y su *kata* se encuentran conectados.

²³¹ Este es un tema que requiere cierto cuidado: el principio de indeterminación de Werner Heisenberg establece que la indeterminación en la posición de una partícula, Δx , se relaciona con la indeterminación en la cantidad de movimiento de la misma partícula, Δp , mediante la fórmula $\Delta x \Delta p \geq h/(4\pi)$, donde h es la constante de Planck. Si bien el principio de indeterminación (o incertidumbre) de Heisenberg no aplica en el caso en el que una de las coordenadas es periódica de igual manera a como aplica en el caso de una dirección espacial no-compacta (es fácil entender que la incerteza Δx en la posición en una coordenada periódica no puede exceder el tamaño L de la misma), la razón por la que la cantidad de movimiento (el impulso lineal) está relacionado con la inversa de la longitud de la coordenada periódica es la relación de Fourier entre posición e impulso, relación que también se encuentra detrás del principio de indeterminación. Solo ciertos valores de la cantidad de movimiento (llamemos a estos p_N) son posibles en la dirección de la dimensión compacta x . Se da la relación $p_N = N h/L$ donde N es un número entero arbitrario ($N=0, 1, 2, 3, 4, \dots$), siendo $p_1 = h/L$ el mínimo impulso requerido (el umbral de la cantidad de movimiento) para viajar en la dirección de una dimensión compacta; L es la longitud (el período) de tal dirección compacta. Vemos de esto que, cuando menor sea la longitud de la dimensión compacta, L , mayor será la mínima cantidad de movimiento requerida para poder viajar en ella, p_1 .

Notemos que esta imposibilidad de observar la cuarta dimensión espacial debido a la baja energía de las partículas que forman nuestros cuerpos para viajar en ella no implica que esa cuarta dimensión pertenezca a “otro mundo” en el sentido en el que Kant le daba a tal idea. De igual manera a como lo entendía Kant, la física contemporánea entiende la idea de “otro mundo” como un universo completamente desconectado del nuestro, de forma que ningún fenómeno de nuestro mundo puede estar asociado a ese “otro”. En el caso de la cuarta dimensión, esa inaccesibilidad es meramente contingente, en cuanto sería en principio posible alcanzar las energías suficientes como para que haya alguna expresión fenoménica de esa cuarta dimensión. Es así que hay proyectos experimentales destinados a encontrar evidencias de la existencia de dimensiones extra en aceleradores de partículas. En este sentido, la cuarta dimensión de las teorías à la Kaluza-Klein son parte de “nuestro mundo”.

Einstein recibió la teoría de Kaluza sobre la dimensión extra con entusiasmo, e incluso investigó sobre ella. Entre 1938 y 1941, junto sus colaboradores Peter Bergmann y Valentine Bargmann, Einstein trabajó en la teoría de Kaluza con la intención de considerar la existencia de la dimensión extra muy seriamente, tratándola como una verdadera dimensión física y no como un mero artilugio matemático

[A]tribuimos realidad física a la quinta dimensión, mientras que en la teoría de Kaluza esta quinta dimensión se introdujo solo para poder obtener nuevos componentes del tensor métrico que representen el campo electromagnético. (Bergmann *et al.*, 1938, p. 683; *cf.* Bargmann *et al.*, 1941).

En 1943, junto al reconocido físico Wolfgang Pauli²³², Einstein escribió un artículo en el que investiga cómo se extenderían en la dimensión extra aquellos astros que generan gravedad en nuestro mundo (Einstein *et al.*, 1943). Pero los trabajos de Einstein del período 1938-1943 no fueron los únicos que el genio dedicó a la idea de las dimensiones extra. Antes había ya considerado la idea en su colaboración con Walther Mayer. Mayer fue un matemático austriaco que colaboró con Einstein durante varios años; primero en Alemania y, luego de 1933, en Princeton, donde trabajó hasta su muerte en 1948. La larga colaboración entre ellos le valió a Mayer el apodo de “la calculadora de Einstein”²³³. Entre 1930 y 1934, Mayer y Einstein

²³² Wolfgang Pauli (1900-1958) recibió el premio Nobel de física en 1945 por la formulación del llamado “principio de exclusión”, que da cuenta de cómo se distribuyen conjuntamente las partículas que pertenecen a la familia de los *fermiones*. Fue Albert Einstein quien postuló a Pauli al premio Nobel.

²³³ El apodo de “la calculadora de Einstein” no le hace honor al mérito científico de Mayer ya que él ya se había asegurado la fama por su propia cuenta: es el mismo Mayer que le da el nombre a la secuencia de Mayer-Vietoris, un importante resultado de topología algebraica.

mantuvieron una cercana y muy productiva colaboración que resultó en una gran cantidad de artículos escritos en coautoría. El tema que los ocupaba era la formulación de una teoría unificada del campo gravitatorio y del campo electromagnético. Alguna de las tentativas que exploraron hacia 1931 fue, tal como lo hiciera Kaluza diez años antes, extender el número de dimensiones del espacio-tiempo a 5 (4 dimensiones temporales y 1 dimensión temporal). En palabras de Einstein y Mayer, se trataba de “[desarrollar] una teoría unificada de la gravitación y la electricidad, que tiene muchos puntos de contacto con la teoría de cinco dimensiones de Kaluza (...) Pero evita la suposición inapropiada de un continuo de cinco dimensiones que no puede interpretarse físicamente”. Las ideas de Einstein sobre la quinta dimensión del espacio-tiempo (*i.e.* la cuarta dimensión del espacio) era más radical que la de Kaluza, en cuanto el esfuerzo de Einstein se dirigía a considerar la dimensión adicional como una dimensión *real*, con la que se establecía cierto compromiso ontológico y dejaba de pensarse como mero artilugio matemático para organizar las ecuaciones “como si” otra dimensión estuviera allí (Einstein *et al.*, 1923, Einstein *et al.*, 1931; Bergmann *et al.*, 1938; Bargmann *et al.*, 1941, Einstein *et al.*, 1943; *cf.* Vizgin, 1994; Groenner, 2004).

En la década de 1980, luego de la formulación de la teoría física conocida como “supergravedad” y de la reinterpretación de la teoría de cuerdas (de la que hablaremos más adelante) como una teoría de las interacciones fundamentales, la idea de las dimensiones extra adquirió un interés renovado. Tanto es así que, hoy en día, la teoría de Kaluza-Klein es parte esencial de cómo entendemos la física de altas energías. Una de las predicciones de la teoría de supercuerdas es, precisamente, que el espacio-tiempo tiene 6 (o acaso 7) dimensiones más que las 3 dimensiones espaciales y la única dimensión temporal que vivenciamos. Es así como, a cien años de la idea seminal que diera origen a la empresa de vincular la existencia de dimensiones extra con la unificación de las leyes de la naturaleza, los nombres de Kaluza y Klein aparecen a diario en el farfullar constante frente a nuestros pizarrones en la universidad. La teoría de Kaluza-Klein permite entender la masa de las partículas en términos del movimiento que estas adquieren en las dimensiones extra, y también permite entender la razón por la que la carga eléctrica de las partículas corresponde a múltiplos enteros de una unidad de carga fundamental²³⁴. Se trata, sin lugar a dudas, de una de las ideas más maravillosas de la ciencia: la belleza que las leyes físicas exhiben bajo la hipótesis de que existen en el universo

²³⁴ La hipótesis de una cuarta dimensión también permite entender otros aspectos de las teorías físicas; por ejemplo, explica cómo la llamada simetría de *gauge*, propiedad matemática esencial de las teorías cuánticas de campos, surge de la libertad ante cambio de coordenadas en ese mundo 5-dimensional.

más dimensiones llega a convencernos de que, tal como lo intuyera Kant, esas dimensiones acaso hayan sido realizadas en alguna parte.

La pregunta por la necesidad de la dimensionalidad del espacio en la física actual

Es importante distinguir la *posibilidad* de existencia de dimensiones extra en el marco de la física contemporánea con la *necesidad* de tal existencia. La posibilidad de que el espacio tenga más de 3 dimensiones, algo que, como discutimos arriba, los físicos teóricos comenzaron a considerar seriamente ya en la primera mitad del siglo XX, no necesariamente implica que las dimensiones adicionales sean *necesarias* para la validez de las leyes físicas. El descubrimiento de la existencia de dimensiones adicionales como una *necesidad*, al menos en cierto marco teórico, fue una de las sorpresas que trajo aparejadas la denominada “teoría de supercuerdas”.

La teoría de supercuerdas propone que toda la materia y todas las fuerzas entre la materia no estarán constituidas de partículas elementales, tal como lo dice el modelo estándar de física de partículas, sino que están constituidas por pequeñas *cuerdas*. Las cuerdas serían objetos unidimensionales de una longitud extremadamente pequeña que surcan el espacio vibrando a distintas frecuencias. Cada modo de vibración de una cuerda, *i.e.* cada frecuencia a la que una de ellas vibra, representa una partícula diferente. Así, todas las partículas que creemos inherentemente distintas, como el *electrón*, el *muón* o el *tauón*, no serían sino distintas formas de oscilar y moverse del mismo objeto fundamental: la cuerda. Es por esto que suele afirmarse que la teoría de supercuerdas es el paso más grande que hemos dado hacia una descripción unificada de la naturaleza; se trata de un paso de la inmanencia a la contingencia: en esta teoría, todas las especies de partículas elementales no son sino diferentes estados del mismo tipo de ente fundamental; toda la materia y todas las fuerzas están constituidas de cuerdas. Las cuerdas no tienen espesor; no es que sean *muy* delgadas sino *infinitamente* delgadas; no es que estén constituidas de elementos aún más pequeños, sino que las cuerdas fundamentales son el menor elemento que lo constituye todo, incluso a ellas mismas que, libres de dividirse en más cuerdas, surcan el espacio en una danza que es composición de todo lo que vemos; y son, a su vez, la razón por la que lo vemos (Giribet *et al.*, 2019). En este sentido, la teoría de cuerdas comparte mucho con aquella monadología física que Kant ensayara hacia 1756, en la que los constituyentes últimos de la materia tenían una extensión finita y, aun así, eran irreducibles. Las cuerdas no constan de pluralidad de partes. Cada cuerpo consta de partes primitivas irreducibles absolutamente simples, *i.e.* las cuerdas.

Reemplazar la hipótesis de que la materia está compuesta por partículas por la hipótesis de que, en realidad, está compuesta por pequeños cordeles puede parecer una hipótesis *ad hoc*. Si

bien la pequeñísima longitud de las cuerdas bien explicaría el hecho de que, hasta el momento, los experimentos se han comportado como si la materia estuviera formada por partículas puntuales, no queda claro – más allá del carácter unificador que ya mencionamos arriba– por qué sería natural considerar que esos constituyentes últimos de la materia tuvieran extensión. Podemos explicar la razón para ello de la siguiente manera: si bien la hipótesis de que tanto la materia como las fuerzas²³⁵ entre la materia están compuestas por partículas ha resultado exitosa en cuanto logra explicar perfectamente todos los experimentos realizados en los aceleradores de partículas hasta la fecha, esa misma hipótesis fracasa rotundamente al intentar explicar en los mismos términos la fuerza gravitatoria. Ya dijimos que, desde Einstein, la fuerza gravitatoria es entendida de una manera especial: se entiende en términos de la geometría del mismísimo espacio-tiempo. Al intentar entender ese oscilar propagante del espacio-tiempo en términos de partículas, las ecuaciones arrojan resultados matemáticamente inconsistentes; en los cálculos aparecen infinitos indomables que terminan por convencernos de que la teoría no tiene sentido. No es difícil rastrear el origen de esos infinitos persiguiéndolos a través de la maraña de ecuaciones de la teoría. Así, uno halla que la razón fundamental de esas aberraciones matemáticas reside en la hipótesis de partida: las partículas son *infinitamente* pequeñas. La llamada teoría de supercuerdas logra evitar ese inconveniente proponiendo que, en lugar de partículas, los constituyentes basales de todo cuanto existen son pequeñísimos cordeles. Esta hipótesis alcanza para que la teoría gravitatoria de Einstein se vuelva compatible y los infinitos finalmente desaparezcan.

Ahora bien, no hemos dicho aún qué tiene esto que ver con la dimensionalidad del espacio: fue el físico británico Claud Lovelace, nacido en Londres en 1934, quien hacia fines de la década del 1960 advirtió que, cuando uno tiene en cuenta la mecánica cuántica, la hipótesis de que la materia está formada por cuerdas requiere, por consistencia, que el espacio-tiempo tenga más dimensiones. Ese número, según advirtió originalmente Lovelace, ha de ser un número preciso: 26. Más precisamente, deben existir 25 dimensiones espaciales y 1 dimensión temporal. Desarrollos teóricos ulteriores²³⁶ llevaron de la teoría de cuerdas a la teoría de

²³⁵ Las fuerzas entre las partículas que componen la materia también se transmite mediante el intercambio de partículas.

²³⁶ Esos desarrollos teóricos vinieron por la necesidad de eliminar de las ecuaciones de la teoría de cuerdas unas extrañas partículas que ellas predecía. Se trata de los temibles *taquiones*, *i.e.* partículas de masa imaginaria que resultan inconsistentes para explicar la naturaleza. Si la teoría tenía chances de describir los fenómenos observados en la realidad, debía eliminar la existencia del *taquión* de entre sus predicciones. Eso se logró incorporando en la teoría lo que se conoce como “supersimetría” (de ahí el prefijo en el nombre “supercuerda”). La supersimetría es una hipótesis adicional, que sugiere que las familias de partículas vienen, por decirlo de alguna manera, duplicadas; que para cada partícula existe un alter ego denominado “par supersimétrico”. Incorporar la hipótesis

supercuerdas, y se entendió entonces que, en realidad, las dimensiones del espacio predichas por la teoría no serían $25 + 1 = 26$ sino solo $9 + 1 = 10$. Es decir, la teoría de supercuerdas predice que el espacio debe tener 6 dimensiones extra, además que las 3 dimensiones espaciales que nosotros vivenciamos más el tiempo. Si Kaluza había mostrado que con una dimensión extra alcanzaba para unificar la fuerza electromagnética con la fuerza gravitacional, 6 parece ser el número de dimensiones necesario para incorporar, además, las otras fuerzas de la naturaleza²³⁷. Ya había explicado Klein en 1926 cómo es posible entender que esas dimensiones extra (en este caso 6 de ellas) existan, aunque no se observen: serían estas compactas, que es decir de topología periódica; *i.e.* viajando en ellas se regresa al mismo punto de partida. Como dijimos, la mecánica cuántica explica que para que la materia pueda *viajar* en una dirección de tal naturaleza periódica – siempre que esa periodicidad se dé en distancias muy pequeñas– entonces le sería necesario a las partículas que componen esa materia alcanzar velocidades enormes, mucho más altas que las que son alcanzadas por las partículas en los experimentos actuales. Según la teoría, a esto se debería que el mundo nos haya parecido tridimensional hasta el momento: las partículas de las que estamos hechos no tienen tanta energía como para explorar las dimensiones extra. Si pudiésemos alcanzar alguna vez velocidades y energías muy elevadas, entonces el espacio que hasta ahora hemos vivenciado tridimensional comenzaría a mostrar su verdadera naturaleza y se nos presentaría multidimensional. Esta es una idea asombrosa a la que le cabría el adjetivo de fantástica si no fuera porque es en el terreno de la física teórica donde aparece. Por otro lado, se trata de la realización de la empresa kantiana: encontrar una razón para la *necesidad* de un número específico de dimensiones del espacio. La respuesta no es 3, sino 6, lo que puede parecernos extraño²³⁸. Pero Klein explicó que esto no es un inconveniente si esas 6 adicionales son

de supersimetría en la teoría de cuerdas da origen a la teoría de supercuerdas, que predice que el número de dimensiones espaciotemporales es $10=9+1$, siendo 9 de esas dimensiones de naturaleza “espacial” mientras que solo 1 de ellas es de naturaleza “temporal”, el tiempo.

²³⁷ La idea de extender la cantidad de dimensiones extra de una a seis o siete, generalizando de esa manera la teoría de Kaluza, se consideró independientemente de la teoría de cuerdas. Otras teorías de campos, como la supergravedad 11-dimensional, fueron consideradas como promisorias para unificar las fuerzas fundamentales a la Kaluza pero incorporando no solo la fuerza electromagnética sino también las fuerzas nucleares que, tal como aprendimos a lo largo del siglo XX, también forman parte del concierto de fuerzas fundamentales de la naturaleza. Lo que la teoría de cuerdas logra, sin embargo, es mucho más: no solo permite la existencia de teorías con dimensiones extra, sino que las exige. En el contexto de la teoría de cuerdas la existencia de dimensiones adicionales es una necesidad.

²³⁸ Advertimos ya que, aunque la conexión entre las ideas de la física teórica actual y la genial intuición de Kant acerca de la estructura del espacio es innegable, es importante evitar hipérboles innecesarias. Hacer lecturas *ad hoc* de la obra kantiana que cumplan con exagerar la relación de las ideas precríticas con las de la física contemporánea se trata de un error. En su entrada en la *Stanford Encyclopedia of Philosophy* sobre *Kant's*

dimensiones que, en lugar de extenderse indefinidamente como lo hacen nuestros ejes cartesianos x , y , z , cumplen con formar pequeños ciclos²³⁹.

La dimensionalidad del espacio, la hipótesis de muchos mundos y el principio antrópico

La teoría de supercuerdas predice la decadimensionalidad del mundo microscópico. De esas 10 dimensiones, solo una es el tiempo, siendo que las otras 9 son dimensiones espaciales. Luego, esas 9 dimensiones espaciales se descomponen en las 3 dimensiones cartesianas que vivenciamos cotidianamente y 6 dimensiones adicionales²⁴⁰, que corresponderían a pequeñísimos bucles periódicos. Ahora bien, esto nos lleva a las siguientes preguntas: ¿cuál es la razón por la que 6 de las 9 dimensiones del espacio son compactas mientras 3 de ellas son no-compactas? ¿Qué tiene la partición 3+6 de especial?; ¿por qué no particionar esas 9 dimensiones espaciales en 4+5 o en 2+7 o incluso en 9+0? ¿Por qué no hay también una cuarta dimensión que sea no-compacta? Una respuesta a estas preguntas viene dada por el llamado “principio antrópico”, un principio que vincula la hipótesis de muchos mundos con el problema de la contingencia de las formas del espacio según la teoría de supercuerdas. Siguiendo una exposición que ya hicimos de él en trabajos anteriores (*cf.* Giribet *et al.*, 2019), podemos explicar el principio antrópico de la siguiente manera: comencemos diciendo, pues, que si bien la teoría de supercuerdas resulta “única” debido a que su formulación matemática demanda que las piezas encajen de forma milimétricamente precisa, no ocurre lo mismo con sus soluciones. Es decir, aunque la teoría es única, admite muchas soluciones a sus ecuaciones. La pregunta relevante es, entonces, cuántas de esas cobran sentido físico: ¿cuántas de las soluciones a las ecuaciones de la teoría de supercuerdas describen un universo que tenga la forma del nuestro? Preguntas relacionadas son, por ejemplo, ¿cuántas soluciones de la teoría de supercuerdas representan seis dimensiones espaciales compactas y tres dimensiones no-compactas tal como

philosophical development, Schönfeld y Thompson (2019) incurren en ese tipo de error al afirmar la relación entre las “esferas de acción” [*sphaera activatis*] que Kant propone en su *Monadología física* (1756) y la estructura granular del espacio que las teorías cuánticas de la gravedad (*e.g.* la teoría de supercuerdas, la llamada teoría M, entre otras) proponen. Llega a sugerirse una relación entre la *sphaera activatis* y las geometrías 6-dimensionales del tipo Calabi-Yau que se consideran en el contexto de la teoría de cuerdas, lo que no tiene fundamento alguno y no vale más allá de una vaga analogía.

²³⁹ Las dimensiones adicionales se dicen “compactas”, que equivale a llamarlas “cíclicas” o “periódicas”. Esto significa que tienen una topología inusual: son una dirección en la que, luego de transitar una dada distancia L , se regresa al punto de partida. Podemos pensar en ellas como si la realidad en ellas fuera la de un fenaquistiscopio.

²⁴⁰ En el caso de la teoría de cuerdas, esas dimensiones extra serían 6, y su *forma* estaría gobernada por las ecuaciones de la teoría y por los requerimientos de que la fenomenología inducida sobre nuestro espacio-tiempo 4-dimensional sea compatible con nuestros experimentos. Eso lleva a que, en los escenarios más naturales, las dimensiones extra sean geometrías 6-dimensionales compactas del tipo denominado Calabi-Yau.

observamos a nuestro alrededor? O también, ¿cuántas soluciones de la teoría son estables? Acerca de lo último, cabe señalar que muchas de las soluciones de la teoría de supercuerdas son inestables, en el sentido de que ante la mínima perturbación de la configuración se desarman para dar lugar a soluciones totalmente diferentes; como un lápiz puesto en pie sobre su afilada punta, una configuración ciertamente posible, pero de existencia fugaz. Entonces, de entre todas las soluciones estables que la teoría permite, ¿hay alguna que describa los fenómenos observados en la naturaleza? Y si la respuesta a esta pregunta fuera afirmativa, ¿cuántos otros universos posibles existen y por qué no se manifiestan? ¿Qué tiene nuestro universo de especial? ¿Por qué de entre tantas soluciones que las ecuaciones de la teoría admiten ocurre solo este universo?

Sobre esto, Edward Witten, acaso el físico teórico más importante de las últimas décadas del siglo XX, expresó:

Desafortunadamente, ha sido muy difícil encontrar una explicación natural convencional de los problemas de jerarquía y energía oscura. De mala gana, creo que tenemos que tomarnos en serio la alternativa antrópica, según la cual vivimos en un universo que tiene un “paisaje” de posibilidades, que se realizan en diferentes regiones del espacio o tal vez en diferentes porciones de la función de onda de la mecánica cuántica, e inevitablemente vivimos donde podemos. No tengo idea de si esta interpretación es correcta, pero proporciona un criterio con el que medir otras propuestas. Hace veinte años, solía encontrar perturbadora la interpretación antrópica del universo, en parte debido a la dificultad que podría presentar para comprender la física. Con los años me he suavizado. Supongo que llegué a aceptar de mala gana que el universo no fue creado para nuestra conveniencia de comprenderlo, (cf. Witten, 2021).

Resolver las ecuaciones de la teoría de supercuerdas es complicado, casi tan complicado como tener una idea de cuán grande es el conjunto de soluciones posibles (al que suele denominarse “el paisaje”). En los últimos años se ha logrado explorar distintas regiones de ese *paisaje* y se descubrió que la cantidad de soluciones (cada una representando un universo de características diferentes) es desesperantemente enorme. Un número más grande que cualquier otro que haya sido escrito en disciplina científica alguna. Esto atenta severamente contra el espíritu de una teoría que pretende dar explicación a todo nuestro universo: la teoría es única, pero la cantidad de universos posibles que ella predice es escandalosamente enorme. Entonces, insistimos: ¿por qué vivimos en nuestro universo y no en otro? ¿Por qué el universo tiene la forma que tiene, con seis de sus nueve dimensiones espaciales enrolladas, y no forma una

distinta? Si bien la teoría de supercuerdas no le ha dado (aún) una respuesta, sí es la única teoría física en la que tiene sentido formularla.

Los caminos que pueden conducir hacia una respuesta a la pregunta de por qué el universo es este y no alguna otra solución de la teoría de supercuerdas no son muchos. Por un lado, se puede emprender la tarea de buscar un criterio que excluya las otras posibilidades y nos deje con una solución única. Este fue el camino seguido durante casi un cuarto de siglo. Hubo un arduo trabajo taxonómico, clasificando las posibles soluciones según la física a la que darían lugar. El número de ellas, sin embargo, es tan vasto que el entusiasmo de esta empresa fue desdibujándose. Sobre todo, porque no se encontraba ningún criterio que permitiese descartar todas menos una; o, incluso, todas menos unas pocas. Otra posibilidad es aceptar la existencia de otras soluciones y, junto a ello, aceptar, además, que puede haber sido el azar lo que llevó al universo en el que vivimos a adoptar la forma que hoy observamos y no otra. Incluso podemos especular con que esas otras soluciones existan no solo como realidades potenciales, sino que, en verdad, se den en regiones distantes o incluso causalmente desconectadas. Esto último no es sino proponer que nuestro “universo” no merezca tal nombre, sino que deba ser degradado a la categoría de “una región” de un “multiverso”.

Hagamos un paralelismo que podría llegar a servir para fortalecer la idea de que esta línea argumental no es descabellada. Imaginemos que no conociéramos ningún otro planeta más que el nuestro, y que elaboráramos la teoría planetaria perfecta. Habríamos entendido cómo se formó el planeta, lograríamos explicar el porqué de las montañas y de los climas, entre muchos otros aspectos. Sin embargo, cuando quisiéramos responder a partir de nuestra teoría a preguntas del tipo: ¿qué tamaño tiene el planeta?, ¿cuántos satélites tiene y de qué tamaño?, ¿a qué distancia de su estrella se encuentra?, ¿qué masa tiene?, ¿tiene atmósfera?, etcétera, comprenderíamos que nos resulta imposible, por mucho que la teoría fuera correcta y única, como les gusta a los físicos teóricos. Ahora bien, una vez que alcemos la vista al cielo y descubramos que hay billones de billones de planetas en el universo, habremos comprendido por qué la teoría no podía responder a esas preguntas: es que hay planetas de todos los tamaños, con o sin satélites, con o sin atmósfera, gaseosos o rocosos, a distintas distancias de la estrella que orbitan, etcétera. La teoría planetaria no arroja respuestas únicas y sabemos que eso está bien porque conocemos la diversidad de planetas que hay en el universo. Podríamos, sin embargo, preguntarnos: ¿por qué habiendo todas esas posibilidades vivimos justo en la Tierra? ¿Por qué no vivimos en Mercurio? A esta última podríamos responder: porque en Mercurio no están dadas las condiciones para que exista vida. Y a la primera solo podríamos responder con un humilde “porque sí”. No hay una razón especial *a priori* por la que debemos vivir en la

Tierra. Es interesante mostrar un ejemplo dentro de la propia teoría de supercuerdas que ilustre cómo funcionan estos argumentos. Respondamos, por ejemplo, a la pregunta de por qué han de ser seis las dimensiones compactas y no cinco o siete o cualquier otro número. Supongamos que las nueve dimensiones espaciales hubieran evolucionado en el universo de modo tal que fueran cinco las compactas. Las dimensiones extendidas no serían ya solo tres sino cuatro y las leyes gravitacionales que observaríamos serían, como predice la teoría de supercuerdas, las de la relatividad general. Ahora bien, se puede demostrar matemáticamente que las órbitas de un universo 4-dimensional son inestables. De hecho, lo hizo Paul Ehrenfest²⁴¹ en 1917, muy poco tiempo después de que Einstein formulara las ecuaciones de la teoría. Por lo tanto, si las dimensiones espaciales fueran cuatro no habría sistema solar, ni Vía Láctea, y en esas condiciones no podría haber vida. De hecho, la misma inestabilidad afectaría a la escala atómica. Presumiblemente, en un universo que resulte de cinco dimensiones compactas no habría ningún tipo de estructura material. ¿Es un yermo universo de tales características una posible solución de la teoría de supercuerdas? Pues sí, lo es, tal como Mercurio es un posible planeta, cuya existencia tenemos la fortuna de poder comprobar con nuestros telescopios. Pero no vivimos en él; nada vive en él. Estas digresiones, de carácter que por momentos tiende puentes con cuestiones metafísicas, nos llevan a lo que se conoce como el “principio antrópico”, que no es otra cosa que una colección de argumentos que pretenden mostrar que, de entre todas las soluciones de la teoría, de entre todos los universos posibles y acaso existentes, el nuestro es el único – o uno de los pocos – que reúne las condiciones para ser observado por seres inteligentes; es decir, que tiene el potencial para que se geste la química, luego la biología y finalmente la vida inteligente que pueda observarlo y describirlo. Esta es una idea interesante: acaso el universo no es único sino solo una posibilidad de entre muchísimas otras variantes, pero nosotros observamos el nuestro y no otro porque, de entre tantas posibilidades, la nuestra es la única que permite albergar vida inteligente en él. Por eso estamos nosotros haciéndonos aquí esta pregunta. Leibniz, en *Los principios de la naturaleza*

²⁴¹ Ver Ehrenfest P., *In What Way Does It Become Manifest in the Fundamental Laws of Physics that Space Has Three Dimensions?* Proceedings of the Amsterdam Academy 20 (1918) pp. 200-209. También, acerca de cuán distinta es la física en una dimensionalidad diferente de tres, se puede revisar Whitrow Gerald J. (1955), *Why physical space has three dimensions*, British Journal for the Philosophy of Science 6, pp. 13-31; Tangherlini, F.R., *Schwarzschild field in n dimensions and the dimensionality of space problem*, Nuovo Cim. 27 (1963) pp. 636-651. La disposición intelectual que se adopta desde la perspectiva de la física teórica contemporánea ante el problema de la universalidad es un híbrido entre la aceptación de una *necesidad* de la decadimensionalidad del mundo, impuesta por la consistencia matemática de la teoría de supercuerdas, y la *contingencia* de la tridimensionalidad macroscópica de aquella solución de la teoría que describe el universo en el que vivimos y cuya selección bien podría ser explicada por el principio antrópico.

y la gracia basados en la razón, formuló la famosa pregunta “¿por qué hay algo en lugar de nada?” Lo que se intenta responder aquí es una variante de la misma pregunta, también formulada por Leibniz²⁴²: ¿por qué hay esto y no otra cosa?²⁴³ El principio antrópico aspira a ser una respuesta legítima a esta pregunta. Para muchos, este principio no es sino una forma de evadir el verdadero problema; para otros, se trata de una posibilidad tan encantadora como lo es toda cosmogonía pluralista. Lo cierto es que es una posibilidad cierta: acaso vivamos en un universo que no es el único, que coexiste con otros muchos en un gran multiverso que los engloba, pero que, a diferencia de los otros tantos universos yermos, el nuestro alberga seres que lo observan, que lo piensan, y lo hacen al extremo de poder imaginar – o concluir– que existen aquellos otros universos fuera del propio. Esta idea puede parecer tan solo una transferencia de la pregunta por las razones de la unicidad del universo al multiverso, pero no es así, por cuanto en el multiverso existe todo lo que es posible en él. Todo cuanto es posible, en principio acontece. El multiverso es la realización de todo lo que, según la teoría, es posible; mientras que “nuestro” universo es el inexorable rincón en el que nos tocó aparecer; la realización de lo poco que puede ser observado y pensado. Aquí nos excederemos un poco para generalizar este principio antrópico y propondremos un principio meta-antrópico que supera al primero en su espíritu pluralista: ¿y qué, si todo universo puede ser pensado? ¿Y qué, si todo universo *es* pensado? ¿No estarían, acaso, todos los seres de esos otros muchos universos igual y legítimamente embelesados por la majestuosidad de sus leyes y preguntándose confundidos “por qué hay esto y no otra cosa”?

Comentario sobre las actitudes epistemológicas: entre lo contingente y lo necesario

Merece la pena que ahondemos en la discusión sobre lo contingente y lo necesario en el contexto de la física fundamental. Para organizar la discusión, podríamos tomar una pregunta como ejemplo: ¿por qué la carga del electrón es la que es y no toma otro valor? Ante una pregunta de esta naturaleza, los físicos actuales se enfrentan a dos caminos, dos caminos que,

²⁴² Leibniz formuló estas dos preguntas en *Sobre el origen radical de las cosas*, en 1695.

²⁴³ La pregunta antrópica sería: ¿por qué hay seres que pueden preguntarse por qué hay esto y no otra cosa? Podría haber otros mundos donde ni siquiera haya la posibilidad de preguntarse. Leibniz tiene una tesis antrópica interesante a este respecto: “el universo está hecho de tal modo que el sabio puede conocerlo”. La respuesta a por qué esto y no más bien otra cosa sería: “bien, quizás haya muchas más otras cosas, pero nosotros solo podemos conocer estas. Los otros órdenes están causalmente desconectados de este y nos son inaccesibles, y aun cuando fueran accesibles, no podríamos vivir en ellos. Nada podría vivir en ellos. Este es el único orden en el que es posible vida inteligente”. Le agradezco a Oscar Esquisabel sobre una aclaración al respecto de la respuesta de Leibniz a la pregunta antrópica.

a su vez, se bifurcan: uno es el camino de la contingencia; el otro, el de la necesidad. Desmalezar este último es tarea de aquellos que esperan por el surgimiento de un marco teórico cuya rigidez lo unja como la *única* descripción posible del universo. Esa descripción explicaría la necesidad de toda ley física, *i.e.* la imposibilidad de todo otro universo. Se trata de una *stance* epistemológica que, si se la entiende en un sentido fuerte, es tan osada como irrealizable. Resulta difícil aceptar la posibilidad de que todo elemento de una teoría, cada parámetro de esta, cada constante fundamental, *deba* ser el que es y no pudiera ser otro. Todo paradigma científico, por más sólido y ampliamente aceptado que sea, reserva en su arquitectura un conjunto de elementos que son ajustables, cambiables en algún sentido. Se hace muy difícil imaginar qué tipo de teoría física podría arrojar como resultado la necesidad de *todos* los elementos del universo sin caer en la numerología. Aun así, hubo científicos notables que, al menos momentáneamente, abrazaron esa empresa. Eddington y Dirac recorrieron ese camino.

La exploración del segundo camino, el camino de la contingencia, es más esperanzadora. Es allí donde se encuentra la alternativa del multiverso, ese paisaje de paisajes en el que todas las posibilidades (que no son *cualquier posibilidad*, sino *todas las posibilidades de entre tantas* que la teoría permite) son realizadas²⁴⁴.

De todos modos, vemos que ambos caminos comparten una cualidad: los dos presuponen la existencia de una teoría fundamental, y acaso una teoría única. Tanto la alternativa de la contingencia como la de la necesidad suponen una teoría que guarda la respuesta. En un caso, esa respuesta es *el* universo; en el otro, *un* universo. Recurriendo nuevamente a nuestro ejemplo de la pregunta acerca de la razón para el valor específico de la carga del electrón, la alternativa de una respuesta por la contingencia sería de la forma: “Tales son las leyes de la electrodinámica, pero serían estas también posibles si se cambiara el valor de la constante *e* que representa la carga del electrón por algún otro; en ese caso, otra sería la fenomenología, pero las leyes serían las mismas”. Una forma *débil* de esta *stance* epistemológica por la contingencia reserva la categoría de “necesarias” para cierto conjunto de leyes, mientras que permite que algunos parámetros de la teoría (*e.g.* la constante *e*) sean “contingentes”. Por supuesto, adoptar una posición intelectual de esta característica demanda previamente una distinción precisa entre aquellos elementos de una dada teoría física que serían considerados necesarios y aquellos que serían considerados contingentes; es decir, se hace necesario distinguir entre cuáles elementos de la teoría pertenecen a la parte irrenunciable de su *corpus*

²⁴⁴ Aunque no sean todas ellas observadas por seres inteligentes por ser, acaso la mayoría de ellas, hostiles con la posibilidad de existencia de materia racional.

teórico y cuáles pertenecen al conjunto de “parámetros cuyos valores bien podrían haber sido otros”. La demarcación de estos dos conjuntos de elementos de una ley – es decir, el establecimiento de una jerarquía entre lo irrenunciable y lo renunciabile, entre necesario y lo contingente, entre la enjundia de la ley y sus parámetros– no parece ser una tarea sistematizable. Responde, más bien, a aspectos estético-formales en la conformación de una teoría. Los ejemplos abundan: la física de partículas nos provee uno de ellos, en cuanto la misma establece que, cualquiera fuere la descripción fundamental de la física, será esta expresable en términos de una teoría cuántica de campos, aun cuando los detalles específicos de las densidades lagrangianas de esa teoría no puedan ser determinados por la teoría misma sino demanden el ajuste de ciertas constantes específicas. Detrás de esa diferencia entre elementos necesarios y elementos contingentes en las teorías cuánticas de campos se encuentran las discusiones recientes acerca de los llamados “problemas de naturalidad”, que no son problemas en el sentido lógico-formal sino problemas estético-formales que expresan la dificultad para aceptar la necesidad de ciertos parámetros físicos por sobre su contingencia.

Por otro lado, una versión *fuerte* de la posición epistemológica que se inclina por la respuesta por la contingencia sería mostrarse abierto a la posibilidad de que incluso las leyes (mas no la existencia de ellas) sean completamente contingentes. Es decir, aceptar la posibilidad de que no haya problema de demarcación dentro de las leyes físicas, y que todo elemento de ellas, incluso sus atributos basales, *podieran* ser otros. Esta exclusión absoluta de la necesidad parece irrealizable dentro de la ciencia sin llegar a un escepticismo extravagante: por ejemplo, un físico difícilmente abandonaría la necesidad de que las leyes de la naturaleza sean expresables en términos matemáticos. Así, podríamos decir que, mientras la posición extrema por la necesidad nos llevaría a la numerología, la posición extrema por la contingencia nos llevaría a un cinismo científico no menos excéntrico²⁴⁵.

La historia de la búsqueda de una teoría unificada de la física es, de hecho, la historia de un tráfico administrado entre lo contingente y lo necesario. La historia muestra cómo, en muchísimas oportunidades, lo contingente fue confundido con lo necesario: Kepler creyó que las separaciones entre órbitas planetarias respondían a relaciones geométricas de los sólidos platónicos, Dirac creyó leer patrones sugerentes en los cocientes de las constantes

²⁴⁵ Aun así, no está excluida la posibilidad *in abstracto*: la teoría del multiverso supone un conjunto de ecuaciones que admiten un número muy grande de soluciones distintas. Pero, cabe preguntarse si no existe al menos la mera posibilidad de un conjunto diferente de ecuaciones. Eso era lo que, precisamente, también pensaba Leibniz. No solo son posibles mundos dentro de un tipo de mundos, sino infinitos tipos de mundos posibles. Le agradezco a Oscar Esquisabel por plantear esta cuestión en relación a Leibniz.

fundamentales y el tiempo de vida del universo, Eddington quiso reducir toda la naturaleza a la marmórea magia de sus números. El avance de la física disolvió muchas de esas pareidolias. El desarrollo científico nos ha permitido adoptar una postura crítica ante muchos ejemplos que nos ofrecían la ilusión de ese flujo virtuoso de lo contingente a lo necesario: décadas atrás, muchos recibieron con entusiasmo ciertas teorías de gran unificación que lograban *explicar* los valores que adquieren algunos parámetros del modelo estándar de las partículas elementales que, hasta entonces, se habían considerado contingentes. Poco tiempo después se advertiría que esas mismas teorías también predecían fenómenos no observados, como la descomposición del protón, y así fueron descartadas (al menos en sus versiones originales).

Hoy, la actitud epistemológica que prevalece en la comunidad científica abocada a la búsqueda de una teoría fundamental de la naturaleza se ubica en un ensayado equilibrio entre la contingencia y la necesidad: la hipótesis del multiverso surge ante la imposibilidad teórica de predecir el valor específico de la carga del electrón o de tantas otras constantes fundamentales de la naturaleza. Así, se concluye que otros mundos deben ser posibles si es que no encontramos las razones para que los valores de las constantes fundamentales de la naturaleza sean los que son. Notemos que esta actitud es exactamente la misma que Kant adoptó frente al problema de la dimensionalidad del espacio. En el caso de Kant, esa constante fundamental de la naturaleza era la dimensionalidad del espacio, y su valor aparentemente arbitrario era $n=3$. Como hoy lo hacemos nosotros, concluía entonces Kant que otros mundos deben ser posibles si es que no hay razones para que el valor de esa constante fundamental de la naturaleza sea el que es y no otro.

El principio holográfico y la idea del espacio como noción emergente

Como hemos visto, la idea de un universo con más dimensiones es admisible en el marco de la física teórica. Más aún, hemos argumentado que, gracias al descubrimiento de Kaluza, advertimos que la formulación matemática de las leyes de la física se vuelve *más armónica* si se adopta la hipótesis de que existen en el universo más dimensiones que las observadas. Esta observación hace de la existencia de dimensiones extra una “mejor explicación de la naturaleza”. La teoría de supercuerdas vino a elevar esta hipótesis *por la mejor explicación* al rango de hipótesis *necesaria*: según la teoría de supercuerdas, la compatibilidad entre la teoría general de la relatividad y la teoría cuántica *exige* que existan en el mundo seis (o acaso siete) dimensiones espaciales que aún no hemos observado. De esta manera, la teoría de supercuerdas

se convierte en la primera teoría física que predice una dimensionalidad específica para el espacio-tiempo de manera satisfactoria.

Ahora bien, la teoría de supercuerdas predice aún más acerca de la dimensionalidad del espacio: uno de los resultados más sorprendentes de la física teórica de las últimas décadas es el llamado “principio holográfico”, que establece que el universo en el que vivimos podría ser un holograma, una versión redundante de un espacio de una dimensionalidad menor. Según el principio holográfico, nuestro espacio, en apariencia tridimensional, podría ser meramente una imagen holográfica proyectada, siendo que la verdadera información de todo cuando en nuestro universo existe reside, en realidad, en la imaginaria bóveda que, en el infinito, rodea nuestro cosmos englobándolo. Podemos pensarlo de la siguiente manera: nuestro mundo sería el interior de una esfera infinitamente grande. Solo la superficie de la esfera existe; no existe su interior. En esa superficie yace la información que proyecta en el interior un fantasmagórico mundo tridimensional que llamamos “nuestro mundo” pero que en realidad solo existe codificado en una superficie bidimensional en la que todos estamos de alguna forma codificados.

Lo que caracteriza a un holograma es, precisamente, la naturaleza virtual de su tridimensionalidad. La información del objeto de un holograma, aunque sea este aparentemente tridimensional, reside en una placa fotográfica plana, bidimensional. El principio holográfico propone que ese truco de magia óptico que encontramos a menudo en calcomanías se realiza también en nuestro universo *material*. Las tres dimensiones espaciales y la dimensión temporal que nosotros vivenciamos serían una redundante e ilusoria descripción de un mundo de una dimensionalidad menor.

A mediados de la década de 1990 Edward Witten sorprendió a la comunidad especializada al descubrir que las cinco variantes de la teoría de supercuerdas conocidas hasta ese momento eran, en realidad, la misma. Witten mostró que esas cinco teorías eran solo cinco formas diferentes de escribir la misma y única teoría. Este resultado fue importante por dos razones: por un lado, Witten demostraba que la teoría de supercuerdas era *única*, y esa unicidad parecía ser un atributo promisorio para toda teoría que aspirase a ser una descripción fundamental de la naturaleza²⁴⁶. Por otro lado, la demostración de que dos teorías aparentemente diferentes pudieran estar describiendo el mismo conjunto de leyes naturales nos advertía de la posibilidad de que muchas otras teorías que consideramos distintas solo lo fueran en apariencia. Por

²⁴⁶ Le agradezco a Miguel A. Virasoro por conversaciones acerca de este punto y, en especial, acerca de su punto de vista crítico sobre el neo-racionalismo que veía detrás de algunos compromisos ontológicos de algunos físicos teóricos y que él no dudaba en adjetivar como “spinoziano”.

ejemplo, podríamos pensar en dos ejemplares de la *La guerra y la paz* escritos en idiomas distintos, los que, aunque en apariencia tan diferentes, contienen la misma historia. Algo similar parecía estar ocurriendo con las teorías físicas de fines del siglo XX: estábamos aprendiendo que muchas descripciones de las leyes físicas, aunque aparentemente distintas, resultaban en realidad equivalentes. (Dos descripciones teóricas de las leyes de la física que en apariencia lucen distintas pero que resultan equivalentes se dicen estar relacionadas por una “dualidad”²⁴⁷).

En 1993, mientras investigaba las propiedades térmicas de los agujeros negros, el físico teórico Gerard 't Hooft hizo una observación que llevaría al descubrimiento de una nueva dualidad en la física. 't Hooft advertía que la compatibilidad de la teoría cuántica con la física de los agujeros negros parece implicar que, a muy pequeñas escalas, nuestro espacio no sería tridimensional tal como lo vivenciamos nosotros, sino bidimensional, *i.e.* tendría una dimensión menor a la que creemos que tiene. Si la posibilidad de que el espacio pudiese tener *más* de tres dimensiones nos parecía sorprendente, la idea de que el espacio pudiese tener *menos* de tres dimensiones es ya descabellada: se puede dudar de la existencia de lo que no se ve, pero más difícil es aceptar la inexistencia de lo que uno sí ve. No obstante, los desarrollos físicos de las últimas dos décadas parecen convencernos de que es así: vivimos en un espacio en el que una de estas tres dimensiones es, por decirlo de alguna manera, superflua.

En 1994 Leonard Susskind escribió un artículo científico titulado *The World as a Hologram*, en el que elaboraba sobre la idea de 't Hooft. Susskind lo parafraseaba de la siguiente manera: “la combinación de la mecánica cuántica y la gravedad requiere que el mundo tridimensional sea una imagen de datos que pueda almacenarse en una proyección bidimensional, como una imagen holográfica”²⁴⁸. Fue Juan Maldacena quien, a fines de 1997, formuló esta idea de un universo holográfico de una manera más concreta. Él mostró que, en el marco de la teoría de supercuerdas, una teoría física en un espacio con n dimensiones en el que existe la gravedad puede ser pensado de manera equivalente (*i.e.* es dual) a una teoría física en un espacio de $n-1$ dimensiones. Esto es afirmar que dos conjuntos de leyes físicas que suponen números diferentes de dimensiones del espacio podrían estar describiendo los mismos fenómenos. Esto resulta sorprendente, y más sorprendente resulta si lo pensamos a la luz de las ideas kantianas

²⁴⁷ El término “dualidad” en este contexto no debe entenderse como se entiende usualmente en la filosofía moderna, por ejemplo en la cartesiana. No se trata de dualidad en el sentido de dos reinos distintos, sino en el sentido contrario: dos descripciones teóricas en apariencia diferentes que describen la misma realidad física.

²⁴⁸ Es también posible establecer un parangón con Leibniz, quien sostenía que Dios tiene del mundo una visión icnográfica, en el que la estereópsis, *i.e.* esa sensación de profundidad que da la tridimensionalidad del espacio, aparece a partir de una puesta escenográfica de una realidad croquizada.

del espacio como elemento emergente. El principio holográfico de 't Hooft, Susskind y Maldacena venía a sostener la idea de que el espacio y sus atributos (*e.g.* su dimensionalidad) no serían elementos *fundamentales* sino derivados. La dimensionalidad de una dada descripción física pierde su carácter fundamental tan pronto cuanto existe otra descripción que, siendo matemáticamente equivalente, considera un espacio con una dimensionalidad diferente. El espacio y sus atributos serían derivados, y la dimensionalidad sería un aspecto plausible de ser inferido, mas no de manera unívoca²⁴⁹. Es imposible no leer a Kant entre estas líneas, y es imposible no apreciar que existe en estas modernas teorías físicas del espacio un enorme contenido filosófico. No en vano Alexander Polyakov, uno de los más importantes físicos teóricos de los que han contribuido al estudio del principio holográfico, eligió para su trabajo en el tema el elocuente título *The wall of the cave*. Escribió:

Muy a menudo, una fuente de potente poesía y sólida ciencia es una buena metáfora. Mi favorita es la caverna de Platón: la parábola de los hombres sentados en una cueva oscura, mirando las sombras en movimiento en su pared. Piensan que las sombras son "reales" y no meras proyecciones del mundo exterior.

Al parecer, las últimas etapas de la lucha en curso por comprender las interacciones de las partículas elementales crean una imagen asombrosamente cercana a esta parábola (Polyakov, 1998).

En lo que va de la investigación en física teórica en el siglo XXI mucho se ha elaborado sobre la idea de que nuestro mundo, tal como le ocurre a un holograma ordinario, debe su tridimensionalidad al vicio de insistir con una de las tantas descripciones equivalentes de su realidad física. Esa tridimensionalidad no es *fundamental*. En las últimas dos décadas hemos

²⁴⁹ Oscar Esquisabel me hace notar que podría presentarse la siguiente objeción “epistemológica” en relación a esto: si muchas teorías son matemáticamente equivalentes entre sí, seguramente se debe a que son isomórficas. Probablemente, eso implique que haya una formulación más general que las abarque a todas. Ahora bien, eso por sí mismo no implica que las entidades de esa teoría existan realmente. Quizás existan las entidades tal como las describe una formulación de la teoría, pero quizás sea más cómodo y sencillo utilizar la formulación más general. Si todas las teorías predicen exactamente lo mismo, incluyendo la formulación más general, entonces todas están subdeterminadas y para concluir que lo que describen existe hay que introducir consideraciones de tipo “conjetural”. Un epistemólogo empirista o antirrealista podría decir: hay una inferencia demasiado apresurada de una sistematización matemática a la realidad. ¿Por qué tendría que aceptar que la formulación holográfica es la mejor descripción, la más verdadera, de la realidad física tal como es?

Este es un tema que, aunque de manera no siempre explicitada, o incluso no siempre consciente, divide aguas en la comunidad de física teórica dedicada a las dualidades y a la holografía en particular. Pueden encontrarse quienes consideran los dos lados de la dualidad holográfica como igualmente valederas, como dos descripciones equivalentes sin que una sea menos “real” que otra. En la otra orilla se encuentran los que indican a la descripción de menor dimensionalidad como “más fundamental” que la otra. Es este último conjunto el que ha divulgado más la idea del espaciotiempo como una entidad “emergente”.

aprendido que esa dimensión superflua y redundante, por más real que pudiera parecernos, emerge de una realidad más simple, una realidad escrita en un código bidimensional tallado en la bóveda infinita que engloba nuestro cosmos. Este espacio no-euclidiano, continuo, conexo, y tridimensional en el que percibimos movernos sería una estructura emergente. Según esta doctrina, la tridimensionalidad del mundo sería tan solo una ilusión o, como afirman algunos, solo información escrita en el infinito.

RESUMEN DE LA CUARTA PARTE

El corolario más importante que debemos extraer de esta Cuarta Parte es que, mientras se ha discutido hasta el agotamiento si el sistema kantiano, entendiendo por éste la filosofía trascendental, ha sido falseado por la física relativista, aparecida a comienzos del siglo XX, se ha desatendido a otras continuidades, acaso mucho más importantes, que existen entre la obra precrítica de Kant y la física contemporánea de las últimas tres o cuatro décadas. De hecho, hemos argumentado que muchas de las preguntas metafísicas sobre la filosofía de la naturaleza planteadas por Kant hacia 1749 son de una vigencia sorprendente. Un ejemplo es la pregunta por la contingencia de las leyes naturales; otro ejemplo es la idea de la dimensionalidad del espacio como un elemento no-fundamental que nace de las formas en las que las substancias interactúan entre sí. La formulación de la hipótesis kantiana de muchos mundos como respuesta a la pregunta por la contingencia o necesidad de las leyes de la naturaleza es exactamente el mismo movimiento intelectual que hoy, en el contexto de la física teórica, lleva a la hipótesis del multiverso y el principio antrópico para explicar aspectos en apariencia contingentes de las leyes naturales. La obra kantiana precrítica es, pues, de una vigencia que es difícil disputarle.

Conclusiones

Tópico y método

En esta tesis cumplimos con el propósito de investigar distintos aspectos de la obra kantiana del período precrítico, haciendo foco en el contenido metafísico que rezuma en todos los textos que Kant dedica a sus meditaciones sobre filosofía natural. Para organizar el estudio, primero conformamos un plexo teórico; es decir, identificamos un tópico que viene a vertebrar el conjunto de todos los temas con los que nuestra investigación se involucra: la contingencia de las leyes que gobiernan las fuerzas naturales, la hipótesis de existencia de muchos mundos, el carácter emergente del espacio, las razones de la extensión de la materia, la interacción entre mente y substancia. Ese tópico que estructura nuestra investigación es la pregunta por la contingencia de la dimensionalidad del espacio y su relación con la jerarquía ontológica entre materia, fuerza y espacio que Kant plantea a lo largo de su obra. Es allí donde estribamos.

Continuidades a lo largo del período precrítico

El primero de los tres aspectos que abordamos en nuestra investigación fue el de las continuidades que se encuentran en el pensamiento kantiano a lo largo de todo el período precrítico. Estas continuidades se extienden desde su primer libro, *Gedanken von der wahren Schätzung der lebendigen Kräfte*, aparecido en 1749, hasta *De mundi sensibilis atque intelligibilis forma et principiis*, su *Dissertatio* de 1770. Hemos identificado y recogido evidencias que muestran la invariabilidad de ciertos núcleos de sentido en la obra de Kant durante los primeros veintitrés años de su producción intelectual. El ejemplo más notable de esa continuidad es la afirmación de la plausibilidad de existencia, en un sentido metafísico, de una multiplicidad de mundos. Mientras que ya en su primera obra Kant afirmaba que “Es ciertamente posible, aun en un sentido propiamente metafísico, que Dios puede haber creado muchos millones de mundos” (*cf.* Kant, 1749, §8), en su *Dissertatio* sostenía que “varios mundos separados son posibles en el más estricto sentido metafísico” (*cf.* Kant, 1770, §21).

Atender a la afirmación de la plausibilidad de existencia de “millones de mundos” [*Millionen Welten*] nos permite extraer mucha información acerca de la forma de pensar del joven Kant. Por un lado, nos permite indagar en su pensamiento y escudriñar en las razones de sus convicciones metafísicas; por el otro, nos permite espiar su método riguroso. Esto último se debe a que, *stricto sensu*, el compromiso ontológico de Kant con la afirmación de existencia

de otros mundos no responde tanto a una *convicción metafísica* cuanto a una *conclusión metafísica*. La idea de la multiplicidad de mundos aparece en la metafísica kantiana como una conclusión que se alcanza, es un resultado al que se arriba luego de una renuncia; la hipótesis de muchos mundos es, para Kant, una apostasía íntima. Kant se había descubierto incapaz de encontrar las razones de la tridimensionalidad del espacio, y había, al mismo tiempo, rechazado las razones para ella esgrimidas por Leibniz en la *Teodicea*. Rendido ante tal escenario, nuestro filósofo se vio obligado a abrazar una hipótesis con la que se comprometería durante décadas, aun sin dejar de considerarla provisional: sin una razón fundamental para la tridimensionalidad del mundo, debía aceptarse la existencia de muchos de ellos, todos ellos de dimensionalidades distintas. El argumento kantiano, que expusimos con detalle en la Primera Parte de este trabajo, puede resumirse de la siguiente manera: Dios, en su perfección, solo pudo haber creado un mundo en el que todo está conectado; no sería digno de la perfección del obrar divino un mundo que consistiera de dos o más partes inconexas, por lo que solo una parte conexas debe existir, que equivale a decir que solo un mundo por cada dimensionalidad puede existir. Para Kant, solo sería posible que existiesen mundos distintos, *i.e.* inconexos, si fueran estos de distintas dimensionalidades, ya que solo los espacios de dimensionalidad distinta son imposibles de ser conectados. Luego, sin una razón conocida para la dimensionalidad del mundo, *i.e.* sin una demostración de la necesidad de la tridimensionalidad de este, el rigor nos exige considerar la dimensionalidad del espacio como un atributo contingente. Una vez aceptada la contingencia de la dimensionalidad del espacio, y sin una razón para la realización de un único mundo, debe aceptarse la posibilidad de que existan aquellos otros, pluridimensionales: “Si es posible que existan extensiones de diferentes dimensiones, entonces también es muy probable que Dios las haya producido realmente en alguna parte. Porque sus obras tienen toda la grandeza y diversidad que pueden contener” (*cf.* Kant, 1749, § 11).

En este argumento de Kant vemos a la contingencia de la dimensionalidad del espacio actuar como principio coordinativo, sustentando una de las aserciones más radicales de su metafísica: muchos mundos son posibles y posiblemente existen con diferente dimensionalidad. Esto alcanza, sin lugar a dudas, para refutar la afirmación de Deleuze de que la idea de un espacio multidimensional no tiene nada que ver con el sistema kantiano de conceptos y de problemas. Pero aún hay más. De hecho, la dimensionalidad del espacio tendrá mucho más para dar en la obra precrítica de Kant: por ejemplo, la dimensionalidad del espacio se encuentra relacionada también con la escurridiza cuestión del espacio absoluto. El famoso problema de las contrapartes incongruentes, problema que Kant planteara en su *Von dem ersten Grunde des Unterschiedes der Gegenden im Raume* de 1768 para investigar el carácter ontológico del

espacio absoluto, se vincula íntimamente con la dimensionalidad de espacio. Explicamos esto en detalle al final de la Primera Parte de esta tesis, a poco de tratar el juicio de Wittgenstein al respecto. Borges, para quien el interés de Kant por el problema de la dimensionalidad tampoco pasó desapercibido, escribió sobre esto lo siguiente:

Hacia 1670, el plotiniano inglés Henry More²⁵⁰ usó la frase “cuarta dimensión”, acaso por primera vez en el mundo. No importa lo que quiso comunicar; lo memorable es el contacto genial de esas dos palabras, antes no combinadas. La fórmula intrigó; los hombres no la dejaron morir. Justificar esa conexión de dos términos acaso incompatibles fue, con el tiempo, una de las obligaciones del geómetra. Kant, hacia 1768, estudió ese problema (...) Rehusar la cuarta dimensión es limitar el mundo; afirmarla es enriquecerlo (Borges, 1934, p. 4).

Años antes, en una carta a Maurice Abramowicz, en noviembre de 1920, Borges ya escribía: “Como ultraísta y kantiano, creo en la cuarta dimensión” (cf. Cajero Vázquez, 2014).

Además de ser importante para su hipótesis de la multiplicidad de los mundos y para su investigación del carácter ontológico del espacio absoluto, la dimensionalidad del espacio le sirve a Kant para realizar su primer movimiento de giro y síntesis en su filosofía precrítica: la subordinación del espacio a las fuerzas. Ya en su primer libro, al considerar la tridimensionalidad del espacio como atributo derivado de la forma en la que actúan las fuerzas de la materia, Kant concibe al espacio y a sus atributos como entes derivados: la fuerza es ontológicamente primero que el espacio. Esto le permitió la formulación de una jerarquía ontológica entre materia, fuerza y espacio, un *orden ontológico* que, luego, en la filosofía crítica, puede verse invertido y reemplazado por el *orden trascendental*: “La posibilidad de la misma [admisibilidad del espacio vacío] es indiscutible. Dado que se requiere del espacio para todas las fuerzas de la materia, y dado que este contiene también las condiciones de las leyes de propagación de aquellas [fuerzas], se presupone [el espacio] necesariamente antes que toda materia”, (Kant, 1968 [1786], p. 99; cf. Kant, 2017 [1786], p. 47). Para el Kant precrítico, el espacio nace de las fuerzas, y son estas últimas las que trazan el mundo; ese mundo que, por virtud de la forma en la que las fuerzas actúan, viene a ser tridimensional. Las substancias aparecen, así, como un concierto de puntos de fuga en ese espacio.

²⁵⁰ Borges no lo especifica, pero muy probablemente se esté refiriendo a las especulaciones teológicas de Henry More en su *The Immortality of the Soul* (1659), donde “el cuarto modo”, en referencia a la cuarta dimensión, es mencionado. Henry More (1614-1687) fue un filósofo neoplatónico de la escuela de Cambridge contemporáneo a Newton.

Continuidades entre el período precrítico y el crítico

El segundo de los aspectos que abordamos en nuestra investigación fue el de las continuidades y resonancias que es posible encontrar, ya no solo a lo largo del período precrítico, sino también entre los dos grandes períodos de actividad de Kant, el precrítico y el crítico. Ambos períodos se encuentran separados por una década de retraimiento que culmina con la publicación de la primera edición de *Kritik der Reinen Vernunft* en 1781. Comienza entonces el llamado período crítico propiamente dicho, en el que Kant empieza a cosechar los frutos de su ambiciosa empresa de revisión de la entera teoría del conocimiento, que concluye en la construcción de su sistema filosófico: la filosofía trascendental. Esta filosofía, sin embargo, comienza a perfilarse ya a fines del llamado período precrítico. Es en su *Dissertatio* de 1770 donde, como dice Friedman, “la característica doctrina kantiana del espacio y el tiempo como formas autónomas de la intuición sensible comienza a articularse” (1992, p. 29). Esto se vuelve interesante tan pronto como advertimos que ese libro de 1770 es también uno de los sitios en los que la hipótesis de la multiplicidad de mundos aparece en relieve, lo que muestra la posibilidad de una coexistencia armónica entre una embrionaria filosofía crítica y una metafísica especulativa. Advertir esto nos lleva a intuir cierta continuidad entre los dos períodos de la filosofía de Kant.

Aun si no es posible leer todo el derrotero intelectual de Kant como si se tratase de una historia inconsútil de pensamiento, sí es posible leerlo como la construcción consecuente de un sistema filosófico. Según esta lectura, el abandono paulatino de la metafísica dogmática en la obra kantiana, algo que muchos han interpretado erróneamente como un rasgo de maduración filosófica, se trataría, en realidad, de un sistematizado proceso de desmantelamiento del andamiaje que resultó imprescindible para la construcción de un edificio tan delicado y alto como el idealismo trascendental. Resumimos esta idea con un apotegma que repetimos hasta el cansancio: era menester liberar al espacio del mundo de las cosas en sí antes de que pudiera ese salirse de este. Ya en su primer libro, al proponer al espacio como un ente que no es *fundamental*, sino que viene exigido por algo más básico, Kant inicia ese movimiento de liberación que más tarde culminará en la imagen del espacio como forma pura de la sensibilidad. Vemos aquí, pues, a la fluida jerarquía ontológica entre fuerza y espacio señalando el camino hacia la estética trascendental. Es por eso que sostenemos que, más allá de la adeudada tarea reivindicativa de señalar la importancia de la filosofía precrítica como *anticipadora* de la filosofía crítica, asumimos la tarea, aún más importante, de señalar la

importancia de la primera como *habilitadora* de la última. Sostenemos que la filosofía crítica es deudora de aquella metafísica primera.

Podríamos resumir las continuidades y discontinuidades de la filosofía natural kantiana entre el período precrítico y el período crítico de la siguiente manera sinóptica. 1) En lo que refiere al problema de la dimensionalidad del espacio, la discontinuidad es la siguiente: mientras en el período precrítico Kant se ocupó de la pregunta por la necesidad o contingencia de la tridimensionalidad, pregunta que habilitó muchas de sus afirmaciones metafísicas, como la existencia de muchos mundos, en el período precrítico, la pregunta por la tridimensionalidad del espacio se deja de lado, y el espacio aparece como un *a priori*, euclidiano y tridimensional. La continuidad que podemos ver, por otro lado, es que, aunque no se pregunte más sobre la necesidad de la tridimensionalidad del espacio, sigue siendo la tridimensionalidad lo que organiza muchas de las discusiones en la etapa crítica, por ejemplo, en su teoría de la materia en torno a 1786. 2) En lo que refiere a la teoría de la materia, la discontinuidad evidente entre el período precrítico y el período crítico es el abandono de la hipótesis monadológica, hipótesis de la que toma distancia en su filosofía madura. Aun así, podemos ver continuidades evidentes en la forma en la que la extensión de la materia está determinada por dos fuerzas, una atractiva que satisface la ley del cuadrado de la distancia y otra atractiva que está determinada por la ley de la inversa del cubo de la distancia. Estas dos fuerzas y la manera en la que estas determinan las propiedades de la materia se mantienen desde su teoría de la substancia de 1756 y su posterior teoría de 1786. 3) Otra diferencia entre el período precrítico y el crítico al respecto de la materia es la cuestión de la divisibilidad *ad infinitum*. Siendo que en su teoría monadológica de 1756 esa divisibilidad se afirmaba, en su filosofía crítica esta aparece discutida en la *Dialéctica trascendental* (1781/1787) como un ejemplo de verdades que para ser cognoscibles demandarían una iteración infinita y por ende imposible de la experiencia. De todas formas, hay continuidades acerca de este problema, ya que, tanto en 1756 como en 1786, Kant distinguía agudamente entre la cuestión de la divisibilidad de la materia y la divisibilidad del espacio en el que la materia está, siendo que mantenía su afirmación de que la una no deriva de la otra. 4) Con la cuestión del espacio y su extensión, ocurre algo similar a lo que ocurre con la cuestión de la divisibilidad de la materia; mientras en su cosmología de 1755 Kant afirma la infinitud del espacio, esta cuestión aparece en el período crítico (1781/1787) como un ejemplo de verdad que para ser cognoscibles demandaría una iteración infinita. 5) Otro tópico en el que se ven tanto continuidades como discontinuidades es la jerarquía entre fuerza y espacio. Mientras a comienzos del período precrítico (1747) Kant afirmaba que el espacio nace a partir de las fuerzas (orden ontológico: espacio-fuerza), en el período crítico (1786) él afirma que el

espacio debe ser presupuesto antes de la fuerza y la materia en él (orden trascendental: espacio-fuerza). Hay, sin embargo, un rasgo de continuidad innegable a lo largo de toda la filosofía natural de Kant, la interconexión entre espacio, fuerza y materia.

Volvamos ahora a la cuestión de la dimensionalidad: si bien es cierto que durante el período crítico Kant dejará de preguntarse sobre la contingencia de la dimensionalidad del espacio, eso no se debe a que dicha pregunta haya encontrado una respuesta satisfactoria en el marco de la filosofía crítica, sino al hecho de que una pregunta metafísica de tal naturaleza simplemente no encuentra asidero en la filosofía trascendental. Aun así, que la pregunta por la *contingencia de la dimensionalidad* haya sido dejada de lado como problema filosófico en el período crítico no implica en absoluto que la dimensionalidad del espacio haya dejado de organizar la filosofía natural de Kant durante ese período: esto queda expresado de manera muy clara en la teoría de la materia que Kant expone en su *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft* en 1786, y que, *mutatis mutandis*, retoma el contenido de su *Monadologiam Physica* de 1756. En ambos textos las fuerzas fundamentales, que son condiciones de posibilidad de la materia, están gobernadas por leyes que dan cuenta de la tridimensionalidad del espacio: una fuerza atractiva que satisface la ley de la inversa del cuadrado, solidaria al crecimiento de las superficies de las esferas en el espacio tridimensional, y una fuerza expansiva que satisface la ley de la inversa del cubo, consecuente con la noción de volumen en el espacio tridimensional. Vemos así que la tridimensionalidad del espacio se encuentra detrás de los componentes más fundamentales de la cosmología kantiana, tanto en el período precrítico como en el crítico. La pregunta por la dimensionalidad del espacio vertebró toda la filosofía natural de Kant.

La contingencia de la tridimensionalidad del mundo habilita la jerarquía ontológica y dicta el orden entre materia, fuerza y espacio, un orden que se mantendrá a lo largo de toda la obra kantiana: mientras para el Kant precrítico el espacio nace de las fuerzas, en la filosofía crítica el espacio debe ser presupuesto con anterioridad a las fuerzas y la materia. Aun así, esto no significa que haya una verdadera contradicción entre los dos Kant, sino solo una inversión entre el orden ontológico y el orden trascendental que se expresa debido al cambio de objeto, de la metafísica a la teoría del conocimiento. En relación con esto, advertimos ya en la Tercera Parte de esta tesis que no debemos sucumbir ante el espejismo que se nos ofrece en los *Prolegómenos* (1783), donde una exposición azarosa viene a sugerir que el orden entre fuerza y espacio aparece subvertido, poniendo al segundo de estos elementos antes que el primero. Ya advirtió Friedman (1992, pp. 165-168) sobre lo oscuro y confuso que puede resultar este punto en los *Prolegómenos*.

Una lectura contemporánea de la física kantiana

El tercero de los aspectos que abordamos en nuestra investigación fue el de las resonancias que la metafísica del período precrítico y toda la filosofía kantiana de la naturaleza encuentran con la descripción que del espacio hace la física teórica contemporánea. E insistimos en que con el término “física teórica contemporánea” entendemos aquí, no solo la física del siglo XX, sino también, y en especial, el conjunto de teorías físicas sobre el espacio-tiempo formuladas en las últimas tres décadas. Dedicamos la sección precedente a discutir en detalle cómo las preguntas planteadas por las teorías físicas más modernas, como la teoría de supercuerdas y sus derivados, entablan una conversación fluida con muchas de las cuestiones metafísicas presentes en la obra de Kant y de otros filósofos, como Leibniz.

El programa de unificación de las fuerzas fundamentales de la naturaleza expresado en *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft* resume en buena medida la forma que ha tomado la investigación en física fundamental en el último siglo, y las teorías físicas actuales han finalmente recobrado la posibilidad de formular muchas de las preguntas que habían quedado en el tintero con el que se escribió la metafísica desde Leibniz hasta Kant: ¿hay una razón para la específica dimensionalidad del espacio? ¿Cuál es el grado de contingencia de las leyes naturales? ¿Cuál es la conexión causal entre las distintas partes del universo y cómo esta se relaciona con la hipótesis de muchos mundos? ¿Cuántos y cuáles de esos mundos son realizados en alguna parte? ¿En qué medida el principio antrópico selecciona el mundo en el que nos es dado ser? ¿Cuáles leyes de la física son las universalmente válidas e irreducibles? Todas estas, preguntas que encuentran un lugar en la física actual, y acaso lleguen a encontrar pronto una respuesta. Incluso, el método kantiano, bosquejado ya a comienzos de su período precrítico, puede verse replicado hoy en la búsqueda de respuestas a estas preguntas (otrora) metafísicas: ante la imposibilidad de una razón (necesidad) de ciertos atributos de la naturaleza, habremos de concluir su contingencia y, con ella, la realización de todos esos otros universos que son también posibles. Esto es lo que hoy se encuentra en la hipótesis del multiverso, que deriva de la inflación cósmica y del vasto paisaje de soluciones de la teoría de supercuerdas.

La teoría de supercuerdas, a través de su celosa arquitectura matemática y gracias a la articulación con la naturaleza cuántica de las interacciones fundamentales, nos ofrece una respuesta contundente a la pregunta por la razón de la dimensionalidad del espacio: 10. Así, de la mano de esta teoría, vemos retornar la esperanza de responder a una vieja pregunta. Pero, con esa respuesta surgirán nuevos interrogantes, y así, por ejemplo, la plétora de soluciones que la teoría de supercuerdas admite nos regresa al terreno donde reina el desconcierto: la

abundancia de posibilidades para las formas del espacio-tiempo pone a nuestra disposición una cornucopia de universos posibles, todos ellos distintos entre sí, y todos ellos realizables en principio. Así, luego de una dialéctica intrincada escrita en símbolos matemáticos, vemos a la pregunta leibniziana regresar con fuerzas renovadas: ¿por qué hay esto y no otra cosa? ¿Cuál es la razón por la que solo en uno de esos tantos universos nos es dado ser?, ¿por qué no somos en uno de los tantos otros? La metafísica de los mundos posibles y su relación con la contingencia de las leyes naturales encuentra hoy un nuevo marco teórico, que no es sino decir una nueva y fúlgida máscara.

BIBLIOGRAFÍA

Fuentes primarias y sus traducciones

Kant Immanuel (1894) [1770], *Kant's inaugural dissertation of 1770* (traducción de William Eckoff del *De mundi sensibilis atque intelligibilis forma et principiis*), Columbia College.

Kant Immanuel (1749), *Gedanken von der wahren Schätzung der lebendigen Kräfte*, Martin Eberhard Dorn, Königsberg.

Kant Immanuel (1755), *Universal natural history and theory of the heavens or essay on the constitution and the mechanical origin of the whole universe according to Newtonian principles* (traducción de O. Reinhardt para la edición de Cambridge University Press, 2015).

Kant Immanuel [1755b], *Succinct exposition of some meditation on fire* (traducción de L. White Beck para la edición de Cambridge University Press, 2015).

Kant Immanuel [1755c], *Principiorum primorum cognitionis metaphysicae nova dilucidatio* (Una nueva elucidación de los primeros principios de la cognición metafísica, tesis doctoral).

Kant Immanuel [1756], *Monadologiam Physicam*, en la edición académica de las *Obras de Kant*, editadas por Kurd Lasswitz, volumen I, pp. 475-487.

Kant Immanuel [1758], *New doctrine of motion and rest and the conclusions associated with it in the fundamental principles of natural science while at the same time his lectures for his half-year are announced* (traducción de O. Reinhardt para la edición de Cambridge University Press, 2015).

Kant Immanuel [1764], *Übers Silberschlag's theorie Der Am 23 Julii, 1762 Erschienen Feuer-Kugel*, publicado en Königsberg Gelehrte und Politische Zeitung el 23 de marzo de 1764.

Kant Immanuel (1900) [1786], *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*, von Pfeffer, Leipzig.

Kant Immanuel (1946) [1755], *Historia natural y teoría general del cielo* (traducción de Pedro Merton, comentada por Manuel Sadosky), Lautaro.

Kant Immanuel (1968) [1786], *Schriften zur Naturphilosophie*, Werkausgabe Band IX, editado por Wilhelm Weischedel, Suhrkamp taschenbuch wussenschaft.

Kant Immanuel (1984) [1781/1787], *Crítica de la razón pura* (traducción de J. del Perojo, J. Rovira Armengol, A. Klein), Hyspamerica.

Kant Immanuel (1786), *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*, Riga.

Kant Immanuel (1989) [1786], *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* (traducción de C. Másmela), Alianza Editorial.

Kant Immanuel (1991) [1786], *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza* (traducción de J. Aleu Benítez), Tecnos.

Kant Immanuel (1992) [1768], *Concerning the ultimate ground of the differentiation of directions in space*, en “The Cambridge Edition of the Works of Immanuel Kant. Theoretical Philosophy”, 1755-1770. Cambridge University Press, pp. 365-372.

Kant Immanuel (1993) [1804], *Opus postumum* (traducido por Eckart Förster y Michael Rosen), Cambridge University Press.

Kant Immanuel (1994) [1766], *Los sueños de un visionario explicados por los sueños de la metafísica*, Alianza.

Kant Immanuel (1997) [1786], *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*, Felix Meiner Verlag, Hamburg.

Kant Immanuel (1997b) [1777], *On the different races of man [Über die verschiedenen Rassen der Menschen]*, en Chukwudi Eze E. (editor), *Race and Enlightenment*, Backwell, p. 38.

Kant Immanuel (1998) [1781/1787], *Kritik der Reinen Vernunft* (reuniendo ambas versiones, A1781/B1787), Edición en alemán: Philosophische Bibliothek, Ed. v. Jens Timmermann, con Bibliogr. v. Heiner Klemme, Meiner.

Kant Immanuel (1998) [1783], *Los prolegómenos*, Albor libros.

Kant Immanuel (1999) [1783], *Prolegómenos a toda metafísica futura que haya de poder presentarse como ciencia* (edición bilingüe, traducción de Mario Caimi), Ágora de Ideas.

Kant Immanuel (2003) [1781/1787], *Crítica de la razón pura*, Losada.

Kant Immanuel (2006) [1783], *Prolegómenos a toda metafísica del futuro*, Losada.

Kant Immanuel (2010) [1781/1787], *Crítica de la razón pura*, Gredos.

Kant Immanuel (2011) [1804], *Los progresos de la metafísica*, edición bilingüe (traducción de M. Caimi), Fondo de Cultura Económica.

Kant Immanuel (2014) [1781/1787], *Crítica de la razón pura* (traducción de M. Caimi), Colihue Clásica.

Kant Immanuel (2014b) [1770], *Dissertatio [De mundi sensibilis atque intelligibilis forma et principiis]*, Encuentro.

Kant Immanuel (2015) [1749], *Thoughts on the true estimation of living forces and assessment of the demonstration that Leibniz and other scholars of mechanics have made use of in this*

controversial subject, together with some prefatory considerations pertaining to the force of bodies in general (traducción de J. B. Edwards and M. Schönfeld del *Gedanken von der wahren Schätzung der lebendigen Kräfte* en Watkins 2015).

Kant Immanuel (2015b) [1783], *Prolegómenos a toda metafísica futura que haya de poder presentarse como ciencia*, edición bilingüe (traducción de M. Caimi), Ágora de Ideas, Istmo.

Kant Immanuel (2017) [1786], *Metaphysical foundations of natural sciences*, Jonathan Bennett.

Fuentes primarias en compilaciones, antologías y epistolarios

Guyer Paul y Wood Allen (editores) (1996), *Practical Philosophy, The Cambridge Edition of the Works of Immanuel Kant*, Cambridge University Press.

Guyer Paul y Wood Allen (editores) (1999), *Correspondence, The Cambridge Edition of the Works of Immanuel Kant*, Cambridge University Press.

Watkins Eric (editor) (2015), *Natural Science, The Cambridge Edition of the Works of Immanuel Kant*, Cambridge University Press.

David Walford y Ralf Meerbote (editores) (1992), *Immanuel Kant Theoretical Philosophy 1755-1770*, Cambridge University Press.

Fuentes primarias en línea

Kant Immanuel (1749), *Gedanken von der wahren Schätzung der lebendigen Kräfte*, URL: <https://books.google.com.fj/books?id=a-mb-vDuyZ4C&printsec=frontcover>

Kant Immanuel (1894) [1770], *Kant's inaugural dissertation of 1770*, URL: <https://archive.org/details/kantsinauguraldi00kant/page/n3/mode/2up?ref=ol&view=theater>

Kant Immanuel (1900) [1786], *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*, URL: <https://archive.org/details/metaphysischeanf00kantuoft>

Bibliografía secundaria

Adorno Theodor (2015) [1960], *Filosofía y sociología*, (traducción de M. Dimópulos), Eterna Cadencia.

Alexander Peter (1984), *Incongruent Counterparts and Absolute Space*, Proceedings of the Aristotelian Society 85, pp. 1-21.

Ambinder Michael, Wang Ranxiao, Criwell James y Francis George (2009), *Human four-dimensional spatial intuition in virtual reality*, Psychonomic Bulletin & Review 16, 5, pp. 818-823.

Ameriks Karl (1982), *Kant's Theory of Mind: An analysis of the Paralogisms of Pure Reason*, Clarendon Press.

Backer David J. (2012), *The experience of left and right meets the physics of left and right*, *Noûs* 43, 3, pp. 483-498.

Baker John T. (1935), *Some pre-critical developments of Kant's theory of space and time*, *Philosophical Review* 44, pp. 267-282.

Bargmann Valentine, Bergmann Peter y Einstein Albert (1941), *Five-dimensional representation of gravitation and electricity*, en Theodore von Karman Anniversary Volume, pp. 212-225.

Beiser Frederick (1992), *Kant's intellectual development: 1746-1781*, en Paul Gruyer (editor) "The Cambridge Companion to Kant", Cambridge University Press (1992), pp. 26-61.

Bennett Johnathan (1970), *The Difference Between Right and Left*, *American Philosophical Quarterly* 7, pp. 175-191.

Bertrand Joseph (1873), *Théorème relatif au mouvement d'un point attiré vers un centre fixe*, *C. R. Acad. Sci.* 77, pp. 849-853.

Bilbao Cristina (1978), *La ciencia del hombre en el siglo XVIII*, selección de textos de Jauffret, Cuvier, Péron, Degérando, Centro editor de América Latina.

Biot Jean-Baptiste y Savart Félix (1820), *Note sur le magnétisme de la pile de Volta*, *Annales de chemie et de physique*.

Blacklock Mark (2018), *The Emergence of the Fourth Dimension - Higher Spatial Thinking in the Fin de Siecle*, Oxford University Press.

Bonola Roberto (2012), *Non-Euclidean geometry*, Dover.

Bolzano Bernard (1843), *Versuch einer objektiven Begründung der Lehre von den drei Dimensionen des Raumes*, Prague: Gottlieb Haase Söhne; Bolzano Bernard; Kronberger & Řiwnač; Bernard-Bolzano-Gesamtausgabe I, 18, pp. 219-238.

Borges Jorge Luis (1934), *La cuarta dimensión*, *Revista Multicolor*, 28 de julio de 1934, *Crítica*, p. 4, que aparece en el Archivo Histórico de Revistas Argentinas; incluido en "Borges en Revista Multicolor" editado por I. Zangara, Atlántida, pp. 29-32; también en "Textos recobrados 1931-1955", Sudamérica.

Borges Jorge Luis (1986), *Textos cautivos*, en "Antología de trabajos publicados por Jorge Luis Borges en la revista El Hogar" entre 1936 y 1940. Edición de Enrique Sacerio-Garí y Emir Rodríguez Monegal.

Bork Alfred (1964), *The fourth dimension in nineteenth-century physics*, *Isis*, 55, pp. 326-338.

Bosković Rudjer [a veces, Boscovich Roger] (1922) [1758], *The theory of natural philosophy* (edición bilingüe, inglés y latín del título original *theoria philosophiae naturalis, redacta ad unicam legem virium in natura existentium*, 1758), Open Court Publishing Company.

Brodetsky Selig (1922), *The fourth dimension simply explained*, Nature 109, pp. 474-475.

Caimi Mario (compilador) (2014), *Temas kantianos*, Prometeo, Argentina.

Caimi Mario (2021), conferencia dictada en la Sociedad de Estudios Kantianos en Lengua Española.

Cajero Vázquez Antonio (2008), *Infinito y cuarta dimensión*, en “There are more things”, Variaciones Borges 26, pp. 83-96, Borges Center, University of Pittsburgh.

Cajero Vázquez Antonio (2014), Reseña de *Borges en la conformación de la “Antología de la literatura fantástica”* de Daniel Zavala Medina, Nueva Revista de Filología Hispánica 62, 1, pp. 231-235.

Cajori Florian (1926), *Origins of Fourth Dimension Concepts*, The American Mathematical Monthly, 33, 8, pp. 397-406.

Carnap Rudolf (1924), *Dreidimensionalität des Raumes und Kausalität*, Annalen der Philosophie und philosophischen Kritik, 4, 1, pp. 105-130.

Caruso Francisco y Moreira Xavier (2015), *On Kant's first insight into the problem of space dimensionality and its physical foundations*, Kant-Studien, 106, 4, pp. 547-560.

Caruso Francisco y Moreira Xavier (1987), *On the physical problem of spatial dimensions: an alternative procedure to stability arguments*, Fundamenta Scientiae, 8, pp. 73-91.

Cassirer Ernst (1918), *Kants Leven und Lehre*, New Haven Connecticut, Yale University Press.

Cassirer Ernst (1953) [1923], *Substance and function, and Einstein's theory of relativity*, The open court publishing company, Chicago.

Cassirer Ernst (1931), *Kant y el problema de la metafísica, observaciones a la interpretación de Kant de Martin Heidegger* (traducción de E. Garzón Valdez en Humanitas III N° 8, 1957, Universidad Nacional de Tucumán. Publicación original, *Kant und das Problem der Metaphysik*, Kantstudien, Band XXXVI, Heft 1/2, Berlín, 1931.

Cassirer Ernst (2018), *Kant, vida y doctrina* (traducción de W. Rocés), Fondo de Cultura Económica, 8ª edición.

Carpenter Andrew (1998), *Kant's Earliest Solution to the Mind/Body Problem*, Ph.D. dissertation, University of California at Berkeley.

Carpenter Andrew (2000), *Review of The Philosophy of the Young Kant: The Precritical Project*, Kantian Review, 5, pp. 147-153.

Cohen Hermann (2016) [1781], *Kants Theorie der Erfahrung*, Hanse.

Compte August (1984) [1844], *Discurso sobre el espíritu positivo*, (traducción de C. Berges), RBA.

Coulomb Charles-Augustin (1785), *Second Mémoire sur l'Électricité et le Magnétisme*.

Dalrymple Henderson Linda, (2013), *The fourth dimension and non-Euclidean geometry in modern art (Leonardo)*, The MIT Press.

Dalrymple Henderson Linda (2018), *Malevich, the Fourth Dimension, and the Ether of Space One Hundred Years Later*, en *Celebrating Suprematism New Approaches to the Art of Kazimir Malevich*, Russian History and Culture, volumen 22, Brill, pp. 44-80.

De Bianchi Silvia y Wells James (2015), *Explanation and the dimensionality of space Kant's argument*, *Synthese*, 192 (1), pp. 287-303.

Deleuze Gilles (2008), *Kant y el tiempo*, Cactus, 1ª edición, 3ª reimpression, Argentina (año de la primera impresión de Cactus 2008, a partir de Deleuze G., *Kant y el tiempo*, 1978).

Deleuze Gilles (2018), *La filosofía crítica de Kant*, Catedra, colección teorema, 6ª edición, España (año de la 1ª edición de cátedra 1997).

De Pierris Graciela y Friedman Michael (2018), *Kant and Hume on Causality*, Stanford Encyclopedia of Philosophy (versión revisada del artículo original de 2008).

Derrida Jacques (2017), *Márgenes de la filosofía*, 9ª edición, Cátedra.

Desideri Fabrizio (2018), *Origine dell'estetico. Dalle emozioni al giudizio*, Carocci.

Desideri Fabrizio (2021), *Esquemas estéticos: Aura y "aire de familia"* (traducido por G. Giribet), *Boletín de Estética*, 57, pp. 7-33.

Di Liscia Daniel A., (2021) [2011], *Johannes Kepler*, Stanford Encyclopedia of Philosophy.

Dipert Randall (1977), *Peirce's Theory of the Geometrical Structure of Physical Space*, *ISIS, A Journal of the History of Science Society* 68 (243), p. 404-413

Dipert Randall (1978), *Peirce's Theory of the Dimensionality of Physical Space*, *Journal of the History of Philosophy*, 16 (1), pp. 61-70.

Ehrenfest Paul (1918), *In What Way Does It Become Manifest in the Fundamental Laws of Physics that Space Has Three Dimensions?* *Proceedings of the Amsterdam Academy*, pp. 200-209.

Einstein Albert (1915), *Die Feldgleichungen der Gravitation*, *Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften*, pp. 844-847.

Einstein Albert y Grommer Jakob (1923), *Beweis der Nichtexistenz eines überall regulären zentrisch symmetrischen Feldes nach der Feldtheorie von Kaluza*, Jerusalem University, Scripta, 1 (7), pp. 1-5.

Einstein Albert (2015) [1934], en *Elsbach's Buch: Kant und Einstein*, Deutsche Literaturzeitung, 1, en *Collected Papers of Albert Einstein: Volume 14: The Berlin Years: Writings & Correspondence, April 1923-May 1925*. Ed. Diana Kormos Buchwald et al., Princeton University Press, *English Translation Supplement*, pp. 324-325.

Einstein Albert (1927), *Kaluzas Theorie des Zusammenhanges von Gravitation und Elektrizität*, Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften, Physikalisch-mathematische Klasse, pp. 23-30.

Einstein Albert y Mayer Walther (1931), *Einheitliche Theorie von Gravitation und Elektrizität*, Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften, Physikalisch-mathematische Klasse, 25, pp. 541-557.

Einstein Albert y Bergmann Peter (1938), *Generalization of Kaluza's theory of electricity*, Annals of mathematics, 39, pp. 683-701.

Einstein Albert y Pauli Wolfgang (1943), *Non-existence of regular stationary solutions of relativistic field equations*, Annals of Mathematics, 44, pp. 131-137.

Einstein Albert (1953), *The meaning of relativity*, 4^{ta} edición, Princeton University Press.

Erdmann Benno (1876), *Martin Knutzen und seine Zeit*, Leipzig.

Earman John (1991), *On the Other Hand ...: A Reconsideration of Kant, Incongruent Counterparts, and Absolute Space*, en: Van Cleve J., Frederick R.E. (editores) "The Philosophy of Right and Left", University of Western Ontario Series in Philosophy of Science, vol 46. Springer.

Earman, John (1971), *Kant, Incongruous Counterparts and the Nature of Space and Space-Time*, Ratio 13, pp. 1-18.

Falkenburg Brigitte (2001), *Incongruent Counterparts: Kant's 1768 Argument Against Relationalism*, en "Kant und die Berliner Aufklärung", De Gruyter.

Falkenburg Brigitte (2020), *Kant's Cosmology From the Pre-Critical System to the Antinomy of Pure Reason*, Springer.

Fichant Michael (1999), *Nuevas consideraciones sobre la reforma de Leibniz de su dinámica*, Revista de filosofía y teoría política, 33, pp. 115-151.

Fischer Kuno (1984), *Vida de Kant e historia de los orígenes de la filosofía crítica*, en el Vol. I de la edición de *Crítica de la razón pura*, Hyspamerica.

Font Pere Lluís (2016), *Immanuel Kant, seis ensayos y un diálogo de ultratumba*, Arpa.

Förster Eckart (2000), *Kant's Final Synthesis. An Essay on the 'Opus postumum'*, Cambridge.

Friedman Michael (1992), *Kant and the Exact Sciences*, Harvard University Press.

Gal Ofer (2002), *Meanest foundations and nobler superstructures: Hooke, Newton and the "Compounding of the celestial motions of the planetts"*, Springer.

García Belsunse Eduardo (2007), *Cuestiones kantianas*, Prometeo.

Garnett Jr. Browne (1939), *The Kantian philosophy of space*, Columbia University Press.

Gause Firtz y Lebuhn Jürgen (1989), *Kant und Königsberg*, Leer, Rautenberg.

Giribet Gaston y Edelstein José (2019), *Cuerdas y supercuerdas: La naturaleza microscópica de las partículas y del espacio-tiempo*, 2da edición, RBA & National Geographic.

Giribet Gaston (2021), *Una luz original en Relictos y cosmología*, Antesis, 5, pp. 106-106.

Giribet Gaston (2020), *Hacia una fenomenología de lo inmanentemente invisible*, Umática, 3, pp. 15-29.

Goenner Hubert (2004), *On the History of Unified Field Theories*, Liv. Rev. Relativity, 7, p. 2.

Gray Jeremy (1989), *Ideas of space: Euclidean, non-Euclidean, and relativistic*, Clarendon.

Green Michael, Schwarz John y Witten Edward (1987), *Superstring Theory Vol. 1*, Cambridge University Press.

Greenberg Marvin (2007). *Euclidean and Non-Euclidean Geometries: Development and history*, Freeman.

Griffiths, Graham (2009), *The Inverse Square Law of Gravitation: An Alternative to Newton's Derivation*, version extendida del reporte GWG/148, de 1997, publicado en Control Engineering Centre, City University, UK.

Gulya Arsemji (1981) [1977], *Kant*, Sigrun, Bielfeldt, Suhrkamp.

Gruyer Paul (2014), *Kant*, Routledge.

Guicciardini Niccolò (2018), *Isaac Newton and Natural Philosophy*, Reaktion Books.

Hall Rupert y Tilling Laura (editores) (2020), *All The Correspondence of Isaac Newton*, Vol. I-VII, Cambridge University Press.

Hatfield Gary (2006), *Kant on the perception of space and time*, in *Kant and the modern philosophy* editado por Paul Guyer, Cambridge University Press.

Hegel Georg (2009) [1801], *Dissertatio philosophica de orbitis planetarum*, *Las órbitas de los planetas*, Universidad del País Vasco.

Heidegger Martin (1929), *Kant und das Problem der Metaphysik*, Bonn.

Heidegger Martin (2018) [1929], *Kant y el problema de la metafísica*, (traducido por G. Ibscher Roth), Fondo de Cultura Económica.

Heidegger Martin (2000), *Nietzsche*, Vol. I, Destino.

Henry John (2011), *Gravity and De gravitatione: The development of Newton's ideas on action at a distance*, *Studies in History and Philosophy of Science*, A 42, 1, pp. 11-27.

Hinton Charles (1912) [1904], *The Fourth Dimension*, Ayer Co., Kessinger Press reprint.

Hinton Charles (1980), en Rucker Rudolf v. B. (ed.), *Speculations on the Fourth Dimension: Selected writings of Charles H. Hinton*, Dover.

Hinton Charles (1993), *The Fourth Dimension*. Pomeroy, Washington: Health Research, p. 14.

Hepp Kay (2020), *Space, Time, Categories, Mechanics, and Consciousness: On Kant and Neuroscience*, *Journal of Statistical Physics*, 180, pp. 896-909.

Höffe Otfried (1992), *Immanuel Kant*, Suny series of ethical philosophy.

Howard Stephen (2018), *Modes of Cognition, Proto-Transcendentalism and Force in Kant's Living Forces*, en *Natur und Freiheit Akten des XII. Internationalen Kant-Kongresses*. En representación de Kant-Gesellschaft e.V. Ed. by Waibel, Violetta L.; Ruffing, Margit; Wagner, David, en coop. con Gerber, Sophie, Berlin: de Gruyter.

Hull Thomas (2006), *H.P. Lovecraft: a Horror in Higher Dimensions*, *Math Horizons* 13, 3, pp. 10-12.

Hume David (1984) [1748], *Tratado de la naturaleza humana*, Hyspamerica.

Ibáñez Raúl (2012), *La cuarta dimensión. ¿Es nuestro universo la sombra de otro?*, RBA.

Iommi Amunátegui Godofredo y Schiavetti Mauricio (1985), *Las contrapartes incongruentes: El descubrimiento del espacio en Kant*, *Revista de Filosofía de la Universidad de Chile*, 25, pp. 69-82.

Jiménez Rodríguez Alba (2020), *El problema del continuo en la filosofía de Kant a la luz de las lecciones de metafísica*, *Disputatio, Philosophical Research Bulletin* 9, 14, pp. 103-123.

Kaluza Theodor (1921), *Zum Unitätsproblem der Physik*, *Sitzungsberichte Preußische Akademie der Wissenschaften*, pp. 966-972.

Kauark-Leite Patricia (2017), *On the Epistemic Status of Absolute Space: Kant's Directions in Space Read from the Standpoint of his Critical Period*, *Kant-Studien* 108, 2, pp. 175-194.

Kepler Johannes (1604), *Ad Vitellionem paralipomena, quibus astronomiae pars optica traditor*.

Khachouf Omar, Poletti Stefano y Pagnoni Giuseppe (2013), *The embodied transcendental: a Kantian perspective on neurophenomenology*, *Front. Hum. Neuroscience* (2013), 7, pp. 611-620.

Klein Oskar (1926), *The Atomicity of Electricity as a Quantum Theory Law*, *Nature*, 118, p. 516. Ver también, *Zs. für Phys.*, 37, p. 875.

Konstantinov Stanislav y Veneroni Stefano, (2020), *The Immanuel Kant's Living Forces*, *IJARPS*, 7 (10), pp. 1-7.

Kühn Manfred (2002), *Kant: A Biography*, Cambridge.

Lagrange Joseph-Louis (1788), *Mécanique analytique*, Chez La Veuve Desaint.

Lambert Johann (1766), *Die Theorie der Parallellinien*, Mémoir.

Laplace Pierre-Simon (1799), *Allgemeine Geographische Ephemeriden*, Jena.

Laplace Pierre-Simon (1984) [1796], *Exposition du Système du Monde II*, Fayard.

Laywine Alison (1993), *Kant's Early Metaphysics*, Ridgeview Publishing Company.

Lehmann Gerhard (1980), *Kants Tugenden*, Berlin.

Leibniz Gottfried (1956), *The Leibniz-Clarke correspondence*, ed. H. Alexander, Manchester.

Leibniz Gottfried (1981), *New essays on human understanding*, ed. P. Remnant and J. Bennett, Cambridge.

Leibniz Gottfried (1983), *Monadología*, Edición Orbis.

Leibniz Gottfried (1995) [1686], *Discurso de metafísica*, Altaya.

Leibniz Gottfried (2014), *Teodicea: Ensayos sobre la bondad de Dios, la libertad del hombre y el origen del mal*, Biblioteca Nueva.

Lee Tsung-Dao y Yang Chen Yang (1956), *Question of Parity Conservation in Weak Interactions*, *Physical Review* 104, pp. 254-258.

Lisa Esteban (1956), *Las cuatro dimensiones, Kant, Einstein, Picasso*, Escuela de Arte Moderno de Buenos Aires.

Lovelace Claud (1971), *Pomeron form factors and dual Regge cuts*, *Phys. Lett.*, B 34, 6, pp. 500-506.

Maldacena Juan (1999) [1997], *The Large N limit of superconformal field theories and supergravity*, *Int. J. Theor. Phys.*, 38, pp. 1113-1133.

Manning Henry (2017) [1910], *The Fourth Dimension Simply Explained: A collection of essays selected from those submitted in the Scientific American's Prize Competition*, Forgotten Books. Reseña, en *Nature* 1910 p. 83.

Mata Rodolfo (1999), *Borges y la aventura de la cuarta dimensión*, Centro Virtual Cervantes, texto que forma parte de *El papel de la ciencia en las vanguardias latinoamericanas* que desarrolló en el Instituto de Investigaciones Filológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Martin Gottfried (1955), *Kant's metaphysics and theory of science*, trans. P. Lucas, Manchester University Press.

McEvoy John, (2021) [1998], *Joseph Priestley*, Britannica.

Merleau-Ponty Maurice (2020) [1948], *El mundo de la percepción*, Fondo de Cultura Económica.

Michell John (1784), *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 74, pp. 35-57.

Millman Richard y Parker George (1981), The history of parallels, en *Geometry*, Springer, pp. 158-184.

Minow-Pinkney Makiko (2017), *Virginia Woolf and December 1910: The Question of the Fourth Dimension*, Cambridge University Press.

Minkowski Hermann (1909), *Raum und Zeit*, *Physikalische Zeitschrift*, 10, pp. 75-88.

Montgomery Colin, et al. (2009), *Michell, Laplace and the origin of the black hole concept*, *Journal of Astronomy History and Heritage*, 12, pp. 90-96.

Nerlich Graham (1973), *Hands, Knees, and Absolute Space*, *Journal of Philosophy* 70, pp. 337-351.

Neville Edward (2008) [1921], *The Fourth Dimension*, Kessinger's rare preprints.

Nordström Gunnar (1914), *Über die Möglichkeit, das elektromagnetische Feld und das Gravitationsfeld zu vereinigen*, *Physikalische Zeitschrift*, 15, pp. 504-506.

Olesti Josep, (1991), *Kant I Leibniz: la incongruència en l'espai*, Ballerta, UAB.

Omnès Roland (2000), *Filosofía de la ciencia contemporánea*, Idea Universitaria.

Orden Jiménez Rafael, Navarro Cordón Juan y Rovira Rogelio (editores) (2016), *Kant en nuestro tiempo*, Biblioteca Nueva RS.

Palmquist Stephen (1989), *Kant's Critique of Mysticism (I)*, *Philosophy and Theology*, 3, pp. 355- 384.

Palter Robert (1974), *Absolute space and absolute motion in Kant's critical philosophy*, in L. beck, ed., *Kant's theory of knowledge*, Dordrecht.

Papadopoulos, Athanase y Théret, Guillaume (2014), *Hyperbolic geometry in the work of Johann Heinrich Lambert*, Collection Sciences dans l'Histoire, Librairie Scientifique et Technique Albert Blanchard.

Parsons Charles (1984), *Remarks on pure natural science*, in A. Wood, ed. *Self and Nature in Kant's philosophy*, Ithaca.

Passos Severo Rogério (2005), *Three remarks on the interpretation of Kant on incongruent counterparts*, en *Kantian Review*, 9, pp. 30-57.

Pecere Paolo (2015), *The Systematical Role of Kant's Opus postumum "Exhibition" of Concepts and the Defense of Transcendental Philosophy*, con-textos kantianos, *International Journal of Philosophy*, pp. 156-177.

Pecere Paolo (2022), *Il dinamismo kantiano tra Scienza e Metafisica*, charla dictada en la conferencia Kant e la Fisica, 22 de marzo de 2022, Università degli Studi Roma Tre.

Penney Richard (1965), *On the dimensionality of the real world*, *Journal of Mathematical Physics*, 6, pp. 1607-1611.

Pissis Jannis (2019), *The concept of nature in Kant's Metaphysical Foundations of Natural Science*, incluido en *Natur und Freiheit, Akten des XII. 12º Congreso Internacional Kant "La naturaleza de la libertad"*, en la Universidad de Viena, septiembre 21-25, 2015; volumen de la conferencia Ed. V.L. Waibel, M. Ruffing y D. Wagner, De Gruyter.

Plaass Peter (1965), *Kants Theorie der Naturwissenschaft*, Göttingen.

Polchinski Joseph (1998), *String Theory Vol. 1*, Cambridge University Press.

Polonoff Irving (1973), *Force, Cosmos, Monads and other themes of Kant's early thought*, *Kant-Studien Ergänzungsheft* 107.

Polyakov Alexander (1999) [1998], *The Wall of the cave*, *Int. J. Mod. Phys., A* 14, pp. 645-658.

Pringe Hernán (2014), *La filosofía trascendental y la interpretación de Bohr de la teoría cuántica*, en *Temas Kantianos*, compilado por Mario Caimi, Prometeo.

Remnant Peter (1963), *Incongruent Counterparts and Absolute Space*, *Mind* 72, pp. 393-399.

Riemann Bernhard (1854), *Über die Hypothesen welche der Geometrie zu Grunde liegen*.

Rivera de Rosales Jacinto (2019), *Substancia, cambio y materia en las Analogías de la experiencia*, *Revista de Estudios Kantianos*, 4, 2, pp. 352-381.

Rojas Ana (1988), *Immanuel Kant: Pensamientos sobre la verdadera valoración de las fuerzas vivas*, Revista de Filosofía, 3ª época, Vol. 1 (1987-1988), pp. 171-173.

Rosenfeld Boris (1988), *A history of non-Euclidean geometry*, Springer.

Rukgaber Matthew (2016), *The Asymmetry of Space: Kant's Theory of Absolute Space in 1768*, Kantian Review, 21, 3, pp. 415 - 435.

Rusnock Paul y George Rolf (1995), *A last shot at Kant and incongruent counterparts*, en Kant Studien, pp. 257-277.

Santaló Luis (1966), *Geometrías no euclidianas*, tercera edición, EUDEBA.

Santaló Luis (1966b), *On Einstein's unified field theory*, en "Prospects in Geometry and Relativity", pp. 343-532.

Schäfer Lothar (1966), *Kants Metaphysik der Natur*, Berlin.

Schlegel Victor (1886), *Ueber Projektionsmodelle der regelmässigen vier-dimensionalen Körper*, Waren.

Schönfeld Martin (2000), *The Philosophy of the Young Kant: The Precritical Project*, Oxford University Press.

Schönfeld Martin y Thompson Michael (2019), *Kant's philosophical development*, Stanford Encyclopedia of Philosophy (versión revisada del artículo original de 2003).

Schwarzschild Karl (1916), *Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einsteinschen Theorie*, Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften, pp. 189-196.

Shea William (1986), *Filled with Wonder: Kant's Cosmological Essay, the 'Universal Natural History and Theory of the Heavens'*, en Butts R. (editor) *Kant's Philosophy of Physical Science; The Western Ontario Series in Philosophy of Science*, vol 33. Springer, Dordrecht.

Shell Susan (1996), *The Embodiment of Reason*, University of Chicago Press.

Simon Josef (2003), *Kant: Die fremde Vernunft und die Sprache der Philosophie*, De Gruyter.

Sklar, L. (1974), *Incongruous Counterparts, Intrinsic Features and the Substantivity of Space*, Journal of Philosophy 71, pp. 227-290.

Smith Sheldon (2013), *Kant's picture of monads in the Physical Monadology*, Studies in History and Philosophy of Science, A 44, 1, pp. 102-111.

Sommerville Duncan (1910), *The Early History of Non-Euclidean Geometry*, Nature 84, p. 172.

- Stillwell John (1996), *Sources of hyperbolic geometry*, American Mathematical Society.
- Susskind Leonard (1995), *The World as a hologram*, J. Math. Phys., 36, pp. 6377-6396.
- Tangherlini Frank (1963), *Schwarzschild field in n dimensions and the dimensionality of space problem*, Nuovo Cimento, 27, pp. 636-651.
- Teske Johann (1745), *Abhandlung von Electricität. neben zwei andern Abhandlungen gleichen Inhalts von der königl.*, Akademie der Wissenschaften in Berlin zum Druck befördert.
- Teske Johann (1746), *Neue Entdeckung verschiedener bisher noch unbekannter Wirkungen und Eigenschaften der Electricität*, Königsberg.
- Thomson Garrett (2002), *On Kant*, Wadsworth Philosophers Series.
- 't Hooft Gerard (1993), *Dimensional reduction in quantum gravity*, Conf. Proc., C 930308, pp. 284-296.
- Tonelli Giorgio (1959), *Elementi metodologici e metafisici in Kant dal 1745 al 1768*, Torino.
- Torretti Roberto, (1978), *Philosophy of Geometry from Riemann to Poincaré*, Springer.
- Torretti Roberto, (1980), *Manuel Kant: Estudio sobre los fundamentos de la filosofía crítica*, segunda edición, Buenos Aires, Editorial Charcas.
- Tuschling Burkhard (1973), *Kants 'Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft' und das Opus postumum*, in G. Prauss, ed. *Kant: Zur Deutung seiner Theorie von Erkennen und Handeln*, Köln.
- Vaihinger Hans (1922), *Kommentar zu Kants Kritik der Reinen Vernunft*, Union Deutsche Verlagsgesellschaft.
- Van Cleve James (1987), *Right, left, and the fourth dimension*, The philosophical Review, XCVI, 1, pp. 33-68.
- Van Cleve James y Frederick Robert (eds.) (1991), *The Philosophy of right and left incongruent counterparts and the nature of space*, Ontario, Kluwer.
- Veneroni Stefano, (2015), *La querelle des forces vives dans le premier écrit de Kant. Entre mécanisme cartésien et dynamisme leibnizien*, tesis doctoral.
- Veneroni Stefano, (2018), *Osservazioni fisico-teoriche attorno al primo scritto di Kant sulle forze vive del 1746 (1749)*, Physis, LIII, pp. 143-173.
- Veneroni Stefano, (2021), *Due osservazioni storico-critiche in merito al primo scritto di Kant sulle 'forze vive' e al Traité de Dynamique di D'Alembert (1743; 1758)*, La Cultura, LIX 1, pp. 99-105.

Villacaña José Luis (2010), *Las posibilidades de la razón*, en el Estudio Preliminar de la edición de *Crítica de la razón pura*, Gredos.

Vizgin Vladimir (1994), *Unified Field Theories in the first third of the 20th century*, Birkhäuser.

Vuillemin Jules (1955), *Physique et Métaphysique Kantiennes*, Paris.

Walford David (2001), *Towards an interpretation of Kant's 1768 Gegenstand im Raume Essay*, en *Kant Studien*, 92, pp. 407-439.

Watkins Eric (1995), *Kant's Theory of Physical Influx*, *Archiv Für Geschichte der Philosophie*, 77, pp. 285-324.

Weber Max (1910), *La cuarta dimensión desde el punto de vista plástico*, en *Camera Work*, 13, Editorial Alfred Stieglitz.

Westfall Richard (1983), *Never at Rest: A Biography of Isaac Newton*, Cambridge University Press.

Whitehead Alfred (1985) [1966], *La función de la razón*, Tecnos.

Whitrow Gerald (1955), *Why physical space has three dimensions*, *British Journal for the Philosophy of Science*, 6, pp. 13-31.

Winterbourne, A. T. (1982), *Incongruent Counterparts and the Intuitive Nature of Space*, *Auslegung* 9, pp. 85-98.

Witten Edward (1981), *Search for a realistic Kaluza-Klein theory*, *Nuclear Physics*, B 186, 3, pp. 412-428.

Witten Edward (1982), *Instability of the Kaluza-Klein vacuum*, *Nuclear Physics*, B 195, 3, 22, pp. 481-492.

Witten Edward (2021), *Witten reflects*, entrevista a E. Witten, en *Searches for a New Physics, Opinion*, CERN Courier, 21/12/2021, URL: <https://cerncourier.com/a/witten-reflects/>

Wittgenstein Ludwig (1996) [1921], *Tractatus logicus-philosophicum*, Altaya.

Wittgenstein Ludwig (1920), *Tractatus Logico-Philosophicus - Logisch-philosophische Abhandlung*, edición con la versión en alemán y las dos versiones del inglés, Kevin C. Klement.,

Wolfe Harold (1945), *Introduction to Non-Euclidean Geometry*, The Dryden Press.

Zavala Medina Daniel (2012), *Borges en la conformación de la "Antología de la literatura fantástica"*, Universidad Autónoma de San Luis Potosí-Porrúa México.

Zubiri Xavier (1996) [1944], *Espacio, tiempo, materia*, Alianza.

